UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCIÓN - "REY BALDUINO DE BÉLGICA"

SIMULACIONES DE FALLAS PARA VARIADORES DE FRECUENCIA EN BAJA TENSION

Trabajo de Titulación para optar al Título de Técnico Universitario en ELECTRICIDAD.

Alumnos:
José Patricio Aguayo Araneda.
Ayllin Andrea Mella Brantt.

Profesor Guía:
Helmut Contreras Novoa.

2018

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este trabajo no hubiera sido posible sin el grado de compromiso, responsabilidad e investigación necesarios, y nosotros como autores, no somos las únicas personas implicadas con el producto final.

Ante esto presentamos nuestros más sinceros agradecimientos por el apoyo de quienes colaboraron de alguna u otra forma con nosotros;

Principalmente al profesor Helmut Contreras Novoa, por su compromiso, herramientas y conocimientos entregados, que nos permitieron cumplir los objetivos de este trabajo y aprender de los resultados obtenidos.

A nuestras familias, quienes fueron pilares fundamentales para el desempeño de este trabajo, por su amor, apoyo incondicional a base de esfuerzo y cariño. A mi padre desde el cielo, mi prima Carmen Valverde, polola Francisca Saldivia y amigos; Gracias por entregarnos principios, cariño, apoyo y consejos que nos sirvieron para fortalecer nuestro espíritu de estudiantes, permitiéndonos sobreponernos ante las dificultades de esta carrera que está a punto de terminar. Si no fuese por ustedes, indudablemente no nos encontraríamos en donde estamos el día de hoy.

RESUMEN

KEYWORDS: ENSAYOS DE ACCIONAMIENTOS EN BAJA TENSIÓN DISPONIBLES EN EL TALLER DE ELECTRICIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE CONCEPCIÓN

En el presente trabajo, se pretende comprobar las fallas y perturbaciones en los accionamientos eléctricos de baja tensión (Red-Variador-Motor) disponibles en el taller de Electricidad de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Para llevar a cabo la implementación de las simulaciones y ensayos, primero se realizó un estudio previo sobre el variador de frecuencia VACON CXS, VDF Schneider Electric ATV32, motor de inducción jaula de ardilla simple de 3KW de 0, 18KW, tanto como sus partes constructivas como su principio de funcionamiento para lograr un detallado análisis de los ensayos con el equipamiento disponible en el taller.

Dentro del contexto de los ensayos y simulaciones se consideraron criterios de seguridad para el cuidado ya sea de los materiales, instrumentación, como el de las personas que intervendrán en los ensayos respectivos. Rigiéndonos por las precauciones, protecciones y normas de seguridad. De esta manera disminuir a cero los daños y accidentes posibles.

Posterior a los ensayos realizados se compararán los valores visualizados en instrumentos de medida y registrados en las tablas. Obteniendo los resultados de los ensayos se llegara a conclusiones pertinentes, además de desarmar el variador y analizar en detalle sobre los componentes que permiten que los VDF pueda operar como una protección frente a diversas fallas, siendo esta una de las partes más importantes de nuestro trabajo de título, ya que en este proceso se lograra reforzar conocimientos tanto para nosotros como egresados y aspirantes al Título de Técnico en Electricidad como para el lector que prontamente podrá hacer uso de este.

INDICE DE MATERIAS

INTRODUCCION 1

DESCRIPCION DEL PROBLEMÁTICA 2

ALCANCE 2

OBJETIVOS 2

1. CAPÍTULO I: MARCO TEORICO 4

1.1. VARIADOR DE FRECUENCIA 5

1.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA 5

1.2.1. Etapas de un variador de frecuencia 5

1.2.2. Tipos de variadores de frecuencia 9

1.2.3. Variador de frecuencia de modulación de ancho de pulso (PWM) 9

1.3. MOTOR DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA SIMPLE 11

1.3.1. Principio de funcionamiento del motor de inducción jaula de ardilla 11

1.3.2. Motor rotor jaula de ardilla 11

1.3.3. Principio de funcionamiento 11

1.3.4. Factor de deslizamiento 13

1.4. LOS ARMONICOS 13

1.4.1. Las fuentes de armónicos 13

1.4.2. Los efectos de los armónicos 14

1.4.3. Parámetros de los armónicos 14

1.4.4. El orden de los armónicos 14

1.4.5. La frecuencia 15

1.4.6. La secuencia 15

1.4.7. La 3° y la 5° armónica 16

1.5. PRECAUCIONES Y NORMAS QUE RIGEN AL VARIADOR Y LOS ENSAYOS 17

1.5.1. Norma Eléctrica 4/2003 Capitulo 8: “Las cinco reglas de oro” 18

1.5.2. Norma IEEE 519: 1992 sobre Armónicos 19

1.5.3. IEEE 519, Prácticas recomendadas y requisitos IEEE para el control de armónicos en la red eléctrica 19

1.5.4. Norma IEC 61000 (EMC) 22

1.5.4.1. IEC 61000-2-2, Compatibilidad Electromagnética (EMC) 22

1.5.4.2. IEC 61000-3-2, Compatibilidad Electromagnética (EMC) 23

1.5.5. Norma UNE-EN 60204-1 Interfaz Hombre-Maquina en el aspecto de seguridad 23

1.5.6. Norma UNE-EN-60150:1996 perturbaciones de la red eléctrica 24

1.5.6.1. Las variaciones de la frecuencia 24

1.5.6.2. El desequilibrio en el sistema trifásico 24

1.5.7. Norma NEMA ICS 1.1 25

1.5.8. Norma NEMA ICS 7.1 25

2. CAPITULO II: METODOLOGIA Y MATERIALES 27

2.1. METODOLOGIA DE SOFTWARE DE SIMULACION 28
2.1.1. Introducción al PSIM 28
2.1.2. Visualización del software correspondiente al variador de frecuencia VACON XCS 29
2.1.3. Visualización correspondiente al variador de frecuencia ALTIVAR 32 31
2.2. METODOLOGIA DE ENSAYOS EN LABORATORIO DE ELCTRICIDAD 32
2.2.1. Conexión del variador de frecuencia VACON XCS 32
2.2.2. Ensayo N°1: Medición en la entrada y salida del VDF VACON CXS con una frecuencia de 25Hz y 50Hz 34
2.2.3. Ensayo N°2: ausencia de la línea R de la red eléctrica al variador 37
2.2.4. Ensayo N°3: ausencia de la línea R/L1 del variador al motor de inducción 39
2.2.5. Ensayo N°4: disminución de tensión al ingreso del variador de frecuencia 40
2.2.6. Ensayo N°5: BLACKOUT del VDF VACON CXS 42
2.2.7. Ensayo N°6: Desarme del variador de frecuencia VACON CXS 44
2.2.7.1. Varistor 44
2.2.7.2. Resistencias 44
2.2.7.3. DC-link: es el bus de continua en inglés 45
2.2.7.4. Ventilador de 2 hilos 45
2.2.7.5. Transformadores de corriente de efecto Hall 46
2.2.7.6. Efecto HALL 48
2.2.7.7. SkiP 22 NAB 12 T18 48
2.2.7.8. Filtro de armónicos 50
2.2.7.9. Condensador 51
2.2.7.10. Display 51
2.2.8. Ensayo N°7: armado del VDF y pruebas de funcionamiento correcto después de su intervención 52
2.2.9. Conexión del variador de frecuencia ALTIVAR 32 54
2.2.10. Ensayo N°8: Medición en la entrada y salida del variador ALTIVAR 32 con una frecuencia de 25Hz y 50Hz 56
2.2.11. Ensayo N°9: Ausencia de la línea U/T1 de la red eléctrica al variador ALTIVAR 32 59
2.2.12. Ensayo N°10: Disminución de tensión al ingreso del variador ALTIVAR 32 60
2.2.13. Ensayo N°11: Modificación del parámetro de corriente en el variador ALTIVAR 32 62
2.3. PRINCIPALES EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS 63
2.3.1. Multímetro digital FLUKE 15B 63
2.3.2. Extensión RS232 macho a hembra y Cable RS232 macho a USB 64
2.3.3. Multímetro digital FLUKE 41B 64
2.3.4. Interruptor Automático trifásico 380V / 6A 65
2.3.5. Cable Macho Volante 3P+N+T 66
2.3.6. Osciloscopio Digital GDS 1000A 66
2.3.7. Sonda para Osciloscopio GE3121 serie 2kv 100MHz. 66

2.3.8. Interruptor de circuito de motor Schneider GV2 P32 24-32A 67

3. CAPÍTULO III: RESULTADOS Y CONCLUSIONES 69

3.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS..... 70

3.1.1. Ensayo N°1: Medición en la entrada y salida del variador VACON CXS con una frecuencia de 25Hz y 50Hz 70

3.1.2. Ensayo N°2: Ausencia de la línea R de la red eléctrica al variador VACON CXS .. 77

3.1.3. Ensayo N°3: Ausencia de la línea R/L1 del variador VACON CXS al motor de SIEMENS..... 77

3.1.4. Ensayo N°4: Disminución de tensión al ingreso del variador VACON CXS 78

3.1.5. Ensayo N°5: BLACKOUT del variador VACON CXS 79

3.1.6. Ensayo N°6: Desarme del variador de frecuencia VACON CXS 79

3.1.7. Ensayo N°7: armado del VDF VACON CXS y pruebas de funcionamiento correcto después de su intervención 79

3.1.8. Ensayo N°8: Medición en la entrada y salida del variador ALTIVAR 32 con una frecuencia de 25Hz y 50Hz 80

3.1.9. Ensayo N°9: Ausencia de la línea U/T1 de la red eléctrica al variador ALTIVAR 32 87

3.1.10. Ensayo N°10: Disminución de tensión al ingreso del variador ALTIVAR 32..... 87

3.1.11. Ensayo N°11: Modificación del parámetro de corriente en el variador ALTIVAR 32 90

3.2. CONCLUSIONES OBTENIDAS EN LAS PRUEBAS 92

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS 93

REFERENCIA LINKOGRAFICAS..... 94

ANEXOS..... 95

GLOSARIO DE TERMINOS 96

INDICES DE FIGURAS

Figura 1-1. Convertir CA entrante en CC. 6
Figura 1-2. Circuito Intermedio. 7
Figura 1-3. Señal que le llega al motor. 8
Figura 1-4. Frecuencia moduladora y portadora 10
Figura 1-5. Motor Asíncrono tipo Rotor jaula de ardilla simple. 12
Figura 1-6. La armónica fundamental, la 3° y onda deformada. 16
Figura 1-7. La armónica fundamental, la 5° y onda deformada. 17
Figura 1-8. Sistemas trifásicos. 25
Figura 2-1. Barra de herramientas del PSIM. 28
Figura 2-2. Control de simulación del PSIM. 28
Figura 2-3. Parámetros básicos. 29
Figura 2-4. Fallas activas. 30
Figura 2-5. Operación del variador. 30
Figura 2-6. Valores actuales. 30
Figura 2-7. Fuente variable alterna trifásica 41
Figura 2-8. Varistores. 44
Figura 2-9. Resistencias. 45
Figura 2-10. Ventilador de dos hilos. 45
Figura 2-11. dimensiones del transformador de corriente. 48
Figura 2-12. SkiP 22 NAB 12 T18. 49
Figura 2-13. Filtro de armónicos. 51
Figura 2-14. Condensadores. 51
Figura 2-15. Condensadores. 52
Figura 2-16. Terminales de bus de CC VDF ALTIVAR 32. 56
Figura 2-17. Multímetro FLUKE 15B. 64
Figura 2-18. Extensión RS232 macho a hembra. 64
Figura 2-19. Cable RS232 macho a USB. 64
Figura 2-20. Multímetro digital FLUKE 41B. 65
Figura 2-21. Osciloscopio Digital GDS 1000A. 66
Figura 2-22. Sonda para Osciloscopio GE3121 serie 2kv 100MHz. 67
Figura 2-23. Guarda motor magnético GVL2 10. 68
Figura 3-1. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A en la entrada del variador. 71
Figura 3-2. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B. 71
Figura 3-3. Señal de armónicas obtenida por FLUKE 41B. 71
Figura 3-4. Operación del motor a 25Hz. 72
Figura 3-5. Valores actuales del motor a 25Hz. 72
Figura 3-6. Valor de salida del variador. 73
Figura 3-7. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B. 73
Figura 3-8. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B. 73
Figura 3-9. Operación del motor a 50Hz. 74
Figura 3-10. Valores actuales del motor a 50Hz. 74
Figura 3-11. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A en la entrada del variador. 75
Figura 3-12. Valor de salida del variador. 75
Figura 3-13. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B. 76
Figura 3-14. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B. 76
Figura 3-15. Armónicos en la intensidad de red con distintas estructuras de rectificadores. 77
Figura 3-16. Valores actuales del motor a 25Hz. 80
Figura 3-17. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A en la entrada del variador. 81
Figura 3-18. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B. 81
Figura 3-19. Señal de armónicas obtenida por FLUKE 41B. 82
Figura 3-20. Valor de salida del variador. 82
Figura 3-21. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B. 83

Figura 3-22. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B. 83
Figura 3-23. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A del Bus DC-LINK. 84
Figura 3-24. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A en la entrada del variador. 84
Figura 3-25. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B. 85
Figura 3-26. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B. 85
Figura 3-27. Valor de salida del variador. 86
Figura 3-28. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B. 86
Figura 3-29. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B. 87
Figura 3-30. Display del VDF ALTIVAR 32. 91

INDICES DE TABLAS

Tabla 1-1. Parámetros de los armónicos. 15
Tabla 1-2. Límites de distorsión de voltaje y corriente IEEE 519-1992. 20
Tabla 1-3. Límites de distorsión de voltaje y corriente IEEE 519-1992. 22
Tabla 1-4. Alimentaciones en corriente alterna. 24
Tabla 2-1. Parámetros visualizados en VDF ALTIVAR 32. 32
Tabla 2-2. Información del transformador de corriente de efecto Hall. 47
Tabla 2-3. Características Semiconductor módulo de potencia IGBT. 49
Tabla 2-4. Terminales de conexión VDF ALTIVAR 32. 54
Tabla 3-1. Disminución de voltaje hacia el variador. 78
Tabla 3-2. Aumento de voltaje hacia el variador. 78
Tabla 3-3. Datos obtenidos en el ensayo del BLACKOUT del variador. 79
Tabla 3-4. Datos obtenidos en el ensayo de disminución de tensión del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz. 88
Tabla 3-5. Datos obtenidos en el ensayo de aumento de tensión del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz. .88
Tabla 3-6. Datos obtenidos en el ensayo de disminución de tensión del VDF ALTIVAR 32 a 50Hz. 89
Tabla 3-7. Datos obtenidos en el ensayo de aumento de tensión del VDF ALTIVAR 32 a 50Hz. .89

INDICES DE ESQUEMAS

Esquema 1-1. Puente rectificador de onda completo trifásico. 6
Esquema 1-2. Enlace DC. 7
Esquema 1-3. Inversor trifásico. 8
Esquema 1-4. Esquema Eléctrico general de un VDF. 9
Esquema 2-1. Diagrama general de cableado de potencia gama VACON CXS. 33
Esquema 2-2. Diagrama de bloques del convertidor VACON CXS. 33
Esquema 2-3. Montaje normalizado de la medición en la entrada del VDF VACON CXS a 25Hz y 50Hz. 35
Esquema 2-4. Montaje de la medición en la entrada del VDF VACON CXS a 25Hz y 50Hz. 36
Esquema 2-5. Montaje normalizado de la medición en la salida del VDF VACON CXS a 25Hz y 50Hz. 36
Esquema 2-6. Montaje de la medición en la salida del VDF VACON CXS a 25Hz y 50Hz. 37
Esquema 2-7. Montaje normalizado de la falta de la fase R hacia el VDF VACON CXS. 38
Esquema 2-8. Montaje de la falta de la fase R hacia el VDF VACON CXS. 38
Esquema 2-9. Montaje normalizado de la falta de la fase R/L1 hacia el motor. 39
Esquema 2-10. Montaje de la medición por falta de una fase R/L1 hacia el motor. 40
Esquema 2-11. Montaje normalizado de ensayo disminución de tensión al ingreso del VDF VACON CXS. 41
Esquema 2-12. montaje de ensayo disminución de tensión al ingreso del VDF VACON CXS. 42
Esquema 2-13. Montaje normalizado de ensayo BLACKOUT del VDF VACON CXS. 43
Esquema 2-14. montaje de ensayo BLACKOUT del VDF VACON CXS. 43
Esquema 2-15. Conexionado interno del IGBT. 50
Esquema 2-16. Montaje normalizado de la medición en la salida del variador a 25Hz. 53
Esquema 2-17. Montaje de la medición en la salida del variador a 25Hz. 53
Esquema 2-18. Conexión del VDF ALTIVAR 32. 54
Esquema 2-19. Montaje normalizado de la medición en la entrada del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz y 50Hz. 57
Esquema 2-20. Montaje de la medición en la entrada del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz y 50Hz. 57
Esquema 2-21. Montaje normalizado de la medición en la salida del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz y 50Hz. 58
Esquema 2-22. Montaje de la medición en la salida del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz y 50Hz. 58
Esquema 2-23. Montaje normalizado de la ausencia de la línea U/T1 del VDF ALTIVAR 32. 59
Esquema 2-24. Montaje de la medición de la ausencia de la línea U/T1 del VDF ALTIVAR 32. 60
Esquema 2-25. Montaje normalizado de la disminución de tensión al ingreso del VDF ALTIVAR 32. 61
Esquema 2-26. Montaje de la medición de la disminución de tensión al ingreso del VDF ALTIVAR 32. 61
Esquema 2-27. Montaje normalizado de la modificación del parámetro de corriente del VDF ALTIVAR 32. 62
Esquema 2-28. Montaje de la medición de la modificación del parámetro de corriente del VDF ALTIVAR 32. 63

SIGLAS Y SIMBOLOGIA

A	:	Amper.
CA	:	Corriente Alterna.
CC	:	Corriente Continua.
cm	:	Centímetros.
Dc-Link	:	Bus de continua del variador.
f	:	Frecuencia.
fn	:	Frecuencia nominal.
Hz	:	Hercio.
I	:	Intensidad de corriente.
IGBT	:	Transistor Bipolar de Puerta Aislada.
IL	:	Intensidad de carga de demanda máxima.
Isc	:	Coeficiente intensidad de cortocircuito disponible.
KA	:	Kiloamperio.
KV	:	kilovoltios.
kW	:	kilowatt.
LC	:	Bobina y Condensador.
MHz	:	Megahercio.
mm	:	Milímetros.
m/s	:	Metro por segundo.
mts	:	Metros.
PCC	:	Punto de acoplamiento común entre una carga lineal y no lineal.
PFC	:	Circuito de corrección de factor de potencia.
PWHD	:	Distorsión armónica ponderada parcial.
PWM	:	Modulación por Ancho de Pulso.
SCR	:	Relación de cortocircuito.
Seg	:	Segundos.
TDD	:	Distorsión total de demanda.
TDH	:	Distorsión Armónica.

THD	:	Tasa de distorsión armónica.
V	:	Voltaje.
VCC	:	voltaje corriente continua.
VDF	:	Variador de Frecuencia.
Vn	:	Voltaje nominal.
VRMS	:	Voltaje de valor eficaz.
VT	:	Voltaje total.
Ω	:	Ohm, unidad de resistencia eléctrica.
°C	:	Grados Celsius.
μF	:	Microfaradio.

INTRODUCCION

En toda industria que conste de un proceso que requiera la variación constante de velocidad, es necesario contar con Variadores de Frecuencia, por lo que es relevante indagar e investigar más a fondo sobre su principio de funcionamiento, partes constructivas y el tipo de VDF que usaremos.

Durante muchos años los variadores de velocidad eran un simple accionamiento electrónico que modificaba la velocidad de un motor. Pero ahora han evolucionado y son equipos más robustos, más fáciles de programar, con un mejor control en el motor, y lo más importante, se han convertido en una herramienta que comunica al sistema de control todo lo que está pasando en el motor, esto trae como beneficio una mayor protección de los activos del cliente, mejorando la eficiencia de los trabajos y reduciendo los tiempos muertos de los mismos, es por ello como tenemos el deber como ya profesionales de mejorar nuestro aprendizaje sobre los VDF's.

Para reforzar estos conocimientos es necesario contar con información relevante en este tema, ya sea en base al principio de funcionamiento, partes constructivas como las fallas que se puedan producir y como solucionarlas o evitarlas mediante las recomendaciones de instalación de la IEC, IEEE y compatibilidad electromagnética EMC. Para ello, hemos realizado pruebas para simular las fallas comunes mediante ensayos.

Posterior a las pruebas, podremos comprobar lo que dice el fabricante de las marcas VACON y Schneider Electric se cumplen, además documentar los resultados de los ensayos, de esta manera lograremos desarrollar una herramienta que permita al estudiante tener una guía adecuada para lograr determinar de forma segura el motivo de alguna perturbación ocurrida en un variador de frecuencia dispuesto en el Taller de Electricidad de la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Concepción.

DESCRIPCION DEL PROBLEMÁTICA

Fallas o perturbaciones frecuentes en los accionamientos eléctricos de baja tensión (Red- variador – motor) que dificultan su correcto funcionamiento y provocan un daño en los equipos ya mencionados.

Analizando estos problemas, ya sea desde la red al variador, del variador al motor o del motor al variador y así optimizar su funcionamiento correcto para uso educacional, además de explicar el comportamiento de cada componente al enfrentarse a una falla ya predeterminada por el fabricante.

ALCANCE

Estos ensayos buscan relacionar tres variables muy importantes en el contexto del accionamiento eléctricos. Para esto es necesario adquirir información, mediante la medición de magnitudes físicas, necesaria para interpretar el comportamiento en el sistema eléctrico que costara de la red eléctrica 3X380V, variador de frecuencia de marca VACON CXS, motor de inducción jaula de ardilla de 3KW, variador de frecuencia marca Schneider Electric ATV32 , motor de inducción jaula de ardilla de 0,18KW sometido a distintas situaciones de falla o perturbaciones, con la finalidad de evaluar los diferentes escenarios donde se impida el funcionamiento normal del accionamiento en baja tensión de cada falla en particular, dentro del taller de Electricidad de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBJETIVOS

Los puntos a continuación son aquellos con los que se consigue lograr el alcance del presente trabajo de título, desglosándolo en dos secciones principales; objetivo general y objetivo específico.

Objetivo general

Determinar las fallas comunes que afectan a los variadores de frecuencia a través de ensayos, mediante los equipos presentes en los accionamientos eléctricos en baja tensión dentro del taller de electricidad de la Universidad Técnica Federico Santa María - Sede Concepción.

Objetivos específicos

1. Comprender la interacción entre el variador de frecuencia y motor de inducción (Jaula de ardilla), presentes en los accionamientos de baja tensión. Mediante la información técnica de los fabricantes.

2. Lograr diagnosticar con más precisión las fallas en los VDF's a través del estudio de los tipos de fallas detectadas en estos equipos y los componentes interno, que usan para esta detección.

3. Establecer las acciones preventivas necesarias para lograr un funcionamiento confiable de los VDF's a través del estudio de las normas y recomendaciones de instalación según fabricantes.

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO

1.1. VARIADOR DE FRECUENCIA

Un variador de frecuencia (VDF) es un conjunto de componentes utilizado para el control de la velocidad rotacional de un motor de inducción de corriente alterna (CA), especialmente en los motores jaula de ardilla, por medio del control de la frecuencia suministrada al motor. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable en CA.

El uso de Variadores de Frecuencia para el control inteligente de los motores tiene muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de improductividad.

Los VDF'S también son conocidos como convertidor de frecuencia de Corriente Alterna, Convertidor de Velocidad Variable, Variadores de Velocidad O (VFD por sus siglas en ingles Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive).

1.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$Ns = \frac{(120 \times f)}{p}$$

Donde:

Ns: velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto (rpm)

f: frecuencia del sistema en hertzios (Hz)

p: número de pares de polos del motor.

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM 1000 RPM y 750 RPM para 50Hz.

1.2.1. Etapas de un variador de frecuencia

Los Variadores de Frecuencia actúan de la siguiente forma.

1. Etapa de potencia

a) Circuito Rectificador

El Variador de Frecuencia recibe la CA trifásica representada por la onda roja, verde y azul. La cual se modifica en CC pulsante por medio de un puente rectificador de diodos o tiristores representada por onda violeta de la Figura 1-1.

Con valores de amplitud o de pico de 537V y un voltaje RMS de 380V

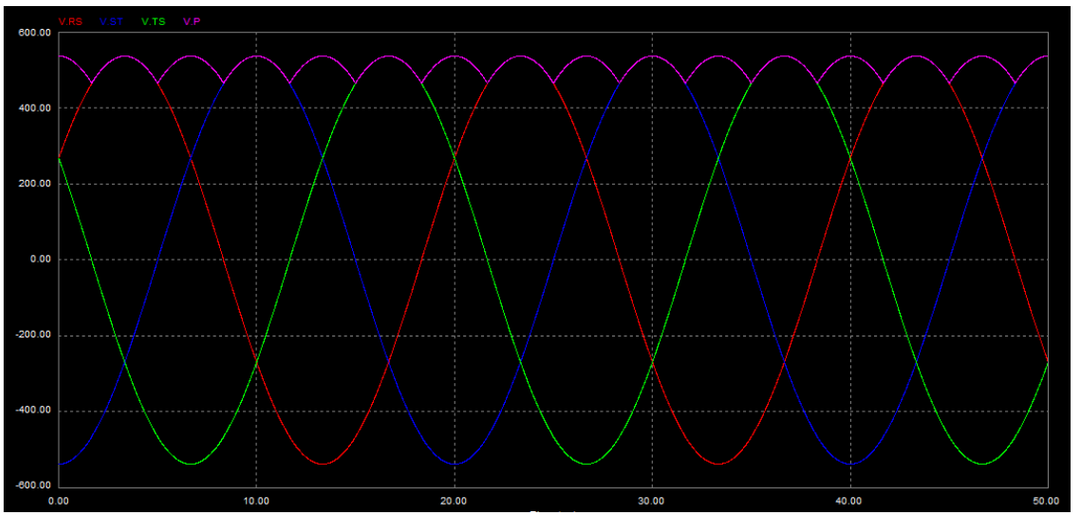
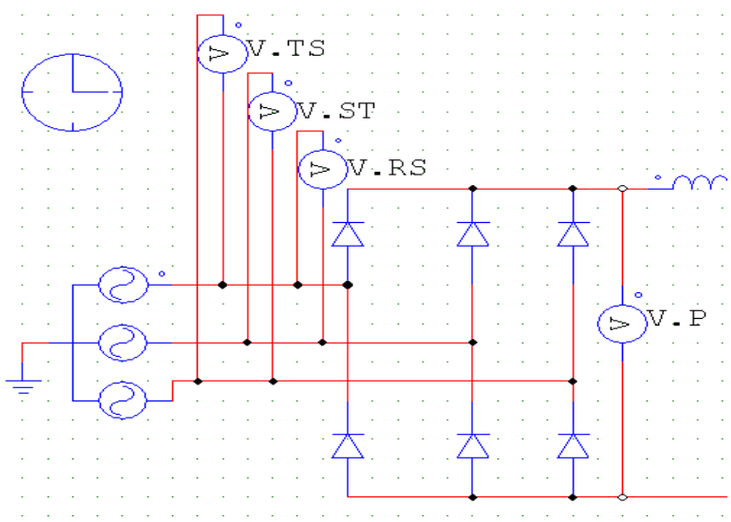


Figura 1-1. Convertir CA entrante en CC.

(Fuente: Software PSIM)



Esquema 1-1. Puente rectificador de onda completo trifásico.

(Fuente: Software PSIM)

b) Circuito Intermedio: Consiste en un circuito LC, cuya función principal es suavizar el rizado de la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos en la hacia la red representada con la línea roja.

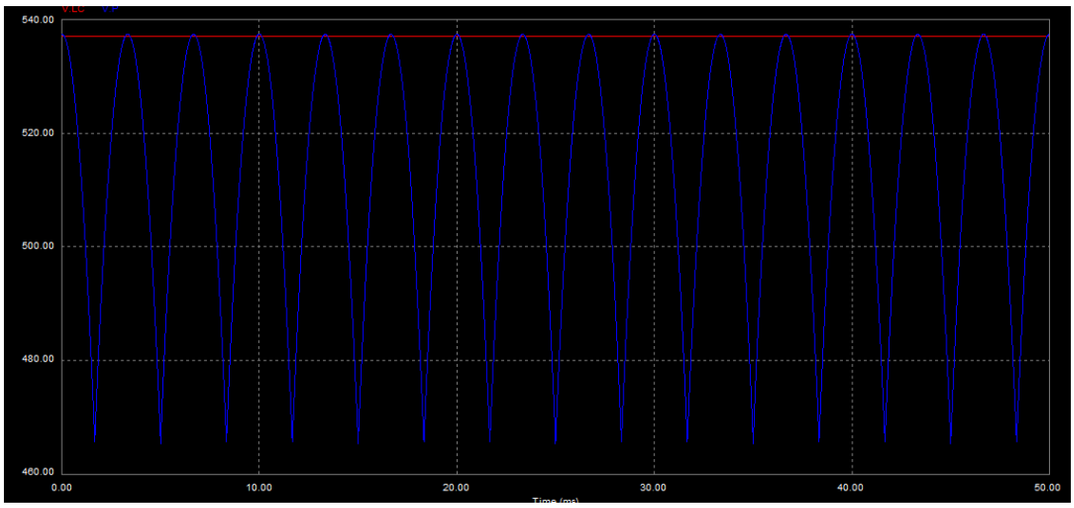
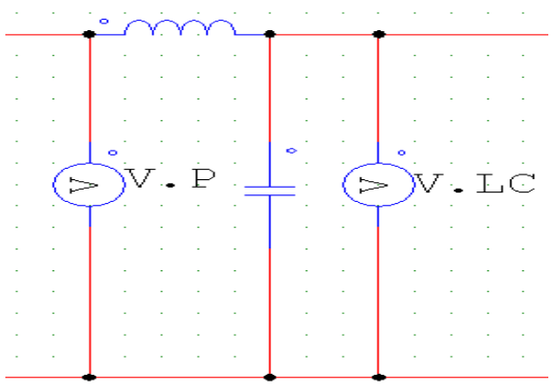


Figura 1-2. Circuito Intermedio.

(Fuente: Software PSIM)



Esquema 1-2. Enlace DC.

(Fuente: Software PSIM)

c) Circuito Inversor: Convierte el voltaje continuo del circuito intermedio en uno de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Los variadores modernos incluyen IGBT (Insolated Gate Bipolar Transistor) para generar los pulsos de voltaje de manera controlada.

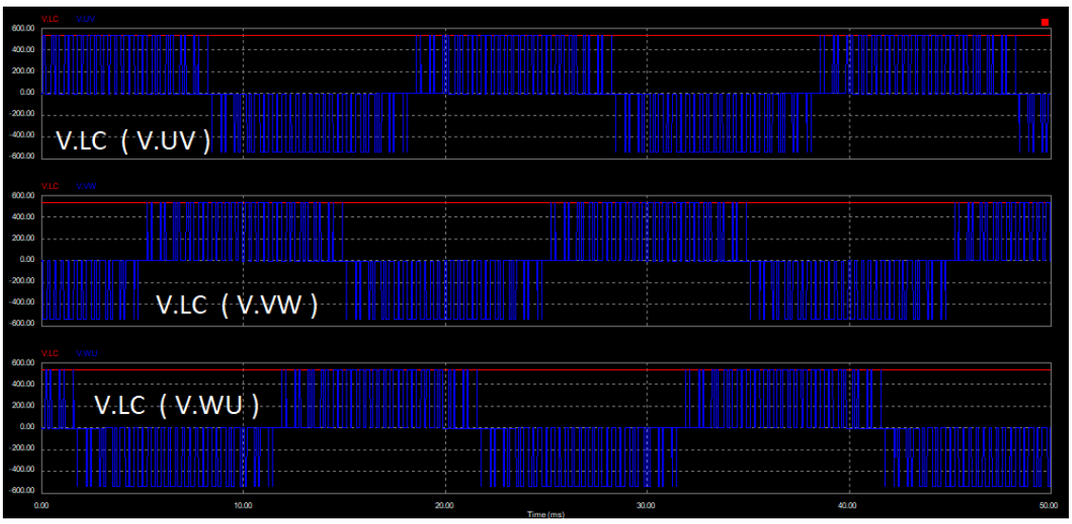
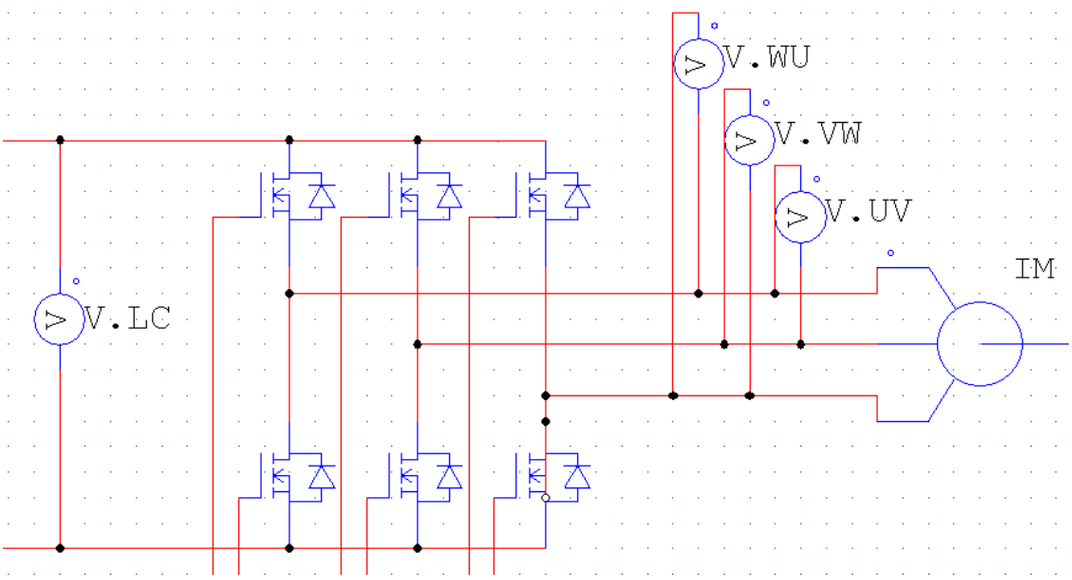


Figura 1-3. Señal que le llega al motor.

(Fuente: Software PSIM)

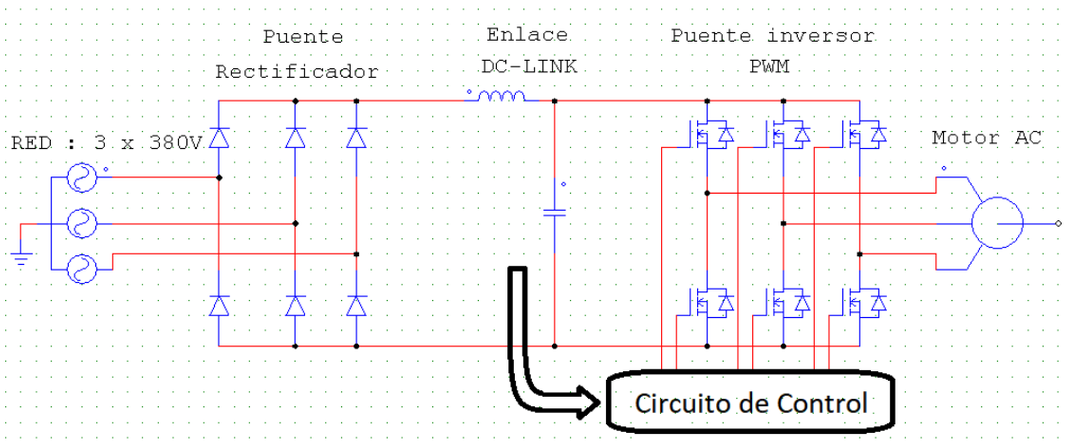


Esquema 1-3. Inversor trifásico.

(Fuente: Software PSIM)

2. Etapa de control

a) El Circuito de Control enciende y apaga los IGBT para generar los pulsos de tensión y frecuencia variable, Además realiza las funciones de supervisión de funcionamiento monitoreando la corriente, voltaje, temperatura etc. Con teclados e interfaces amigables de fácil empleo.



Esquema 1-4. Esquema Eléctrico general de un VDF.

(Fuente: Software PSIM)

1.2.2. Tipos de variadores de frecuencia

Desde que se desarrollaron los variadores de frecuencia, la tecnología ha ido avanzo en conjunto a la mejora y aumentando la variedad de los VDF'S para así lograr una mayor eficiencia según el motivo o necesidad para el cual sean necesarios. Entre las categorías de los variadores se encuentran, los monofásicos y trifásicos. Podemos encontrar en las categorías anteriores los equipos de VSI, Inversor fuente de voltaje (Voltaje Source Inverter) o CSI, Inversor fuente de corriente (Current Source Inverter) de los cuales el más usado es el inversor de fuente de voltaje con modulación PWM. En baja tensión la mayoría es fuente de voltaje y sólo se usa fuente de corriente cuando el motor está a una distancia superior a 100m del VDF.

Inversor por Modulación Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation), quiere decir que es una forma de modular el voltaje para variar la tensión, frecuencia y desplazar las corrientes armónicas a valores muy altos de frecuencia.

En nuestro trabajo de título realizaremos ensayos con un variador de frecuencia fuente de voltaje con modulación PWM. por lo que nos centraremos en este tipo de VDF.

1.2.3. Variador de frecuencia de modulación de ancho de pulso (PWM)

Los variadores de frecuencia de modulación de ancho de pulso (PWM) proporcionando una corriente de salida más sinusoidal para lograr controlar la frecuencia y voltaje suministrada a un motor CA.

El variador de frecuencia con inversor PWM, es el más efectivo ya que logra un menor nivel de armónicos dirigidas a la red y un alto nivel de rendimiento para el control de motores mediante el inversor que desplaza las armónicas en torno a la frecuencia de la señal portadora o triangular, si esta es de 15KHz, las armónicas se desplazan

alrededor de esta frecuencia, haciendo más fácil el filtrado de las mismas, esto lo hace ser unos de los más comunes y utilizados en la industria.

En esta tecnología primero se rectifica el voltaje CA de entrada realizada por un puente de diodos y capacitores de CC para crear y mantener un voltaje estable y suavizado en CC para luego pasar por el inversor que usando la tecnología de transistores bipolares de compuerta aislada (isolated gate bipolar transistor IGBT por sus siglas en inglés) envían pulsos de duración variable al motor obteniendo como respuesta una corriente casi sinusoidal con frecuencia variable.

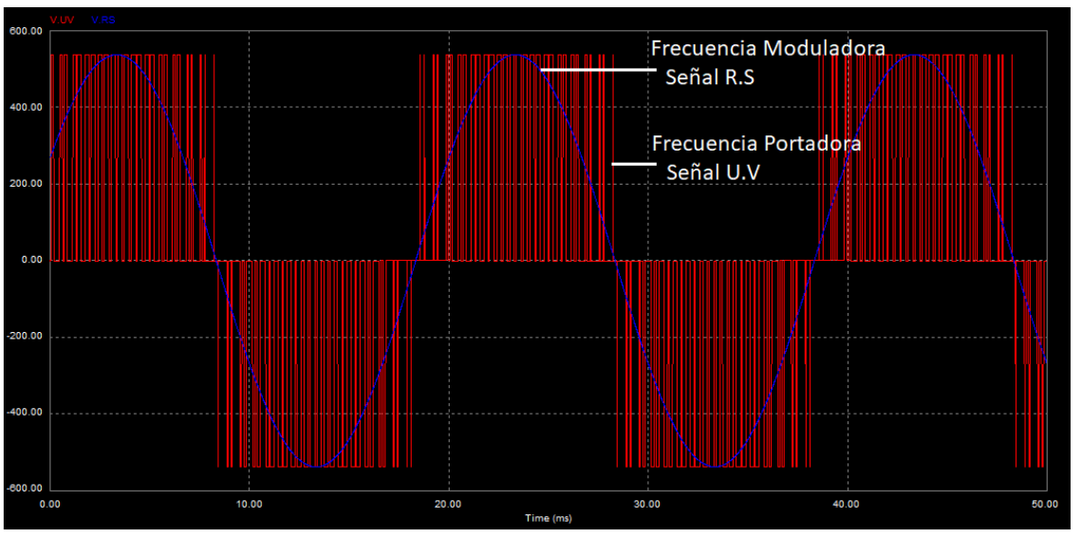


Figura 1-4. Frecuencia moduladora y portadora

(Fuente: Software PSIM)

Señal moduladora: es la forma de onda que permite una fundamental de tensión y frecuencia variable en el motor.

Señales portadoras: Esta onda es de una frecuencia mucho más alta que la de la señal moduladora.

Al modular una señal desplazamos su contenido en frecuencia, ocupando un cierto ancho de banda alrededor de la frecuencia de la onda portadora, permitiéndonos multiplexar en frecuencia varias señales simplemente utilizando diferentes ondas portadoras y conseguir así un uso más eficiente.

1.3. MOTOR DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA SIMPLE

Los motores asíncronos, alimentados en corriente alterna trifásica, mueven las máquinas como tornos, fresadoras, limadoras, etc. y en cualquier otra aplicación donde se requiera un motor económico, robusto, con facilidad de instalación y mantenimiento, pero sin regulación de velocidad. Actualmente, la electrónica de potencia y de control han resuelto este problema y han hecho aún más universal el uso del motor.

1.3.1. Principio de funcionamiento del motor de inducción jaula de ardilla

El funcionamiento de este tipo de motores está basado en interacción del rotor y estator por medio de la inducción electromagnética. Se le aplica una corriente alterna trifásica a las bobinas inductoras del estator y se produce un campo magnético conocido como campo rotante, a la frecuencia de corriente alterna que alimenta al rotor. Este campo induce corrientes en el rotor, que a su vez producirá un campo magnético giratorio a la velocidad síncrona con respecto al estator.

Para que se produzca el par que haga que gire el motor, la velocidad del rotor será ligeramente inferior a la del campo rotante (velocidad de sincronismo), de ahí el nombre de motores asíncronos. A esta diferencia de velocidades se denomina deslizamiento.

1.3.2. Motor rotor jaula de ardilla

En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula.

1.3.3. Principio de funcionamiento

Los devanados inductores en el estator de un motor inducen al campo magnético al girar alrededor del rotor. El movimiento relativo entre este campo y la rotación del rotor induce corriente eléctrica, un flujo en las barras conductoras. Alternadamente estas corrientes que fluyen longitudinalmente en los conductores reaccionan con el campo magnético del motor produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor, dando por resultado un esfuerzo de torsión para dar vuelta al eje. En efecto el rotor se lleva alrededor el campo magnético, pero en un índice levemente más lento de la rotación. La diferencia en velocidad se llama deslizamiento y aumenta con la carga.

A menudo, los conductores se inclinan levemente a lo largo de la longitud del rotor para reducir ruido y para reducir las fluctuaciones del esfuerzo de torsión que pudieron resultar, a algunas velocidades, y debido a las interacciones con las barras del estator. El número de barras en la jaula de la ardilla se determina según las corrientes inducidas en las bobinas del estator y por lo tanto según la corriente a través de ellas.

El núcleo de hierro sirve para llevar el campo magnético a través del motor. En estructura y material se diseña para reducir al mínimo las pérdidas.

Las láminas finas, separadas por el aislamiento de barniz, reducen las corrientes parásitas que circulan resultantes de las corrientes de Foucault. El material, un acero bajo en carbono, pero alto en silicio, con varias veces la resistencia del hierro puro, en la reductora adicional. El contenido bajo de carbono le hace un material magnético suave con pérdida bajas por histéresis.

Rotor jaula de ardilla simple.

Este tipo de rotor es el usado para motores pequeños, en cuyo arranque la intensidad nominal supera 6 o 8 veces a la intensidad nominal del motor. Soporta mal los picos de cargas.

Este tipo de rotores están siendo sustituidos por los rotores jaula de ardilla doble en motores de potencia media.

Su par de arranque no supera el 140% del normal.

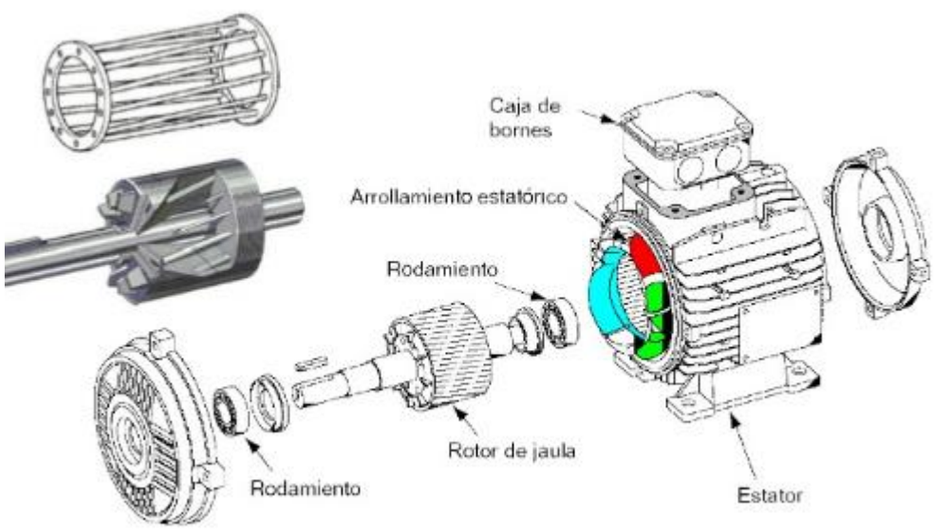


Figura 1-5. Motor Asíncrono tipo Rotor jaula de ardilla simple.

(Fuente: https://www.google.cl/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjC4e7k--PeAhWMG5AKHQOJDpAQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fcore.ac.uk%2Fdownload%2Fpdf%2F132345465.pdf&psig=AOvVaw10kYgHVRnI_2b8rlxmkfqj&ust=1542837504609348)

1.3.4. Factor de deslizamiento

El rotor de un motor asíncrono funciona más lento que el campo producido en el estator por la red de corrientes trifásicas, a esta diferencia se le llama deslizamiento.

El deslizamiento es la diferencia entre la velocidad actual de un motor a inducción y la velocidad síncrona, que es la velocidad a la que correría un motor enrollado de manera similar. Por ejemplo, el deslizamiento de un motor girando a 1760 RPM sería 1800 - 1760 = 40 RPM. El deslizamiento depende de la carga del motor.

Para calcular el porcentaje de deslizamiento se utiliza la siguiente formula:

$S\%=(Ns-Nr)/Ns \times 100$

Donde:

Ns: Velocidad síncrona (RPM).

N: Velocidad retórica (RPM).

S%: Deslizamiento.

Mientras más grande sea la carga que se le conecta al motor mayor será el deslizamiento y por ende menor será la velocidad de este mismo.

Para lograr que este deslizamiento sea mínimo se utilizan variadores de frecuencia para compensar esa disminución de velocidad con los parámetros del variador, es por lo que se recomiendo el uso de los VDF's en todo proceso industrial que requiera de un cambio constante de velocidades.

1.4. LOS ARMONICOS

Las corrientes armónicas son los componentes de una corriente eléctrica periódica descompuesta en la serie de Fourier. Los armónicos tienen una frecuencia que es múltiplo (2, 3, 4, 5, … n) de la frecuencia fundamental (50Hz en la red eléctrica). El número "n" determina el rango de la componente armónica.

Ejemplo: para una frecuencia fundamental de 50Hz, el armónico de rango 5 presentará una frecuencia de 250Hz.

1.4.1. Las fuentes de armónicos

Los armónicos son ocasionados por cargas no lineales que producen corrientes no sinusoidales, como en este caso un variador de frecuencia que se implementara en los ensayos conectado a 3x380V. El motor de inducción jaula de ardilla que usaremos, los resistores, inductores, y los condensadores son dispositivos

lineales. Cuando se conecta una carga resistiva en el sistema de potencia AC, se obtiene una corriente sinusoidal. La fuente más grande de armónicos son los convertidores. La corriente armónica ocasionada por las fuentes no lineales puede producir la distorsión armónica hacia la red es mediante la corriente y la distorsión hacia el motor es mediante voltaje, lo que puede generar problemas para otros dispositivos.

1.4.2. Los efectos de los armónicos

Los efectos de los armónicos se dividen en tres categorías generales:

1. Efectos sobre el sistema de la red eléctrica.
2. Efectos sobre la carga.
3. Efectos sobre circuitos de comunicación.

En la red eléctrica, las corrientes armónicas son el problema principal, ocasionando recalentamiento y pérdida de vida útil. Esto refiriéndonos a motores o transformadores. El impacto es peor cuando la resonancia de la red amplifica las corrientes armónicas. Los armónicos pueden interferir y ocasionar errores de disparo en la operación de relees, mediciones y falsos disparos en los dispositivos de protección. El desempeño del equipo controlador de velocidad de motores puede ser adversamente afectado por los armónicos.

1.4.3. Parámetros de los armónicos

Los armónicos se clasifican por tres parámetros (Orden, Frecuencia y Secuencia) que definen perfectamente la función del armónico correspondiente en la red eléctrica.

1.4.4. El orden de los armónicos

La frecuencia fundamental es de 50Hz, el número de orden determina las veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la fundamental: 1,2,3,4,5,6,7… orden natural de los números (n).

También se define como la relación que hay entre la frecuencia del armónico (fn) y la frecuencia fundamental (f50).

$$n = \frac{fn}{f50}$$

1.4.5. La frecuencia

Se define como el resultado de multiplicar el número de orden del armónico por la frecuencia fundamental (50Hz), por ejemplo:

3° Armónico 3 x 50hz = 150Hz
5° Armónico 5 x 50Hz = 250Hz

Los armónicos de orden impar son los que se encuentran en las redes eléctricas de la industria, edificios y explotaciones industriales, aeropuertos. Los de orden par sólo aparecen cuando hay asimetría en la señal eléctrica.

1.4.6. La secuencia

La secuencia positiva o negativa de los armónicos no determinan un comportamiento concreto de los mismos en las redes eléctricas, son igual de perjudiciales unos que otros.

En el caso concreto de las baterías de condensadores para la corrección del factor de potencia son más perjudiciales los de secuencia negativa, y fundamentalmente el 5º armónico.

Por el contrario, los de secuencia cero, al ser su frecuencia múltiplo eléctrico de la fundamental, se desplazan por el neutro, haciendo que por él circule la misma o más intensidad que por las fases con el consiguiente calentamiento de este, de ahí la necesidad.

> El neutro de alimentadores trifásicos o de circuitos trifásicos que sirvan cargas no lineales, tales como rectificadores, reguladores de velocidad, etc., se dimensionará de modo tal que su sección sea a lo menos igual a la sección de los conductores de fases. (S.E.C., 2003, pág. 28).

Orden	Frecuencia	Secuencia
1	50	+
2	100	-
3	150	0
4	200	+
5	250	-
6	300	0
7	350	+
8	400	-
9	450	0
n	50▪n	…

Tabla 1-1. Parámetros de los armónicos.

(Fuente: http://www.rtrenergia.es/downloads/armonicos_2012.pdf)

1.4.7. La 3° y la 5° armónica

La 3° armónica:

En la figura 1-6. Que representa la forma de onda deformada y su valor de pico como suma grafica de las dos ondas senoidales.

La onda fundamental tiene una amplitud igual a tres veces la 3° armónica y ambas tienen su valor de pico en el mismo instante.

La 3° armónica tiene la particularidad de que su frecuencia es múltiplo eléctrico de la frecuencia fundamental, y tiene secuencia cero, por lo que en el sistema trifásico de cuatro hilos (R, S, T y N) entra en fase con las tres líneas (R, S, T) desplazándose por el neutro (N) y aumentando la intensidad. Igual ocurre con la 6° y 9°. Por lo que se debe usar los 4 conductores con la misma sección.

Figura 1-6. La armónica fundamental, la 3° y onda deformada.

(Fuente: http://www.rtrenergia.es/downloads/armonicos_2012.pdf)

La 5° armónica:

En la figura 1-7. Que muestra la forma de onda de la 5° armónica, en la misma aparece la onda deformada con su correspondiente valor de pico, como suma grafica de la onda fundamental y armónica.

Igual que en el caso anterior la onda fundamental tiene una amplitud igual a cinco veces la 5° armónica, y ambas tiene su valor de pico en el mismo instante.

La 5° armónica, a diferencia de la 3° armónica, no es múltiplo eléctrico de la fundamental por lo que se desplaza por las tres fases R, S y T. Esta es la primera armónica que afecta a los condensadores y al sistema trifásico, al igual que la 7° y 11°.

Figura 1-7. La armónica fundamental, la 5° y onda deformada.

(Fuente: http://www.rtrenergia.es/downloads/armonicos_2012.pdf)

1.5. PRECAUCIONES Y NORMAS QUE RIGEN AL VARIADOR Y LOS ENSAYOS

El variador es un equipo que contiene voltajes peligrosos y el motor controla piezas mecánicas giratorias. Si no se siguen las indicaciones incluidas pueden producirse, lesiones graves o daños materiales importantes. Los trabajos que tengan que realizarse en este equipo deben confiarse advertencias de seguridad. El funcionamiento satisfactorio y seguro de este equipo dependerá de que su manejo, instalación y funcionamiento.

La red de alimentación donde se conecte el equipo debe contar con conexión a tierra. El capacitor del enlace DC permanece cargado con voltajes peligrosos incluso con la carga quitada.
"Cuando el variador VACON CXS esta con tensión, las conexiones al motor U, V, W y la conexión -, + del circuito de CC/resistencia de frenado tienen tensión, aunque el motor no esté en marcha". (OYJ, 2000) además, tiene una gran corriente de fuga capacitiva.

Después de desconectar la red, espere hasta que se pare el ventilador y se apaguen los indicadores del panel (si no hay panel compruebe los indicadores de la tapa). Después de esto espere como mínimo 5 minutos antes de efectuar cualquier operación o sacar la tapa del VACON CXS.

El variador ALTIVAR 32 debe estar conectado a tierra para cumplir con las regulaciones sobre corrientes de fuga elevadas (más de 3.5mA).

Esperar 15 minutos para permitir que los capacitores del bus de CC se descarguen. Mida la tensión del bus de CC entre los terminales PA / + y PC / - para asegurarse de

que la tensión sea menor de 42Vcc. (Steven Engineering, Manual de instalación ALTIVAR 32, 2010, pág. 10)

Antes de realizar cualquier tipo de ensayo se deben tomar en cuenta varias precauciones según la necesidad, para prevenir algún daño en los equipos o en personas, para ello existen normas certificadas y ciertos tipos de "reglas" para reducir en lo posible a cero las pérdidas.
Para nuestros ensayos específicamente, nos guiamos por las siguientes normativas:

1.5.1. Norma Eléctrica 4/2003 Capitulo 8: "Las cinco reglas de oro"

En el área eléctrica, se establecen "reglas" de obligado cumplimiento para minimizar en gran porcentaje los daños a equipos, sobre todo, a prevenir accidentes en las personas.
Las cuales son:

1. Desconectar, corte visible o efectivo
2. Enclavamiento, bloqueo y señalización
3. Comprobación de ausencia de tensión
4. Puesta a tierra y cortocircuito
5. Señalización de la zona de trabajo

1. Desconectar, corte visible o efectivo.

Esta "Regla" consiste en la desconexión visible de todas las posibles alimentaciones hacia la línea, maquina o cuadro eléctrico, en general, todo dispositivo que se le esté siendo suministrada energía eléctrica.
Consideraremos que el corte ha sido bueno cuando podamos ver por nosotros mismos los contactos abiertos y con espacio suficiente como para asegurar el aislamiento. Esto es el corte visible.
En el caso específico de nuestro trabajo de título, sería la desconexión del enchufe macho que da la alimentación general hacia el automático trifásico, para luego suministrar energía al variador.
Realizando este proceso aseguramos de forma segura que ningún instrumento ni persona será dañada.
Esta "regla" de oro es la primordial, ya que nos permite lograr controlar parámetros sin contar con energía eléctrica.

2. Enclavamiento, bloqueo y señalización.

Consiste en la prevención de cualquier posible reconexión, por medios mecánicos. Para enclavar los dispositivos de mando no se deben emplear medios fácilmente anulables, tales como cinta aislante, bridas y similares. Además, es conveniente advertir a otros compañeros que se ha realizado el corte y el dispositivo está enclavado.
El apagado del automático general o la desconexión del enchufe que va conectado a la alimentación principal así, prevenimos algún contacto eléctrico al momento de estar realizando algún ensayo.

3. Comprobación de ausencia de tensión.

Este punto es bastante importante, ya que en todos los ensayos eléctricos se debe tener la firme certeza que no exista tensión, para ello siempre se debe comprobar la ausencia de tensión, empleando los conceptos adecuados al momento de realizar este procedimiento, por ejemplo, midiendo en cada una de las fases si existe alguna fuga antes de iniciar alguna labor de ámbito estudiantes.

Haber realizado los pasos anteriores no garantiza la ausencia de tensión en la instalación.

Esta "regla" es la más importante desde nuestro punto de vista ya que aseguramos que el corte sea efectivo, a través de un multímetro, y dejar constancia de forma segura que los elementos a intervenir no estará energizados y evitar un posible contacto eléctrico.

4. Puesta a tierra y en cortocircuito.

Este paso es especialmente importante, ya que creará una zona de seguridad virtual alrededor de la zona de trabajo.

Luego de realizar todos los pasos anteriores se deben aterrizar todos los puntos que posiblemente puedan ser energizados en las partes metálicas del circuito, cabe destacar que donde se aterrice debe estar en una zona visible de trabajo.

5. Señalización de la zona de trabajo.

Para asegurarnos que no ocurrirán accidentes se debe señalizar el área de trabajo.

Al realizar los ensayados en un taller el eléctrico de una universidad, ya se cuentan con señalizaciones en las zonas donde exista peligro de intensidad o donde sean lugares predeterminados para trabajar en ellos, es por eso que este paso es omitido.

1.5.2. Norma IEEE 519: 1992 sobre Armónicos

La norma IEEE 519 es una norma internacional que consiste en establecer responsabilidades entre Consumidor y Distribuidor las cuales limitan los rangos permitidos de forma de onda de voltaje a suministrar por la distribuidora. Es la corriente distorsionada por los consumidores, por ende, la más usada en chiles es la IEEE 519 1992, por la que se rigen la mayoría de los nuevos proyectos en el país.

1.5.3. IEEE 519, Prácticas recomendadas y requisitos IEEE para el control de armónicos en la red eléctrica

La norma no proporciona límites para equipos individuales, sino para clientes individuales. Los clientes se clasifican por el coeficiente de intensidad de cortocircuito disponible (Isc) y su intensidad de carga de demanda máxima (IL) en el punto de acoplamiento común. La intensidad de carga de demanda total es la suma de las cargas lineales y no lineales. Dentro de una planta industrial, el PCC se define como el punto entre la carga no lineal y otras cargas.

Las intensidades de armónicos individuales permitidas y la distorsión por armónicos total se tabulan mediante el coeficiente de intensidad de cortocircuito disponible y la intensidad de carga de demanda total (Isc / IL) en el punto de acoplamiento común.

Los límites son un porcentaje de IL para todos los armónicos pares e impares de 2 a infinito. La distorsión total por armónicos se denomina distorsión total de demanda y debería calcularse asimismo hasta infinito. Muchos autores limitan el cálculo de los componentes individuales y la TDD a 50.
La tabla 1-2. de la norma se malinterpreta algunas veces como límites para las emisiones de armónicos de un solo aparato empleando del equipo en lugar de Isc / IL de la totalidad de la instalación. Los límites de la tabla no deberían emplearse de este modo, dado que el coeficiente de la intensidad de cortocircuito y la intensidad de carga de demanda total de una instalación deberían emplearse siempre.

La IEEE 519 1992 trata principalmente con armónicos introducidos por cargas no lineales, con la finalidad de que los problemas de calidad de potencia puedan ser prevenidos. Su cumplimiento está siendo solicitado cada día más debido al crecimiento en la utilización de VDF y otras cargas no lineales.
Además, esta norma define distorsión total e individual de voltaje y corriente. La filosofía adoptada fue restringir la inyección de corrientes armónicas de consumidores individuales para no causar niveles de distorsión de voltaje inaceptables.

Clasificación del Sistema de Baja Tensión y Límites de Distorsión.			
	Aplicaciones Especiales	Sistema General	Sistema Dedicado
Profundidad de la muestra	10%	20%	50%
THD (Voltaje)	3%	5%	10%
Área de muestra (AN)[3]	16400	22800	36500
Nota: el valor AN para otros sistemas de 480V se debe multiplicar por V / 480. 1- Las aplicaciones especiales incluyen hospitales y aeropuertos. 2- Un sistema dedicado está dedicado exclusivamente a la carga del convertidor. 3 en voltios-microsegundos a tensión y corriente nominales.			

Tabla 1-2. Límites de distorsión de voltaje y corriente IEEE 519-1992.

(Fuente: http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=570&%20edi=7)

El propósito de la IEEE 519 es el de recomendar límites en la distorsión armónica según dos criterios distintos, específicamente: 1. Existe una limitación sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar en la red de distribución eléctrica. 2. Se establece una limitación en el nivel de voltaje armónico que una compañía de distribución de electricidad puede suministrar al consumidor. Lineamientos para Clientes Individuales el límite primario de los clientes individuales es la cantidad de corriente armónica que ellos pueden inyectar en la red de distribución. Los límites de corriente se basan en el tamaño del consumidor con respecto al sistema de distribución. Los clientes más grandes se restringen más que

los clientes pequeños. El tamaño relativo de la carga con el respecto a la fuente, se define como la relación de cortocircuito (SCR), al punto de acoplamiento común (PCC), que es donde carga del consumidor conecta con otras cargas en el sistema de potencia. El tamaño del consumidor es definido por la corriente total de frecuencia fundamental en la carga, IL, que incluye todas las cargas lineales y no lineales. El tamaño del sistema de abastecimiento es definido por el nivel de la corriente de cortocircuito, ISC, al PCC. Estas dos corrientes definen el SCR:

$$SCR = \frac{short\ circuit\ MVA}{load\ MW} = \frac{Isc}{IL}$$

Una relación alta significa que la carga es relativamente pequeña y que los límites aplicables no serán tan estrictos como los que corresponden cuando la relación es más baja. Esto se observa en la tabla 1, donde se recomiendan los niveles máximos de distorsión armónica en función del valor de SCR y el orden de la armónica. La tabla también identifica niveles totales de distorsión armónica. Todos los valores de distorsión de corriente se dan en base a la máxima corriente de carga (demanda). La distorsión total está en términos de la distorsión total de la demanda (TDD) en vez del término más común THD. La tabla 1-3. muestra límites de corriente para componentes de armónicas individuales, así como también distorsión armónica total. Por ejemplo, un consumidor con un SCR entre 50 y 100 tiene un límite recomendado de 12.0% para TDD, mientras que para componentes armónicas impares individuales de ordenes menores a 11, el límite es del 10%. Es importante notar que los componentes individuales de las corrientes armónicas no se suman directamente para que todo el armónico característico no pueda estar a su límite máximo individual sin exceder el TDD. IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente. Para condiciones con duración superior a una hora. Para períodos más cortos el límite aumenta un 50%.

IEEE 519 da lineamientos para los armónicos pares limitándolos al 25% de los impares, dentro de la misma gama. El armónico par es el resultado de una onda de corriente asimétrica (con forma diferente a la positiva y negativa) que puede contener componentes CC que saturarán los núcleos magnéticos. Para equipos de generación, IEEE 519 no discrimina en el tamaño.

Límites de corriente Armónica para cargas no lineal en el punto común de acoplamiento con otras cargas, para voltajes entre (120V hasta 69000V).						
Máxima distorsión Armónica impar de la corriente, en % del Armónico fundamental.						
ISC/IL	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	TDO
<20+	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Dónde: ISC = corriente máxima de cortocircuito en PCC. ILC = corriente de carga de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en PCC.						

Tabla 1-3. Límites de distorsión de voltaje y corriente IEEE 519-1992.

(Fuente: http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=570&%20edi=7)

1.5.4. Norma IEC 61000 (EMC)

Es una norma que se aplica a una red de alimentación de baja tensión, los límites y los requisitos de IEC 61000 se aplican al equipo con una intensidad nominal menor a 16A.

EMC (Compatibilidad Electromagnética) finalizo el 1.1.1996. La directiva establece que los equipos eléctricos no deben perturbar el ambiente y deben ser inmunes a otras perturbaciones Electromagnéticas en el ambiente.

Niveles de emisión CXS -nivel I

El convertidor de frecuencia (nivel I) cumple con las normas de EMC en un ambiente de industria pesada (normas EN50081-2, EN61800-3).

1.5.4.1. IEC 61000-2-2, Compatibilidad Electromagnética (EMC)

Niveles de compatibilidad para perturbaciones conducidas de baja frecuencia y señales en sistemas de alimentación de red de baja tensión.

Esta define los límites de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y las señales en sistemas de alimentación en baja tensión. Los fenómenos de perturbación incluyen los armónicos, los Inter armónicos, las fluctuaciones de tensión, las caídas de tensión y las interrupciones breves, los desequilibrios de tensión. Básicamente, esta norma define los criterios de diseño para el fabricante del equipo, y establece los requisitos mínimos de inmunidad del equipo.

1.5.4.2. IEC 61000-3-2, Compatibilidad Electromagnética (EMC)

Límites para las emisiones de intensidad de armónicos (intensidad del equipo menor 16A por fase).

Esta se centra en los límites de emisión de intensidad de armónicos del equipo individual conectado a la red. Las dos razones principales para la revisión son la necesidad de que la norma cubra asimismo la tensión por debajo de 220V y las dificultades y las contradicciones en la aplicación de la categorización del equipo facilitada en la norma.

La norma proporciona tres etapas diferentes para los procedimientos de conexión del equipo. Al satisfacerse los límites de armónicos individuales en la etapa 1 es posible efectuar la conexión del equipo en cualquier punto en el sistema de alimentación.

La etapa 2 proporciona límites de intensidad de armónicos individuales, así como la THD y su PWHD de contrapartida de alta frecuencia ponderada. Los límites se clasifican y se tabulan mediante el coeficiente de cortocircuito. La etapa 3 de la conexión se basa en el acuerdo entre el usuario y la autoridad que suministra la alimentación, basado en la potencia activa acordada de la instalación del consumidor.

1.5.5. Norma UNE-EN 60204-1 Interfaz Hombre-Maquina en el aspecto de seguridad

Esta normativa se aplica a los equipos eléctricos, electrónicos programables de máquinas fijas. También se aplica a aquellos equipos eléctricos a partes que estén alimentados con una tensión nominal que no exceda los 1000V en corriente alterna y para frecuencias nominales que no excedan los 200Hz.

El equipo debe diseñarse para funcionar con las especificaciones en corriente alterna que se muestran en la tabla 1-4.:

Tensión	Tensión permanente: de 0,9 a 1,1 del valor nominal.
Frecuencia	De 0,99 a 1,01 del valor nominal de forma continua. De 0,98 a 1,02 en un corto periodo.
Armónicos	La distorsión armónica que no exceda el 10% de la tensión eficaz total entre conductores activos por la suma del 2° al 5° armónico. Es permisible una distorsión armónica adicional del 2% de la tensión eficaz entre conductores activos por la suma del 6° al 30°
Desequilibrio de la tensión.	Ni la tensión de la componente inversa ni la tensión de la componente homopolar exceda del 2% de la tensión de la componente directa en alimentación trifásica.
Interrupción de la tensión.	La alimentación interrumpida o la tensión que descienda a cero durante más de 3ms en cualquier instante de un periodo de alimentación con más de 1s entre dos interrupciones sucesivas.
Mínimo de tensión.	Los mínimos de tensión que no excedan del 20% de la tensión de cresta de la alimentación para más de un periodo. Con más de 1s entre los mínimos sucesivos.

Tabla 1-4. Alimentaciones en corriente alterna.

(Fuente: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12231/fichero/03-CAPITULO3.pdf)

1.5.6. Norma UNE-EN-60150:1996 perturbaciones de la red eléctrica

La norma UNE-EN-60150:1996 define la tensión armónica como "una tensión senoidal cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación en el sistema".

El matemático francés Fourier define este fenómeno Afirmando que "cualquier señal periódica, por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental o de referencia".

1.5.6.1. Las variaciones de la frecuencia

Son alteraciones de la frecuencia medidas en promedios de 10 segundos, estas variaciones provocan el incorrecto funcionamiento del motor eléctricos, asíncronos.

1.5.6.2. El desequilibrio en el sistema trifásico

El sistema trifásico de tensión o corriente está perfectamente equilibrado cuando sus tres fases (R, S y T) tienen un desplazamiento angular de 120º entre ellas y los módulos de sus vectores tienen la misma magnitud.

Cuando el sistema este desequilibrado puede ocurrir que los módulos vectoriales de cada una de las fases sean distintos, que el espacio angular (desfases) entre dos vectores sea diferente de 120º, o que ocurran ambas cosas a la vez.

Esta forma de representar el sistema trifásico equilibrado o desequilibrado es válido, tanto si el sistema tiene solo tres hilos o cuatro hilos, neutro incluido.

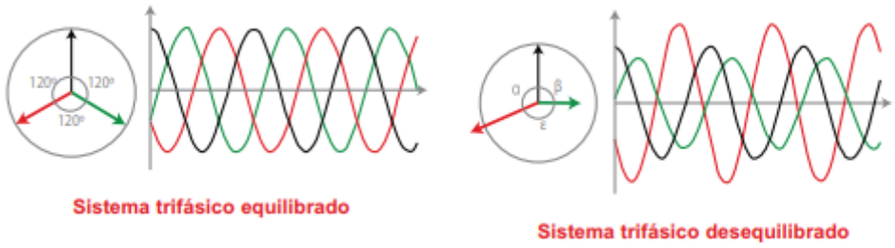


Figura 1-8. Sistemas trifásicos.

(Fuente: http://www.mecfi.es/content/26140/Analisis_y_Tarificacion/Vectores_Desequilibrio.jpg)

Los desequilibrios no deben superar los siguientes parámetros:
Intensidad <10%
Tensión <3%
Cuando el sistema este desequilibrado aumenta la corriente en el neutro.

1.5.7. Norma NEMA ICS 1.1

El objetivo de esta norma es proporcionar pautas generales para la aplicación, instalación y mantenimiento del control de estado sólido en forma de dispositivos individuales o conjuntos empaquetados que incorporan componentes de estado sólido. El énfasis de las directrices es la seguridad del personal. Se deben seguir cuidadosamente las normas NEMA aplicables y las instrucciones relacionadas con el producto.

1.5.8. Norma NEMA ICS 7.1

Estas normas se aplican a todos los componentes eléctricos y cableados de equipos industriales que forman parte del sistema de accionamiento eléctrico, comenzando en el punto de conexión de la alimentación de entrada a estos componentes. Se aplican al equipo eléctrico abierto o cerrado para su uso en circuitos que funcionan con una tensión de alimentación de corriente alterna de 600 V o menos. Estas normas son de aplicación general, pero puede haber situaciones en las que un conflicto con otras medidas de seguridad o requisitos operativos requiera la modificación de estas normas.
Quedan excluidos de esta publicación los siguientes:

1. Partes, subconjuntos o partes de motores o controladores que se utilizarán en la fabricación de controladores o sistemas de accionamiento más completos.
2. Equipo principal de propulsión para vagones de ferrocarril y de tránsito.
3. Equipo automotriz.
4. Equipos para aeronaves o embarcaciones aeroespaciales.

5. Equipos para uso doméstico.
6. Equipos construidos según especificaciones militares que entren en conflicto o anulen las disposiciones de esta publicación.
7. Características específicas adicionales requeridas para su uso en condiciones de servicio inusuales, en lugares que involucran atmósferas peligrosas y proyectos peligrosos.
8. Sistemas para procesos que utilizan electricidad para fines distintos al suministro y control de motores eléctricos.
9. Sistemas de accionamiento para herramientas portátiles.
10. Carretillas eléctricas industriales.
11. Ascensores de pasajeros, pasillos o ascensores móviles.
12. Equipo marino.

CAPITULO II: METODOLOGIA Y MATERIALES

El presente capítulo apunta a la metodología, procedimientos, esquemas de montaje e instrumentos que se utilizaron para llevar a cabo los diferentes ensayos.

2.1. METODOLOGIA DE SOFTWARE DE SIMULACION

2.1.1. Introducción al PSIM

PSIM es una herramienta de simulación de circuitos eléctricos y electrónicos por computador. La programación resulta muy sencilla e intuitiva, ya que se hace por medio de una interfaz gráfica que permite dibujar los esquemas de los circuitos que se desea simular, disponiendo para ello de paletas de elementos que incluyen además de los generadores y las cargas todos los elementos de control necesarios (aparatos de medida etc.).

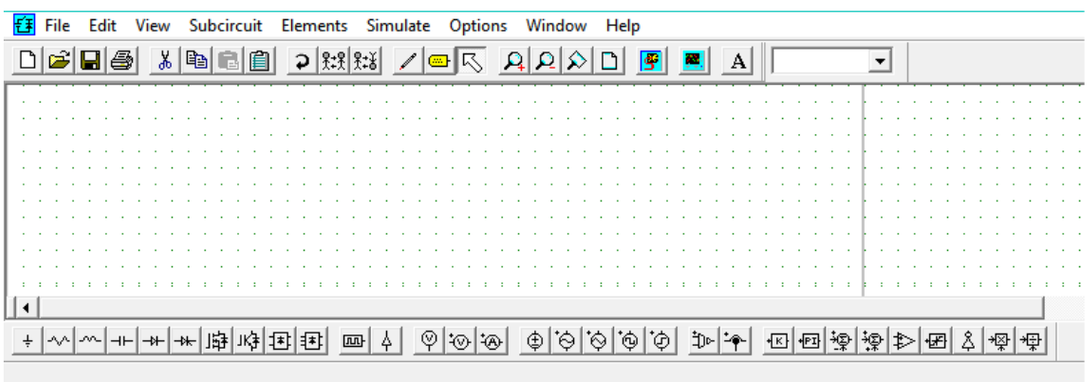


Figura 2-1. Barra de herramientas del PSIM.

(Fuente: Software PSIM)

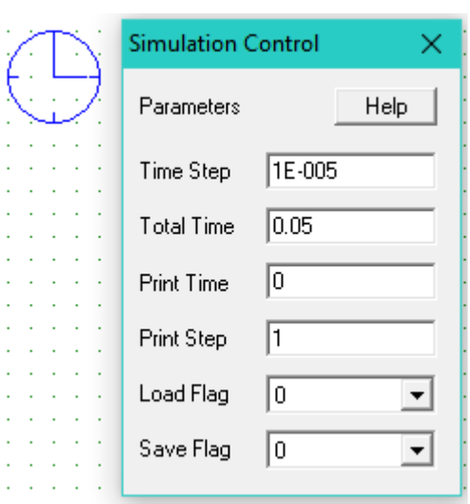


Figura 2-2. Control de simulación del PSIM.

(Fuente: Software PSIM)

2.1.2. Visualización del software correspondiente al variador de frecuencia VACON XCS

Para lograr una correcta manipulación de los variadores de frecuencia en general, es de extrema importancia manejar el software que corresponda para cada caso.

El Variador VACON XCS, cuenta con el software FCDRIVE, el cual nos permitirá visualizar ciertos parámetros tales como, corriente, voltaje, potencia, frecuencia y los RPM.

Se procede a la instalación del variador de frecuencia, el cual se conectará al Notebook que contiene el Software a través del cable RS232 USB además de una extensión RS232 y poder visualizar La operaciones y parámetros.

El ensayo constara de la siguiente instrumentación y materiales:

1 1 Multímetro digital FLUKE 41B.
2 1 Extensión RS232 macho a hembra.
3 1 Cable RS232 macho a USB.
4 1 Automático trifásico 380V / 6A.
5 1 Kit de herramientas.
6 5 Bornera viking.
7 1 Cordón trifásico Puntilla-Puntilla.
8 1 Enchufe trifásico 5 puntas con puntilla 380V / 32A
9 1 Notebook Lenovo N2.

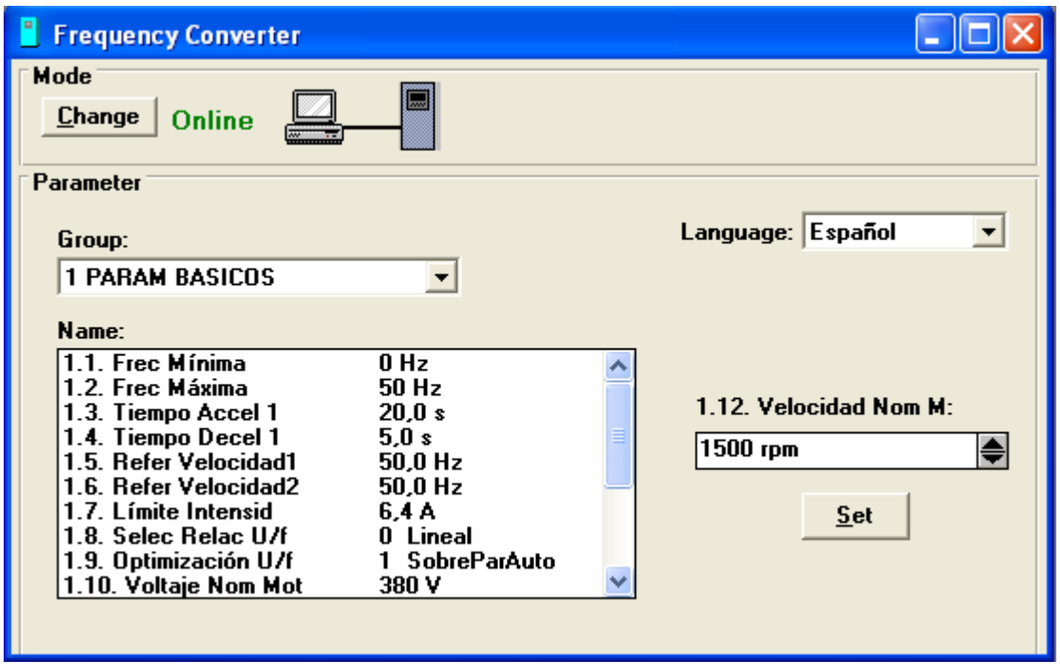


Figura 2-3. Parámetros básicos.

(Fuente: software FCDRIVE)

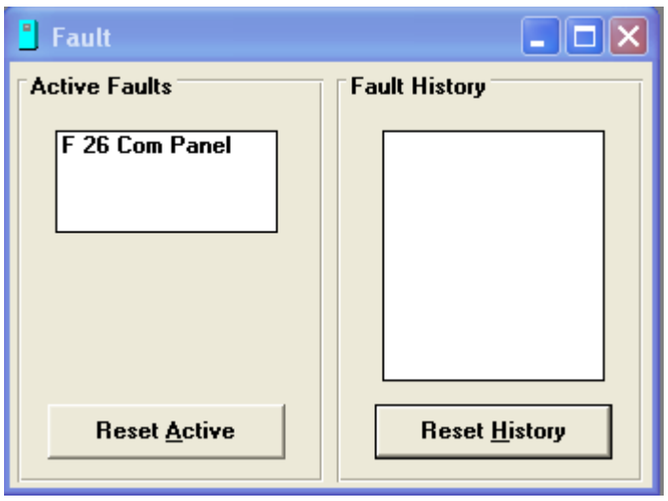


Figura 2-4. Fallas activas.

(Fuente: software FCDRIVE)

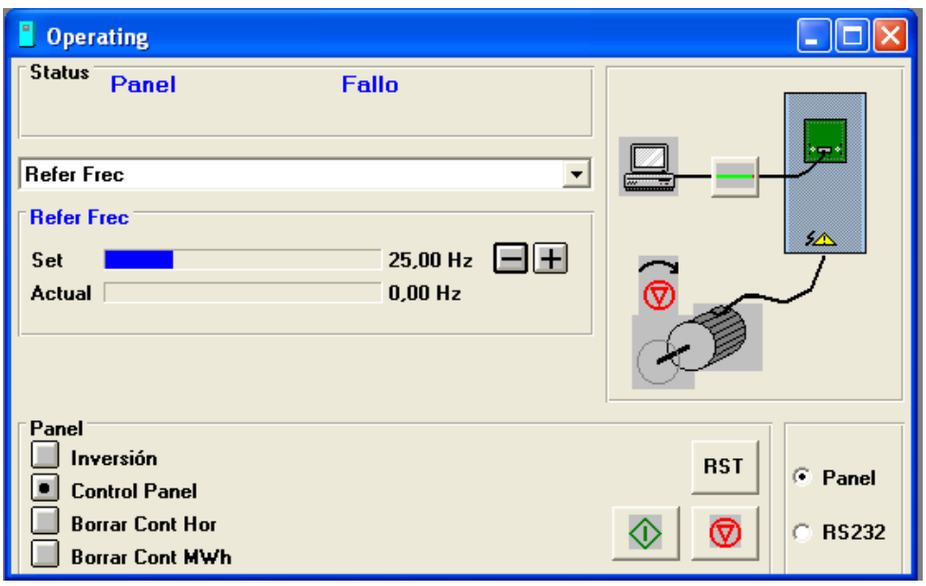


Figura 2-5. Operación del variador.

(Fuente: software FCDRIVE)

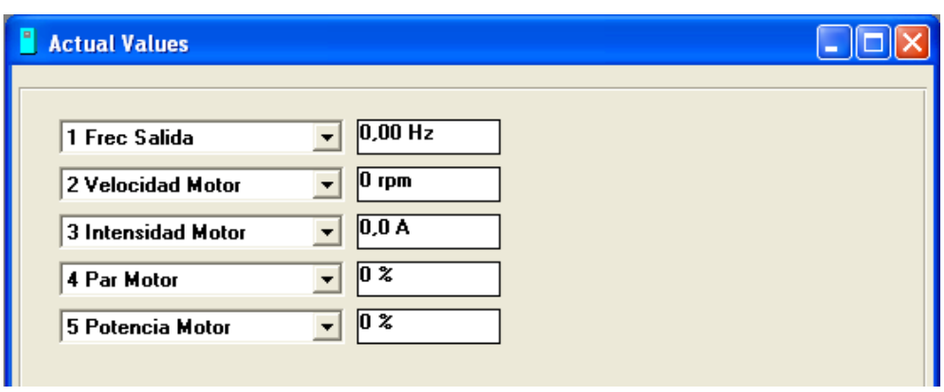


Figura 2-6. Valores actuales.

(Fuente: software FCDRIVE)

En este software, como se muestra en la figura 2-5. se puede visualizar en el panel el sentido de giro del motor y si este mismo se encuentra conectado, Además se puede visualizar los valores actuales en tiempo real.

Al momento de realizar el reconocimiento del programa se interpone una falla que nos indica que no se encuentra el panel físicamente en el variador, esta falla se elimina, reiniciando el historial de fallas.

Posterior a esto es necesario parametrizar los siguientes valores:

1. Tensión nominal del motor.
2. Frecuencia nominal del motor.
3. Velocidad nominal del motor.
4. Intensidad nominal del motor.
5. Tiempo de aceleración.
6. Tiempo de desaceleración.

Antes de realizar los ensayos en el variador de frecuencia VACON CXS se requiere parametrizar lo siguiente:

1. Tensión nominal del motor: 380V.
2. Frecuencia nominal del motor: 50Hz.
3. Velocidad nominal del motor: 1500RPM.
4. Intensidad nominal del motor a plena carga: 6,4A.
5. Tiempo de aceleración: 20seg.
6. Tiempo de desaceleración: 5seg.

2.1.3. Visualización correspondiente al variador de frecuencia ALTIVAR 32

El variador de frecuencia Altivar 32, es especialmente para ser utilizado en accionamientos de velocidad variable para motores síncronos y asincrónicos.

Antes de realizar los ensayos se requiere la visualización de los parámetros mediante el display del equipo.

En la tabla siguiente se muestran las combinaciones de funciones y aplicaciones con el fin de guiarle en su selección.
Las aplicaciones de esta tabla están relacionadas con la máquina siguiente, en particular:
El variador Altivar 32 consta con múltiples funciones que nos permiten variar accionamientos eléctricos, dentro de las configuraciones más necesarias se encuentra un submenú “FULL” el cual nos permite el acceso a los parámetros más básicos de los dispositivos.

Para ingresar a este parámetro se deben seguir los siguientes pasos:

Al acceder al submenú "Full" y luego entrar a "SIN", se encontrarán los siguientes parámetros:

CODIGO	SIGNIFICADO	SELECCIÓN
TCC	Selección de hilos.	2 hilos
BFR	Frecuencia estándar del motor.	50Hz
NPR	Potencia en Kw de motor.	37Kw
UNS	Voltaje del motor.	220V
NCR	Corriente del motor.	2,1A
FRS	Frecuencia nominal del motor.	50Hz
NSP	Velocidad nominal del motor.	1430RPM
TFR	Frecuencia máxima.	50Hz
ACC	Rampa de aceleración.	10seg.
DEC	Rampa de desaceleración.	10seg.
LSP	Velocidad mínima del motor.	25Hz – 50Hz

Tabla 2-1. Parámetros visualizados en VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Manual de programación ALTIVAR 32)

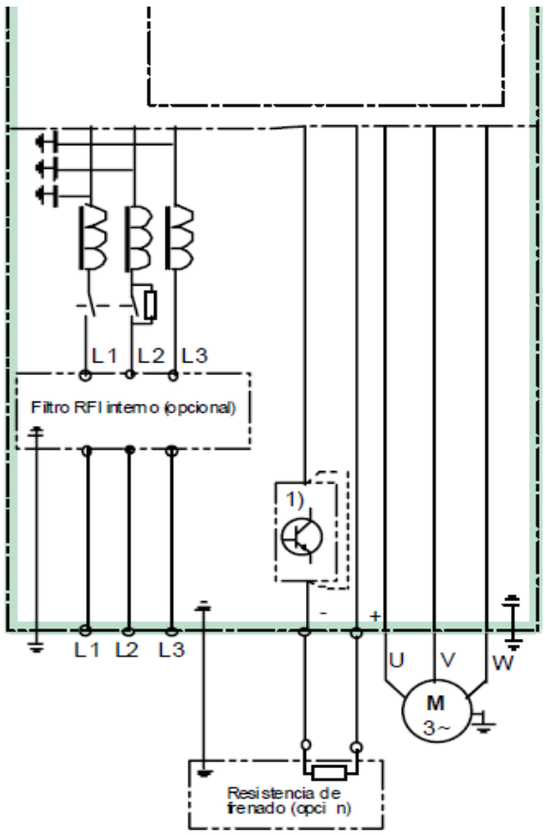
2.2. METODOLOGIA DE ENSAYOS EN LABORATORIO DE ELCTRICIDAD

2.2.1. Conexión del variador de frecuencia VACON XCS

Los terminales (L1, L2 y L3) corresponden a la conexión de la red eléctrica de 3x380V.

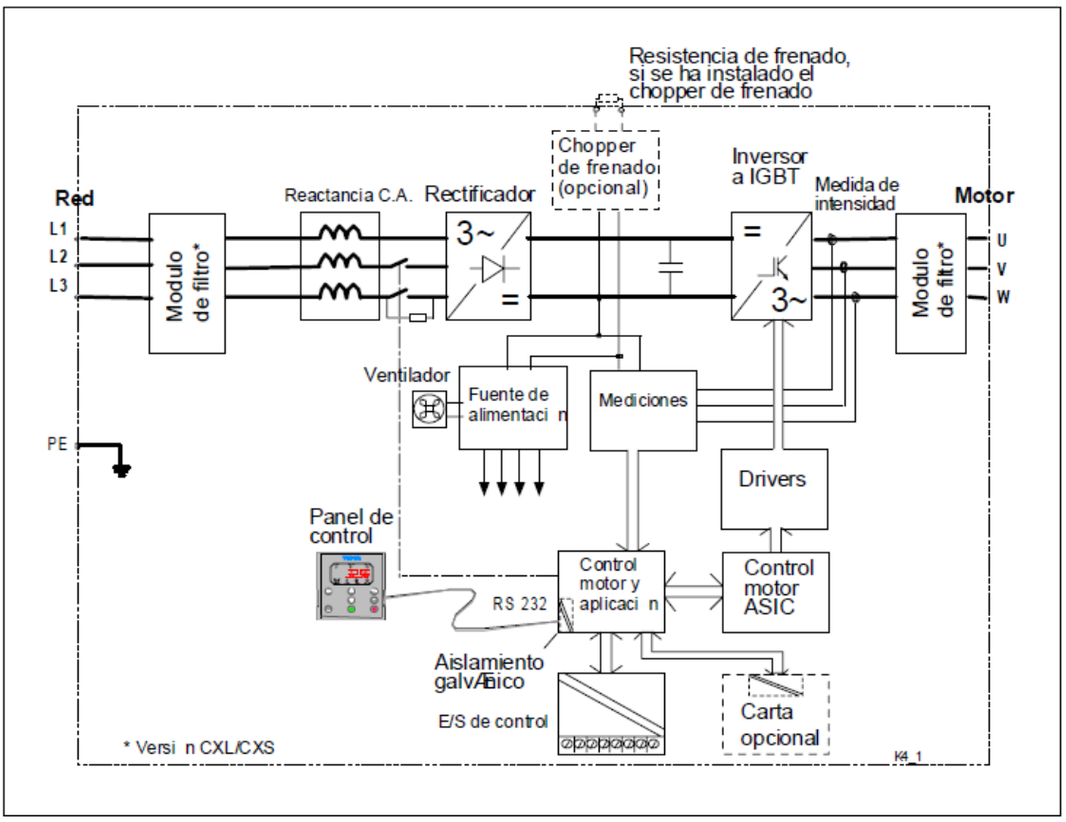
Los terminales (+, -) corresponde al DC-LINK/resistencia de frenado.

Los terminales (U, V y W) corresponden a la conexión del motor trifásico de 3KW.



Esquema 2-1. Diagrama general de cableado de potencia gama VACON CXS.

(Fuente: Manual del usuario variador de frecuencia VACON CXS)



Esquema 2-2. Diagrama de bloques del convertidor VACON CXS.

(Fuente: Manual del usuario variador de frecuencia VACON CXS)

La reactancia trifásica, AC-Choke, junto con los condensadores del DC-link forman un filtro LC que con el Puente de Diodos suministra la tensión de CC para los IGBT del Puente Inversor. La reactancia disminuye las perturbaciones de Alta Frecuencia que el convertidor produce en la red. También mejora la forma de onda de la intensidad de entrada.

El puente de IGBT produce una tensión, de CA simétrica trifásica modulada PWM, para el motor. La potencia absorbida de la red es casi totalmente potencia activa.

El Control de Motor y de Aplicación está basado en software ejecutado por microprocesador. El microprocesador controla el motor en función de las señales medidas, el valor ajustado en los parámetros y las órdenes recibidas desde las E/S de Control y el Panel de Control. El Control de Motor y de Aplicación da las ordenes al ASIC de Control de Motor que calcula las posiciones de los conmutadores IGBT. El Control de Puerta amplifica estas señales de posición para accionar el puente inversor de IGBT.

El panel de control es la unión entre el usuario y el VACON CX. Mediante este panel el usuario puede ajustar el valor de los parámetros, leer los valores actuales y dar órdenes de control. El panel es extraíble y se puede montar externamente, conectándose mediante un cable al convertidor de frecuencia. En lugar del panel de control, se puede conectar al convertidor de frecuencia, en el mismo cable, un ordenador personal.

El conjunto de E/S de Control está aislado del potencial de red y conectado a tierra a través de una resistencia de 1MΩ y un condensador de 4,7uF. Las E/S de Control pueden conectarse a tierras sin la resistencia, si es necesario, cambiando la posición del puente X4 (GND ON/OFF) en la carta de control.

La configuración básica de los parámetros y de la interfaz de Control (Aplicación Básica) es fácil de entender y utilizar. Si se necesita un ajuste de parámetros más versátil, se puede seleccionar la aplicación correcta mediante un parámetro del conjunto de "Aplicación Cinco en Uno". El manual del variador de frecuencia VACON CXS lo describe en detalle.

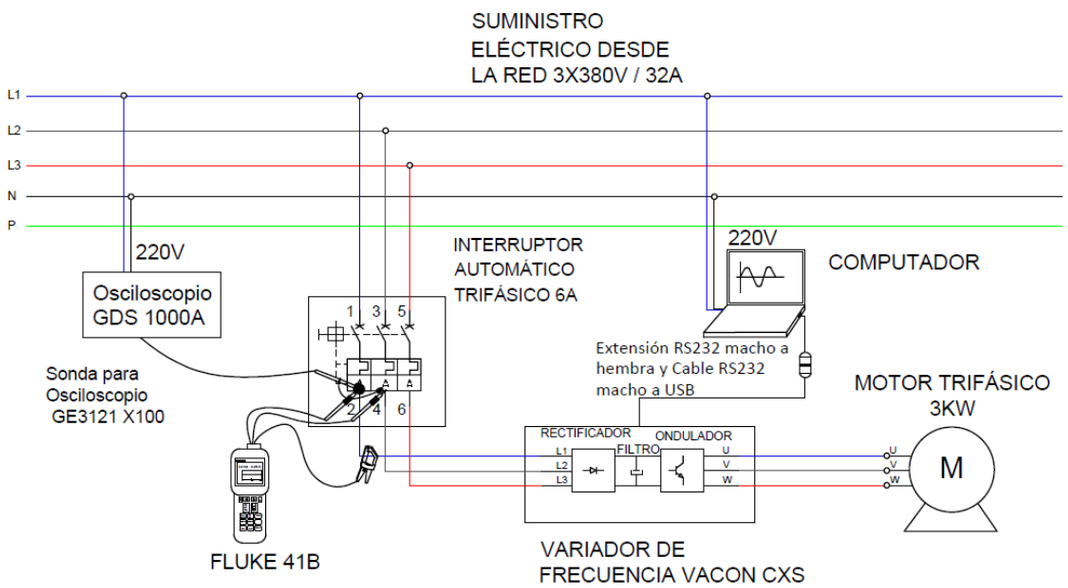
Los filtros de EMC de entrada y salida del convertidor de frecuencia no tienen ningún efecto en el funcionamiento del convertidor solo son necesarios para cumplir la directiva de EMC.

2.2.2. Ensayo N°1: Medición en la entrada y salida del VDF VACON CXS con una frecuencia de 25Hz y 50Hz

Para el ensayo N°1 se utiliza el variador de frecuencia VACON CXS al que se le realizaron las siguientes mediciones de tensión, corriente y forma de onda de entrada al variador y a la salida de 25Hz y 50Hz. Esto se realizó a un Motor Siemens Trifásico de 3KW.

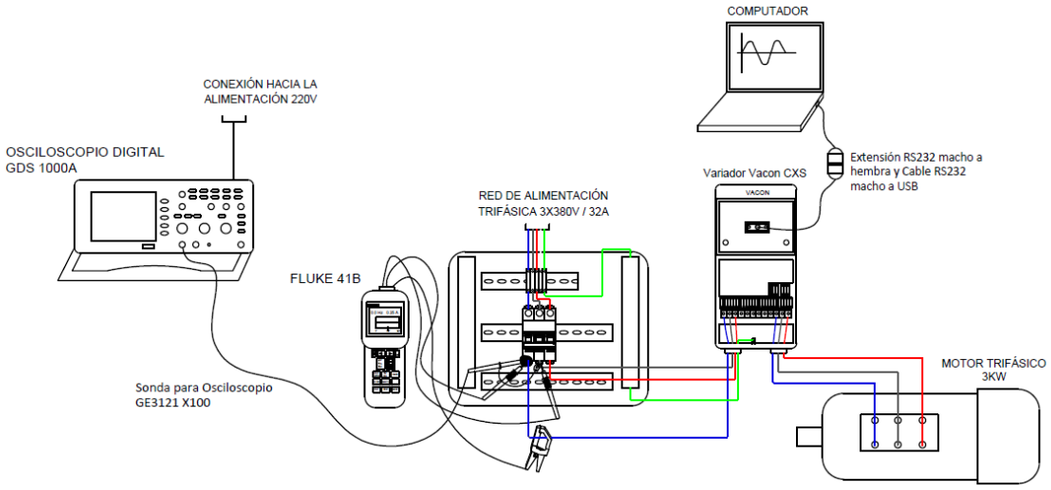
El ensayo constara de la siguiente instrumentación y materiales:

1 1 Osciloscopio Digital GDS 1000A.
2 1 Sonda para Osciloscopio GE3121 serie 2kv 100MHz X100
3 1 Analizador de Red FLUKE 41B
4 1 Multímetro digital FLUKE 15B.
5 1 Extensión RS232 macho a hembra.
6 1 Cable RS232 macho a USB.
7 1 Notebook Lenovo N2.
8 1 Automático trifásico 380V / 6A.
9 1 Kit de herramientas eléctricas.
10 5 Borneras viking.
11 3 Cables de 1mts. Puntilla-Banana.
12 1 Cordón trifásico Puntilla-Puntilla.
13 1 Cable de 1mts. Puntilla-Horquilla.
14 1 Enchufe trifásico 5 puntas con puntilla 380V / 32A.
15 3 Cables de 30cm Banaba-Banana.



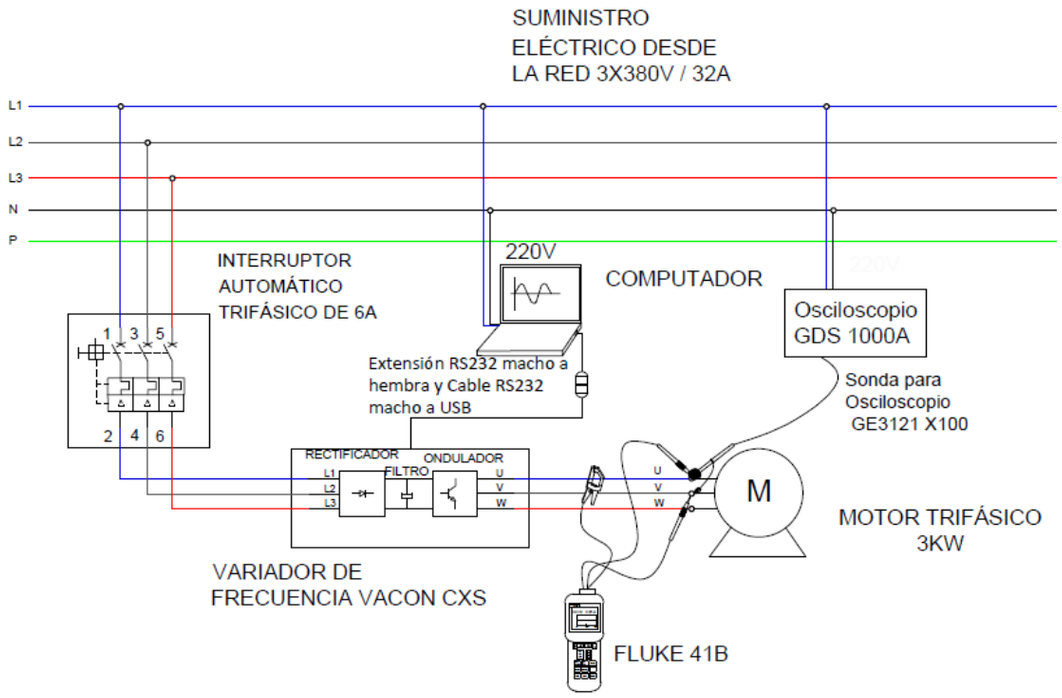
Esquema 2-3. Montaje normalizado de la medición en la entrada del VDF VACON CXS a 25Hz y 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)



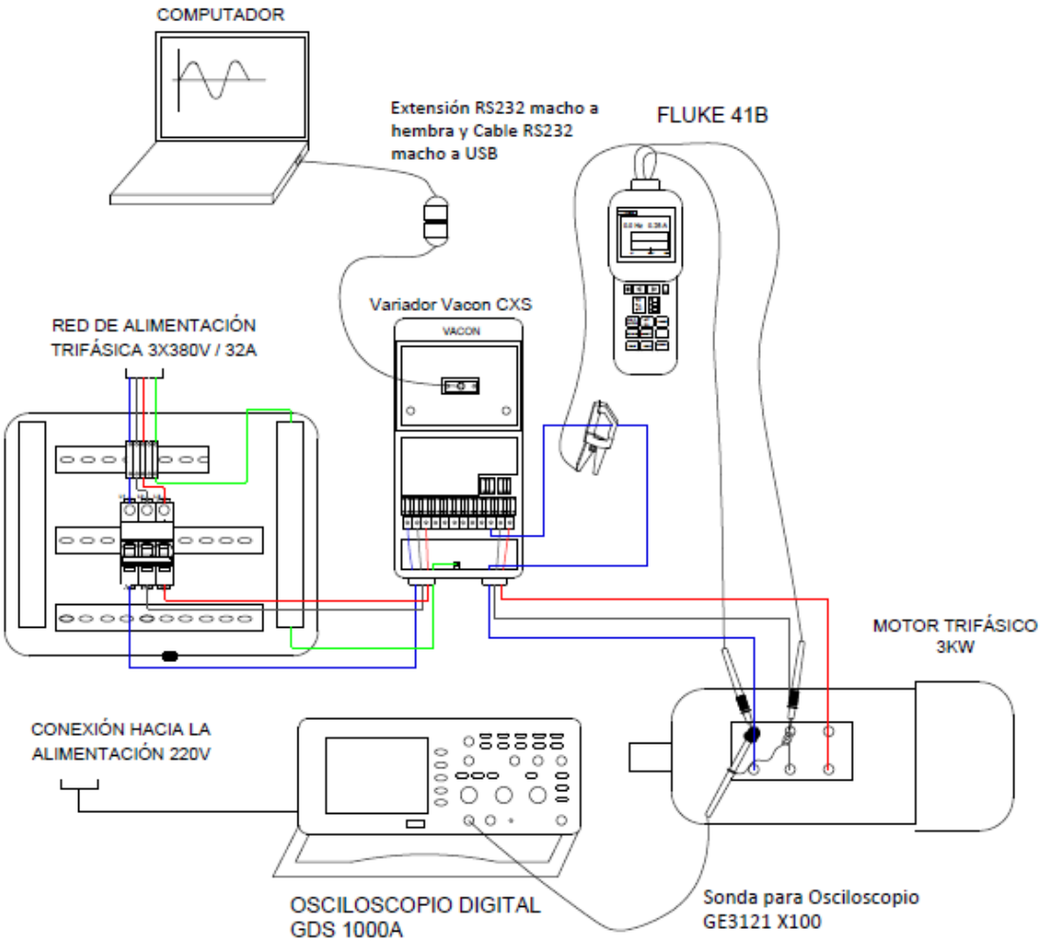
Esquema 2-4. Montaje de la medición en la entrada del VDF VACON CXS a 25Hz y 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-5. Montaje normalizado de la medición en la salida del VDF VACON CXS a 25Hz y 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-6. Montaje de la medición en la salida del VDF VACON CXS a 25Hz y 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)

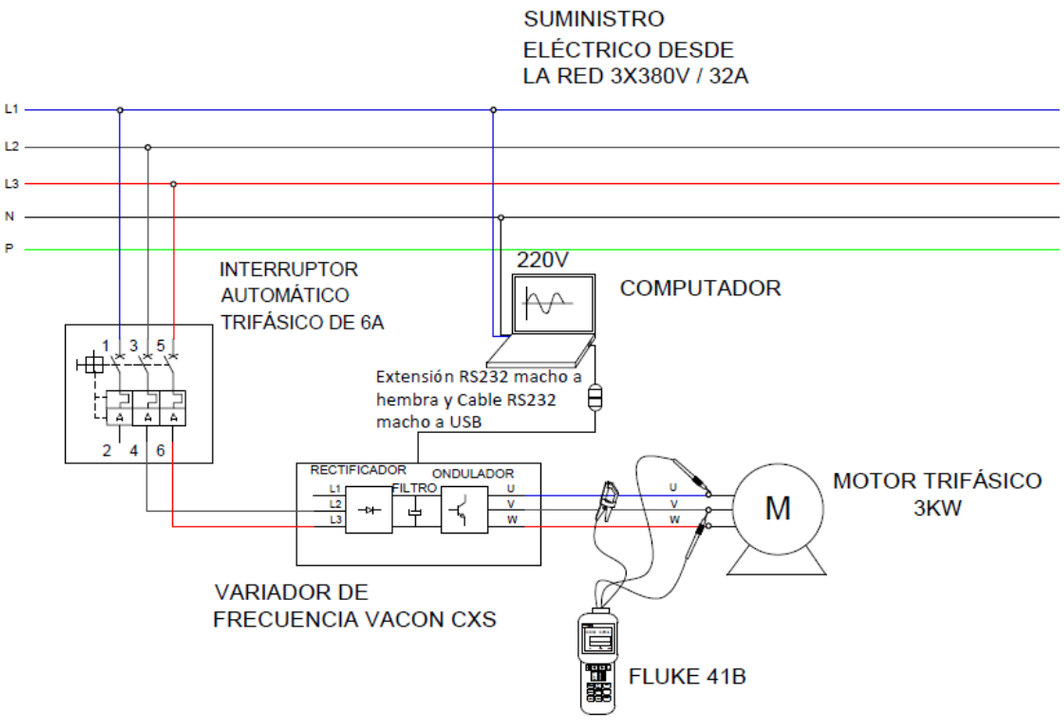
2.2.3. Ensayo N°2: ausencia de la línea R de la red eléctrica al variador

Para el ensayo N°2 se utilizó el variador de frecuencia VACON CXS al que se le realizaron las pruebas correspondientes.

El VDF's ira conectado a la red de 2x380V, Este ensayo consistió en la simulación de la falla F10 (Supervisión Alimentación), donde se desconectó la línea R que suministra energía eléctrica desde la Red al variador de frecuencia.

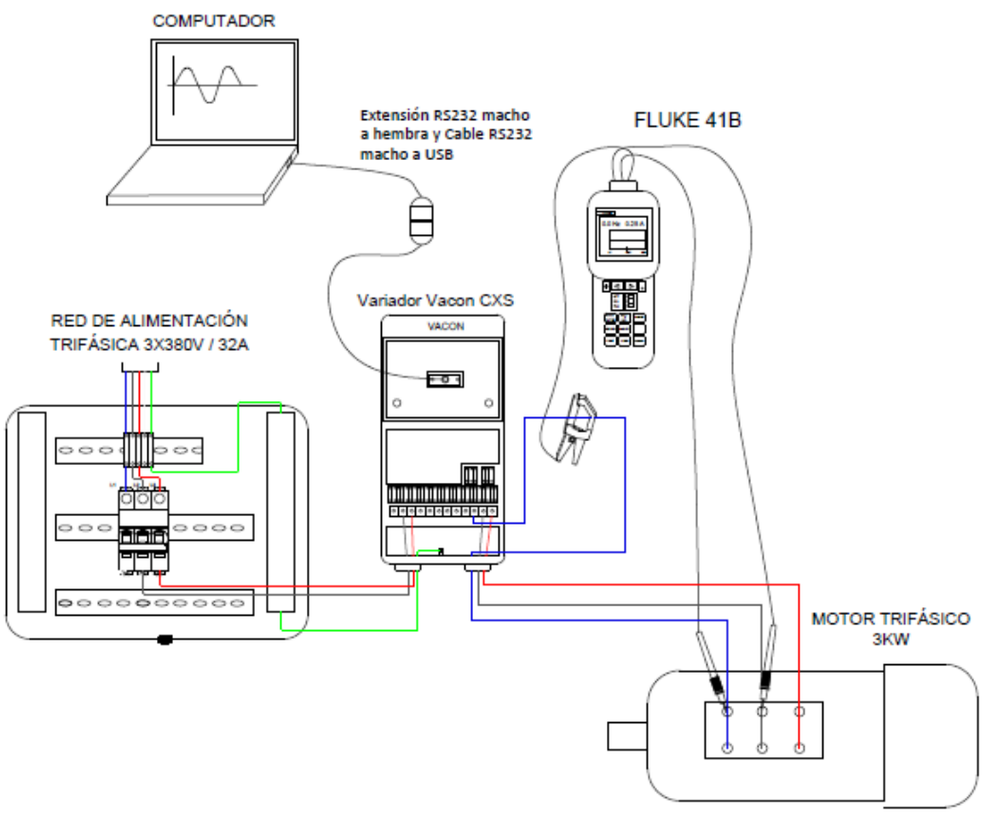
El ensayo constara de la siguiente instrumentación y materiales:

1 1 Analizador de Red FLUKE 41B
2 1 Extensión RS232 macho a hembra.
3 1. Cable RS232 macho a USB
4 1 Notebook Lenovo N2.
5 1 Automático trifásico 380V / 6A.
6 1 Kit de herramientas eléctricas.
7 5 Bornera viking.
8 1 Cordón trifásico Puntilla-Puntilla.
9 1 Cable de 1mts Puntilla-Horquilla.
10 1 Enchufe trifásico 5 puntas con puntilla 380V / 32A.



Esquema 2-7. Montaje normalizado de la falta de la fase R hacia el VDF VACON CXS.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-8. Montaje de la falta de la fase R hacia el VDF VACON CXS.

(Fuente: Elaboración propia)

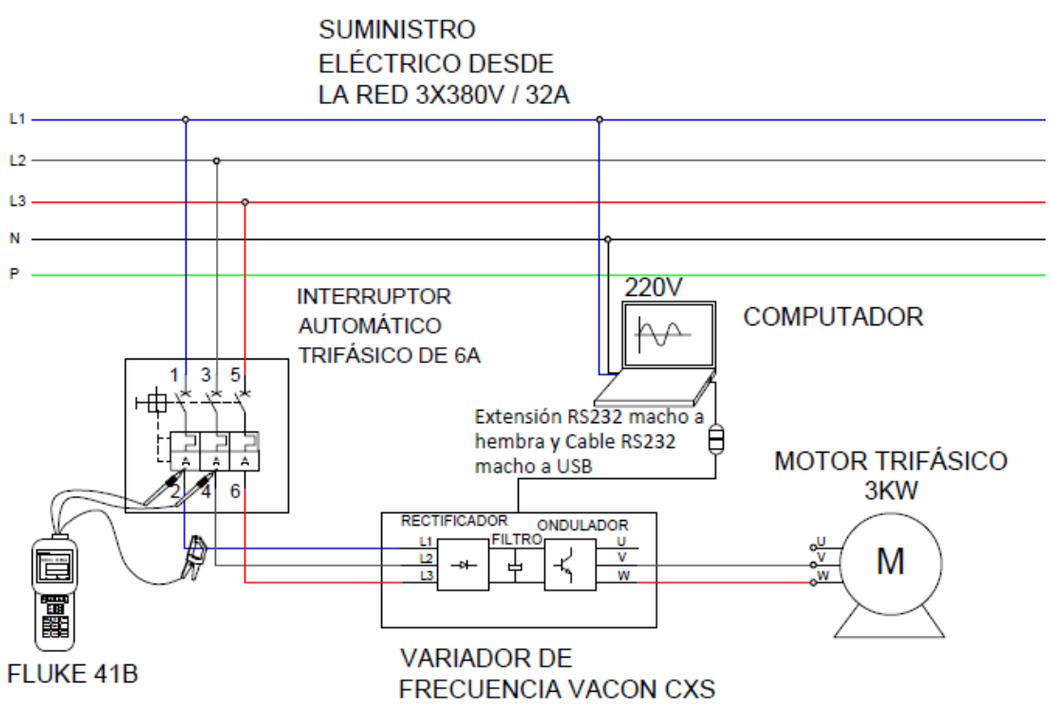
2.2.4. Ensayo N°3: ausencia de la línea R/L1 del variador al motor de inducción

En este ensayo se realizó la simulación de la falla F11 (Supervisión fase salida), esto ocurre cuando el medidor de intensidad detecta que en una fase del motor no circula corriente.

Para lograr esta simulación, se desconectó una fase (R/L1) que llega del variador VACON CXS al motor de 3kW además se configuro con una frecuencia de 25Hz.

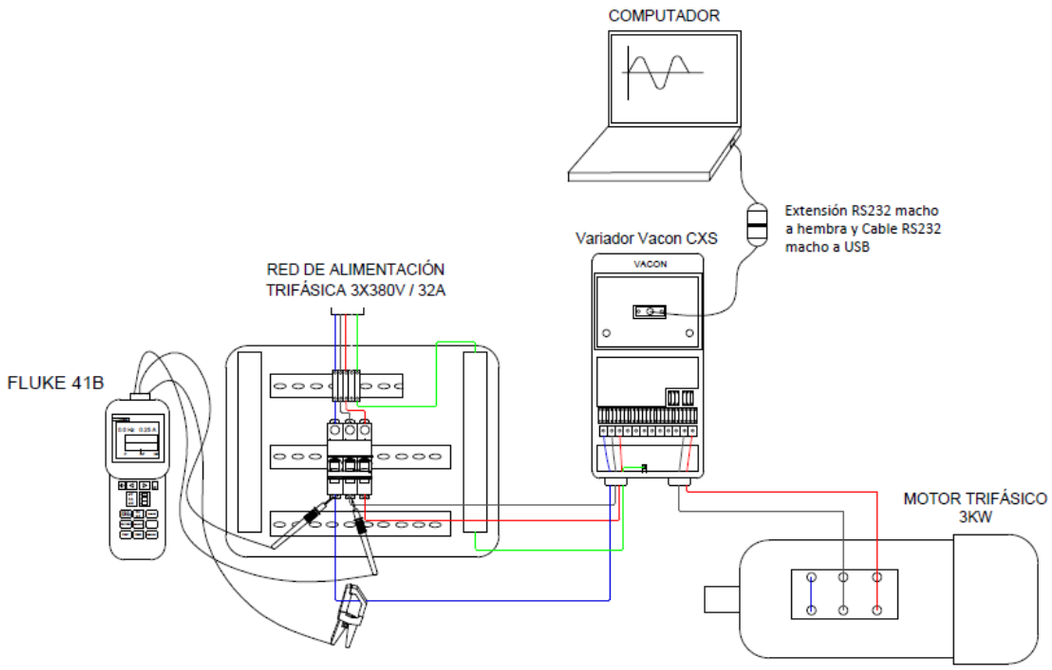
El ensayo constara de la siguiente instrumentación y materiales:

1 1 Analizador de Red FLUKE 41B
2 1 Multímetro digital FLUKE 15B.
3 1 Extensión RS232 macho a hembra.
4 1 Cable RS232 macho a USB.
5 1 Notebook Lenovo N2.
6 1 Automático trifásico 380V / 6A.
7 1 Kit de herramientas eléctricas.
8 5 Bornera viking.
9 3 Cables de 1mts Puntilla-Banana.
10 1 Cordón trifásico Puntilla-Puntilla.
11 1 Cable de 1mts Puntilla-Horquilla.
12 1 Enchufe trifásico 5 puntas con puntilla 380V / 32A.
13 3 Cables de 30cm Banaba-Banana.



Esquema 2-9. Montaje normalizado de la falta de la fase R/L1 hacia el motor.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-10. Montaje de la medición por falta de una fase R/L1 hacia el motor.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.5. <u>Ensayo N°4: disminución de tensión al ingreso del variador de frecuencia</u>

En este ensayo se realizó la simulación de la falla F9 es decir (Baja tensión), esto ocurre cuando La tensión en el DC-bus ha descendido por debajo del 65% de la tensión nominal, en este caso 380V, además de determinar en qué valor de voltaje se genera la falla F9. La disminución se logró mediante una fuente alterna variable trifásica la cual nos permitió modificar la tensión que será suministrada desde la red de alimentación 3x380V al variador VACON CXS.

Para determinar el punto en que el variador detecta la falla f9 se emplea la siguiente operación: (65%Vn x Vn.) (0.65 x 380V = 247V) que corresponde a la baja tensión en límite de disparo.

El ensayo constara de la siguiente instrumentación y materiales:

1 1 Analizador de Red FLUKE 41B
2 1 Multímetro digital FLUKE 15B.
3 1 Extensión RS232 macho a hembra.
4 1 Cable RS232 macho a USB.
5 1 Notebook Lenovo N2.
6 1 Automático trifásico 380V / 6A.
7 1 Kit de herramientas eléctricas.
8 5 Bornera viking.
9 1 Cordón trifásico Puntilla-Puntilla.
10 1 Cable de 1mts Puntilla-Horquilla.
11 1 Enchufe trifásico 5 puntas con puntilla 380 V / 32 A

12 1 Fuente variable alterna trifásica Entrada: 380V 2,5A 50Hz / Salida: 0-380V 2,5A 50Hz.

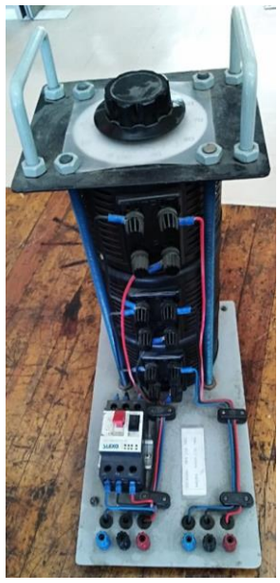
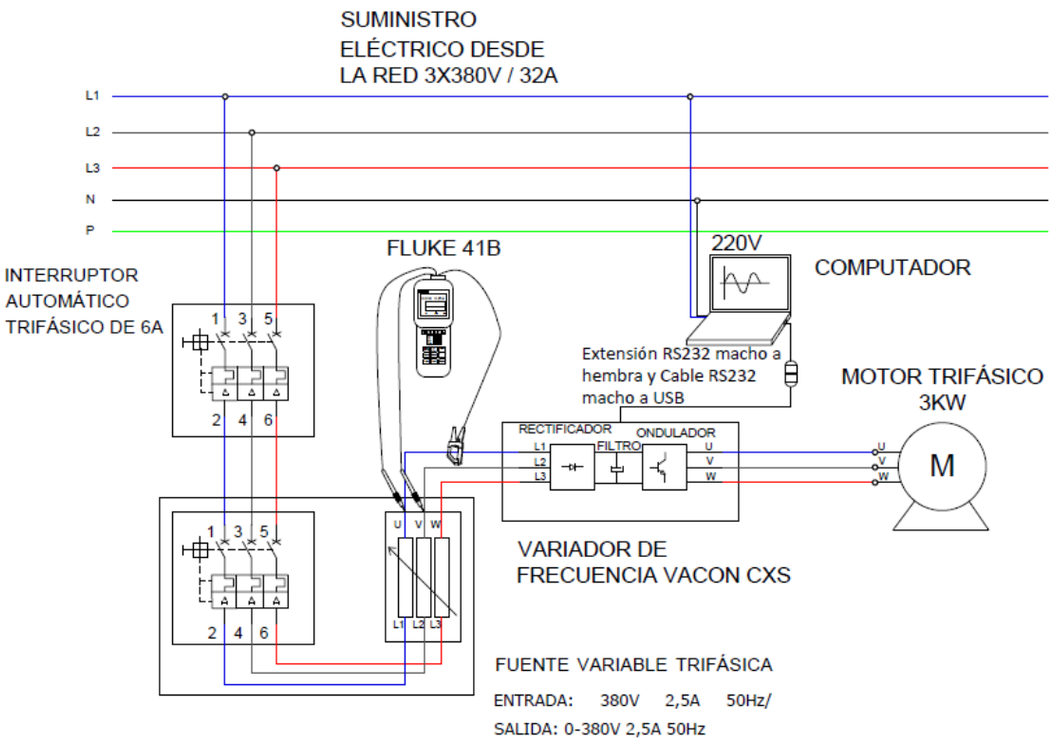


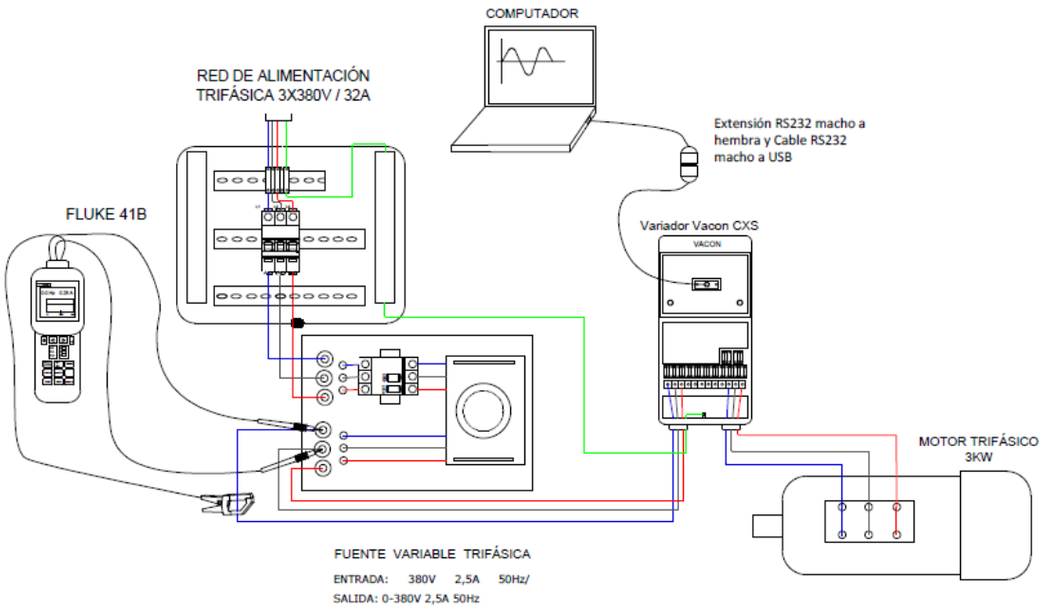
Figura 2-7. Fuente variable alterna trifásica

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-11. Montaje normalizado de ensayo disminución de tensión al ingreso del VDF VACON CXS.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-12. montaje de ensayo disminución de tensión al ingreso del VDF VACON CXS.

(Fuente: Elaboración propia)

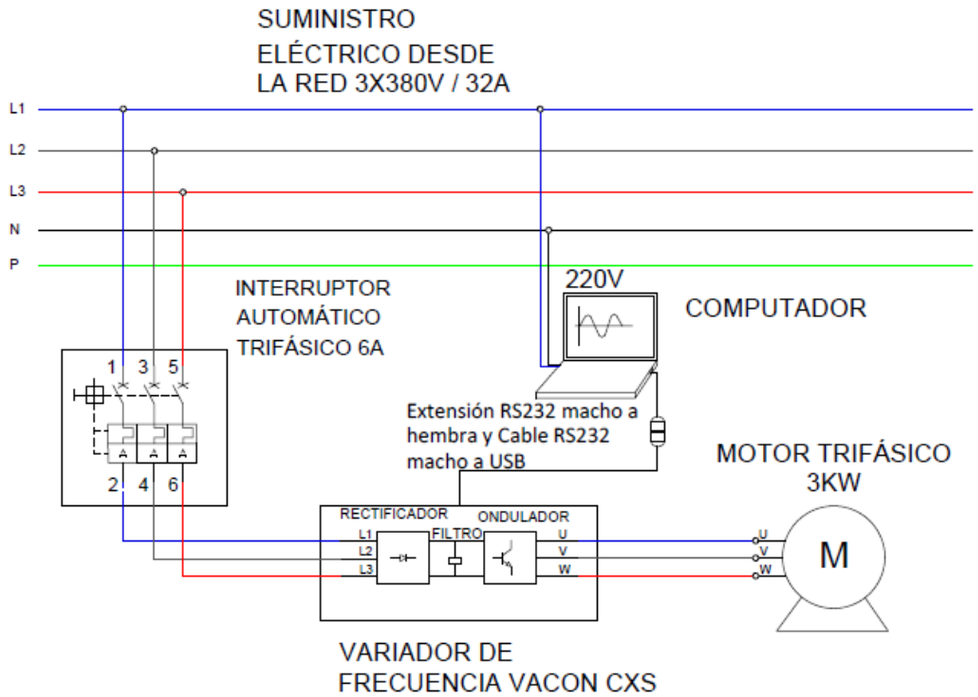
Como se menciona anteriormente, para este ensayo se debió utilizar una fuente variable para lograr obtener el valor del voltaje aproximado en que el variador opera (como una protección) al presentarse una baja de tensión.

2.2.6. Ensayo N°5: BLACKOUT del VDF VACON CXS

En este ensayo se realizó un BLACKOUT (Apagón del variador), con el motor en funcionamiento a 25Hz. Se logró mediante el corte intencional del suministro desde la red de alimentación 3x380V al variador VACON CXS permitiendo registrar el tiempo que puede durar con un apagón repentino de la red y luego restableciendo la energía eléctrica del suministro, este corte se generó mediante la baja manual del automático trifásico de 380V / 6A.

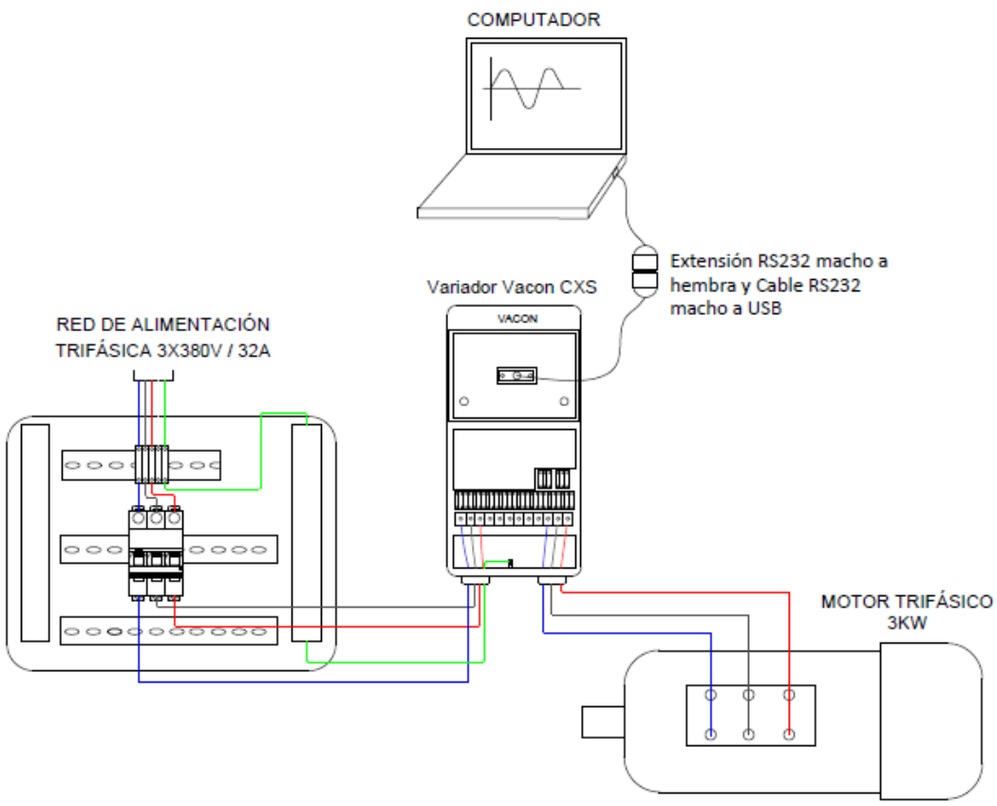
El ensayo constara de la siguiente instrumentación y materiales:

1 1 Extensión RS232 macho a hembra.
2 1 Cable RS232 macho a USB.
3 1 Notebook Lenovo N2.
4 1 Automático trifásico 380V / 6A.
5 1 Kit de herramientas eléctricas.
6 5 Bornera viking.
7 1 Cordón trifásico Puntilla-Puntilla.
8 1 Cable de 1mt. Puntilla-Horquilla.
9 3 Cables de 1mt. Puntilla-Banana.
10 3 Cables de 30cm Banaba-Banana.
11 1 Enchufe trifásico 5 puntas con puntilla 380V / 32A.



Esquema 2-13. Montaje normalizado de ensayo BLACKOUT del VDF VACON CXS.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-14. montaje de ensayo BLACKOUT del VDF VACON CXS.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.7. Ensayo N°6: Desarme del variador de frecuencia VACON CXS

En este ensayo se realizó el desarme del variador VACON CXS permitiendo registrar los componentes al interior y el funcionamiento que tiene este equipo en la parte de potencia.

El ensayo constara de los siguientes materiales:

1 kit de llaves Allen

1 brocha

2.2.7.1. Varistor

Posee 9 varistores uno por fase, los cuales tienen el propósito de ser un componente electrónico de sacrificio que revienta por el aumento de tensión, es un sistema de protección a la entrada del variador para evitar dañar los componentes internos y electrónicos.

Figura 2-8. Varistores.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.7.2. Resistencias

Posee dos resistencias de 100KΩ que permiten consumir la energía eléctrica que queda en los condensadores, esto lo hace mediante el calor que se produce en la resistencia.

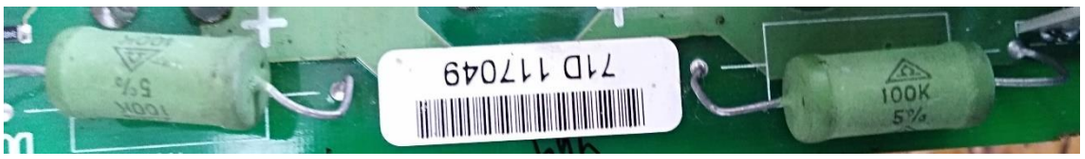


Figura 2-9. Resistencias.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.7.3. DC-link: es el bus de continua en inglés

Posee 1 DC-link. Es una fase intermedia donde la energía se procesa en corriente continua. Un condensador "DC-Link" resulta adecuado en este punto a la hora de ofrecer un camino de baja impedancia a corrientes de conmutación de elevada frecuencia y proporcionar almacenamiento de energía. La fase de entrada puede ser tan simple como un rectificador fuera de una tensión de entrada de línea CA o un circuito de corrección de factor de potencia (PFC) que genera una corriente de alta tensión constante. El condensador DC-link actúa como el filtro de salida de fase en la etapa PFC, que absorbe las corrientes de conmutación para minimizar la corriente de rizado.

2.2.7.4. Ventilador de 2 hilos

Posee 1 ventilador. El variador de frecuencia al contener en su interior resistencias, condensadores, transformadores y el módulo de potencia IGBT debido a la conmutación de encendido y apagado. Estos componentes generan calor por lo que tiene un sistema de refrigeración y lo hace mediante un ventilador ubicado en el porte inferior de este.

Figura 2-10. Ventilador de dos hilos.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.7.5. Transformadores de corriente de efecto Hall

Posee 3 Transformadores de corriente continua de efecto Hall de montaje en PCB Conjunto de bobina detectora tipo HES25VT de TELCON.

La serie HES de elementos Hall y de bobina permite la implementación de un transformador de corriente de efecto Hall completo mediante la adición del circuito electrónico requerido, adecuado para medir corrientes de hasta 100A. Se suministran como un componente independiente, lo que permite al usuario configurar un transformador de corriente de efecto Hall de lazo cerrado según sus propias especificaciones.

Aplicaciones:

- Accionamientos de velocidad variable
- Protección contra la sobretensión
- Sistemas UPS
- robótica
- Fuentes de alimentación de CC
- Convertidores de frecuencia
- Medición de corriente de baja frecuencia
- Monitoreo del factor de potencia

DATOS TÉCNICOS	HES25 VT/HR
Corriente primaria nominal	25A
Relación de vueltas	1000:1
Fuente de alimentación nominal	±15V ±5%
Resistencia de carga mínima	75 Ω
Rango de temperatura de funcionamiento	0 a +70°C
Rango de temperatura de almacenamiento	-25°C a +85°C
ESPECIFICACIÓN	HES25 VT/HR
Linealidad	0.1% de la corriente primaria nominal.
Límite de linealidad	±55A peak
Precisión general	0.5% del nominal primario
Resistencia de la bobina	80 Ω
Ancho de banda (-1dB)	CC a 100kHz
Tiempo de retardo	1µs
INFORMACION GENERAL	HES25 VT
Peso	15g nominal
Alojamiento	Óxido de polietileno modificado
Montaje	Montaje directo a PCB por 6 pines.
Temperatura del conductor	La temperatura del conductor primario no debe exceder los 100°C.
Posición del conductor	El rendimiento dinámico óptimo se logra con un solo conductor que llena el orificio
Sentido de la señal	Salida positiva para primario en la dirección de la flecha en el cuadro

Tabla 2-2. Información del transformador de corriente de efecto Hall.

(Fuente: https://www.semic.it/_obchody/semic.obchodak.net/prilohy/7226/ltrp-hes-25vt-3ffa3f.pdf)

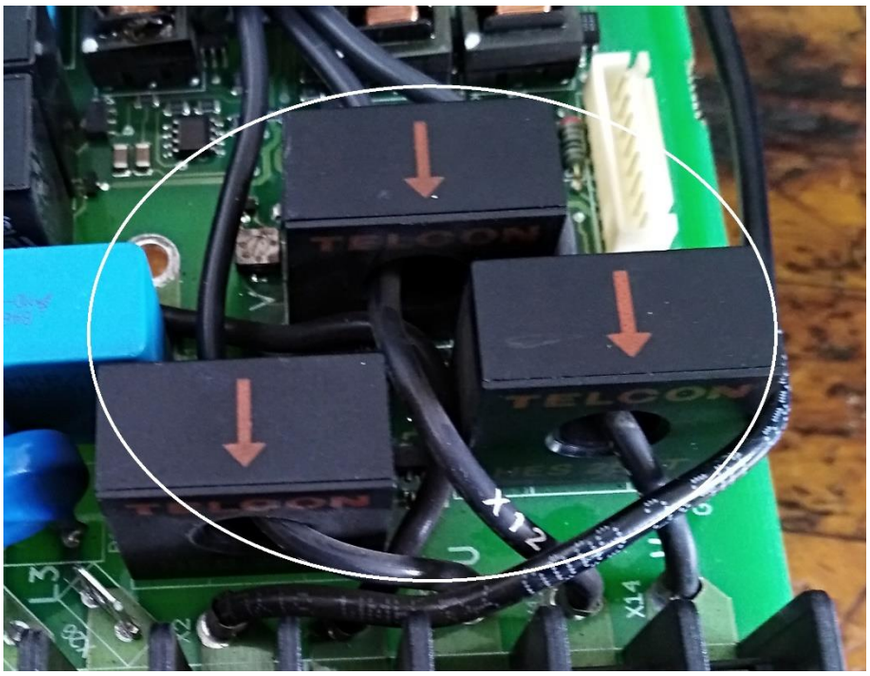


Figura 2-11. dimensiones del transformador de corriente.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.7.6. Efecto HALL

Se conoce como efecto Hall a la aparición de un campo eléctrico por separación de cargas, en el interior de un conductor por el que circula una corriente en presencia de un campo magnético con componente perpendicular al movimiento de las cargas. Este campo eléctrico (campo Hall) es perpendicular al movimiento de las cargas y a la componente perpendicular del campo magnético aplicado. Lleva el nombre de su primer modelador, el físico estadounidense Edwin Herbert Hall (1855-1938).

2.2.7.7. SkiP 22 NAB 12 T18

Posee 1 módulo Semiconductor de potencia IGBT.

El IGBT es un dispositivo semiconductor con cuatro capas alternas (P-N-P-N) controladas por una estructura de puerta semiconductora de óxido metálico (MOS) sin acción regenerativa.

Este dispositivo además genera armónicas entorno de la sexta armónica, esto es 5° y 7° armónica ya que posee 6 switch de IGBT.

Characteristics					
Symbol	**Conditions** [1]	**min.**	**typ.**	**max.**	**Units**
IGBT - Inverter & Chopper					
V_{CEsat}	I_C = 15 A T_j = 25 (125) °C	–	2,5(3,1)	3,0(3,7)	V
$t_{d(on)}$	V_{CC} = 600 V; V_{GE} = ± 15 V	–	55	110	ns
t_r	I_C = 15 A; T_j = 125 °C	–	45	90	ns
$t_{d(off)}$	R_{gon} = R_{goff} = 82 Ω	–	400	600	ns
t_f	inductive load	–	70	100	ns
E_{on} + E_{off}		–	4,0	–	mJ
C_{ies}	V_{CE} = 25 V; V_{GE} = 0 V, 1 MHz	–	1,0	–	nF
R_{thjh}	per IGBT	–	–	1,4	K/W
Diode [2] - Inverter & Chopper					
V_F = V_{EC}	I_F = 15 A T_j = 25 (125) °C	–	2,0(1,8)	2,5(2,3)	V
V_{TO}	T_j = 125 °C	–	1,0	1,2	V
r_T	T_j = 125 °C	–	53	73	mΩ
I_{RRM}	I_F = 15 A, V_R = – 600 V	–	16	–	A
Q_{rr}	di_F/dt = – 400 A/µs	–	2,7	–	µC
E_{off}	V_{GE} = 0 V, T_j = 125°C	–	0,6	–	mJ
R_{thjh}	per diode	–	–	1,7	K/W
Diode - Rectifier					
V_F	I_F = 35 A T_j = 25 °C	–	1,2	–	V
R_{thjh}	per diode	–	–	1,6	K/W
Temperature Sensor					
R_{TS}	T = 25 / 100 °C		1000 / 1670		Ω
Shunts (SKiiP 22 NAB 12 I T1)					
$R_{cs(dc)}$	5 % [4]		16,5		mΩ
$R_{cs(ac)}$	1 %		10		mΩ
Mechanical Data					
M_1	Mounting torque	2	–	2,5	Nm
Case			M2		

Tabla 2-3. Características Semiconductor módulo de potencia IGBT.

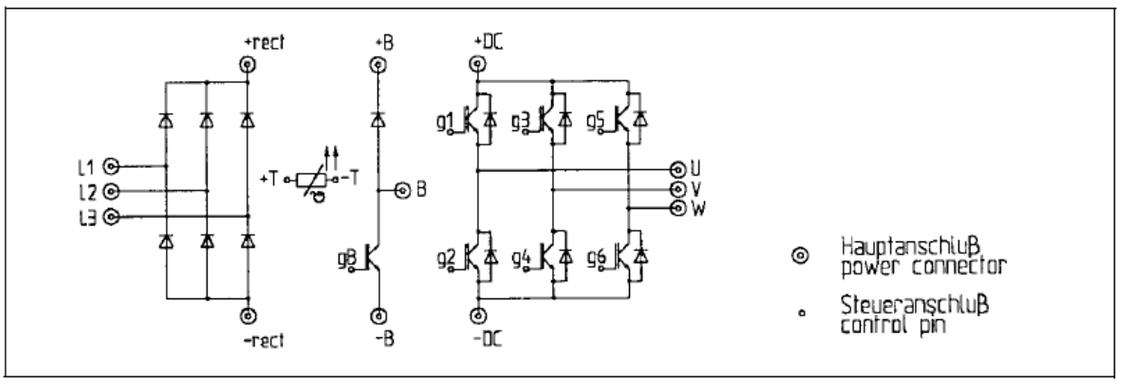
(Fuente: http://www.afkarielec.ir/upload/pdf/DATASHEET-MiniSKiiP-SKIIP22NAB12T18.pdf)

Figura 2-12. SkiP 22 NAB 12 T18.

(Fuente: Elaboración propia)

1) T. Disipador térmico= 25°C a menos que se especifique lo contrario.
2) CAL= Tecnología axial controlada de por vida (recuperación suave y rápida).
3) Con derivaciones integradas de CC y CA.

4) Precisión de la derivación para, tenga en cuenta que para la derivación de CC no se utiliza ningún contacto de detección separado.



Esquema 2-15. Conexionado interno del IGBT.

(Fuente: http://www.afkarielec.ir/upload/pdf/DATASHEET-MiniSKiiP-SKIIP22NAB12T18.pdf)

Construcción:

- Elemento varistor redondo, con plomo.
- Revestimiento: resina epoxi, ignífuga a UL 94 V-0.
- Terminales: alambre de cobre estañado.

Características:

- Amplio rango de voltaje de operación 11… 1100 VRMS.
- Sin reducción de temperatura hasta 85ºC temperatura ambiente.

2.2.7.8. <u>Filtro de armónicos</u>

Posee 1 Electro FERRUM Tipo: VC-453-10 CP01253

Carga: 500VCA 50-60Hz, 10A / 40°C, -25°C a 85°C.

El cual permite filtrar la 5° y 7° armónica.

Figura 2-13. Filtro de armónicos.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.7.9. Condensador

Posee 4 condensadores de 410uF +/-20% 430VCC ALC10A conectados en serie.

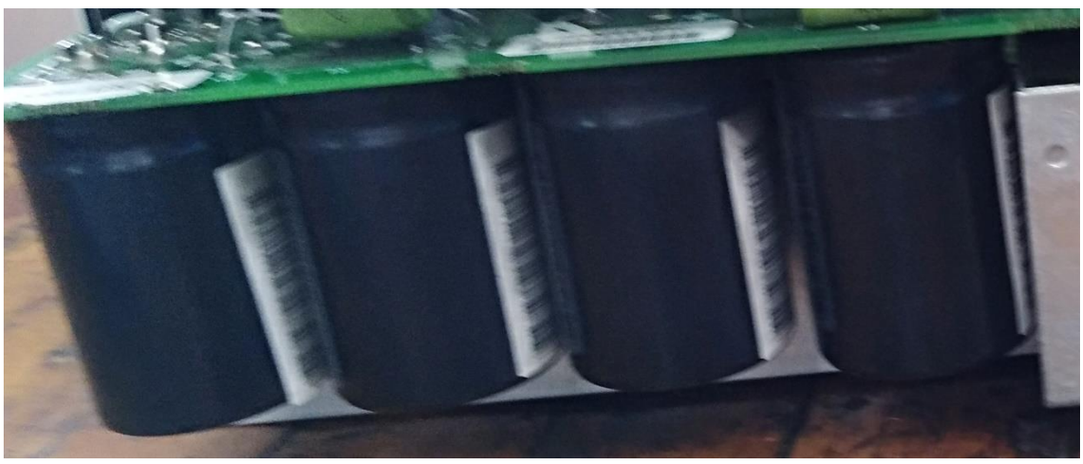


Figura 2-14. Condensadores.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.7.10. Display

Posee un panel de control del accionamiento VACON CXS dispone de un display multilínea alfanumérico con cinco indicaciones del estado del accionamiento (RUN, READY, STOP, ALARM, FAULT) y dos indicaciones del lugar de control (Panel/Remoto). Además, el panel muestra tres líneas de indicación para la descripción del menú/submenú y el valor de los submenús. Los ocho pulsadores del panel se utilizan para el control del accionamiento, programación y monitorización.

El panel es extraíble y está aislado del potencial de la red de alimentación.

Figura 2-15. Condensadores.

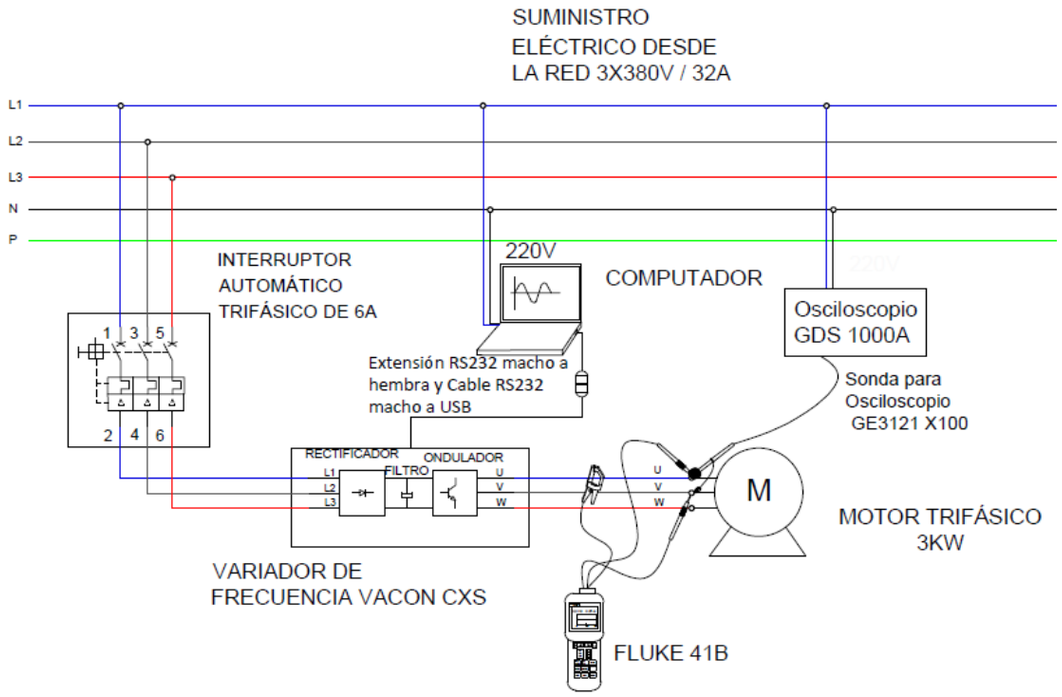
(Fuente: Elaboración propia)

2.2.8. <u>Ensayo N°7: armado del VDF y pruebas de funcionamiento correcto después de su intervención</u>

Luego de desarmar el variador de frecuencia analizar sus aspectos constructivos y limpiarlo se procedió al armado del equipo y posterior a una prueba de funcionamiento verificando parámetros eléctricos en la salida del variador conectado a un motor que se pondrá en marcha con una frecuencia de 25Hz.

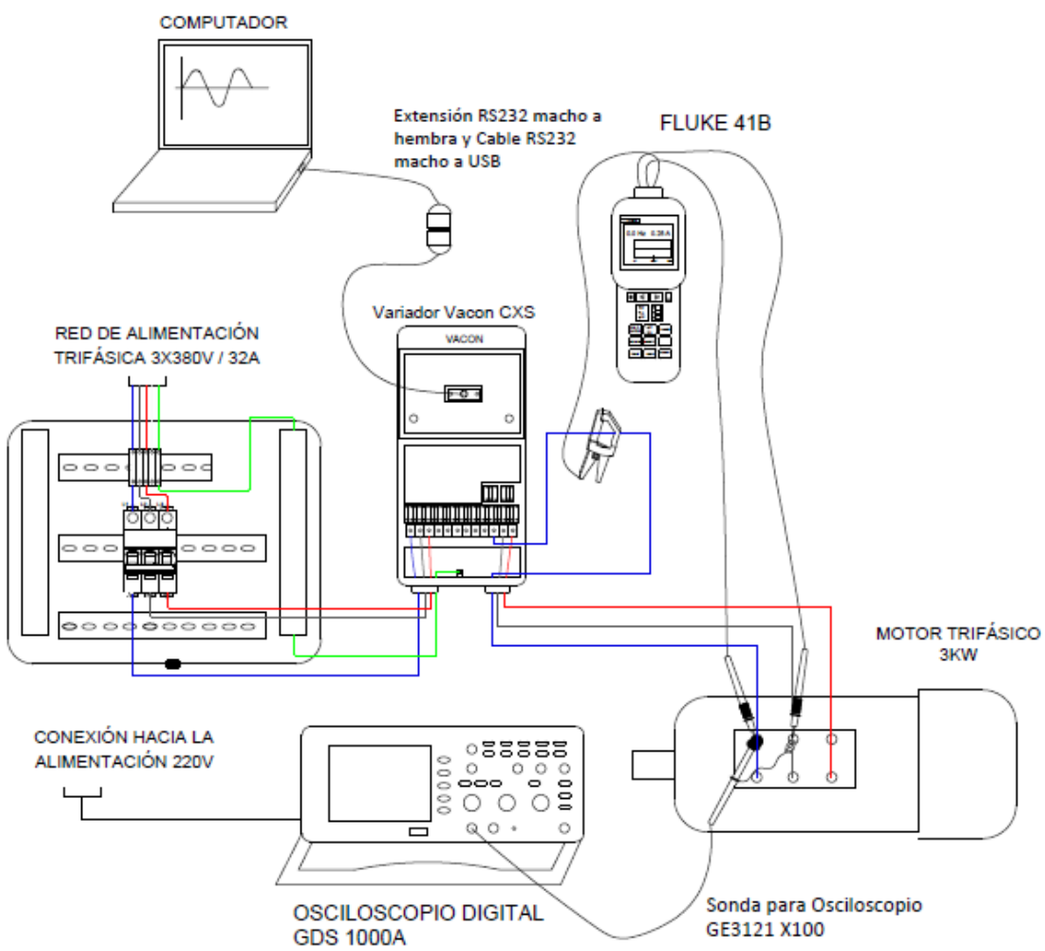
El ensayo constara de la siguiente instrumentación y materiales:

1 1 Analizador de Red FLUKE 41B
2 1 Multímetro digital FLUKE 15B.
3 1 Extensión RS232 macho a hembra.
4 1 Cable RS232 macho a USB.
5 1 Notebook Lenovo N2.
6 1 Automático trifásico 380V / 6A.
7 1 Kit de herramientas eléctricas.
8 5 Bornera viking.
9 3 Cables de 1mts Puntilla-Banana.
10 1 Cordón trifásico Puntilla-Puntilla.
11 1 Cable de 1mts Puntilla-Horquilla.
12 1 Enchufe trifásico 5 puntas con puntilla 380V / 32A
13 3 Cables de 30cm Banana-Banana.
14 1 kit de llaves Allen.



Esquema 2-16. Montaje normalizado de la medición en la salida del variador a 25Hz.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-17. Montaje de la medición en la salida del variador a 25Hz.

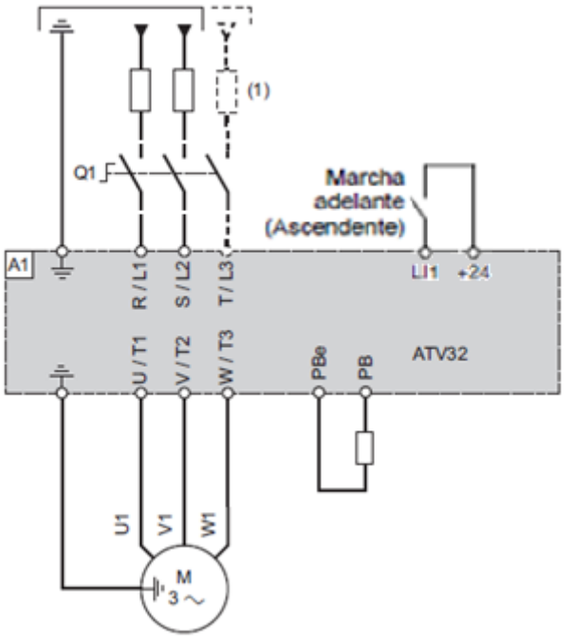
(Fuente: Elaboración propia)

2.2.9. Conexión del variador de frecuencia ALTIVAR 32

Los terminales (L1, L2 y L3) corresponden a la conexión de la red eléctrica de 3x380V.

Los terminales (+, -) corresponde al DC-LINK/resistencia de frenado.

Los terminales (U, V y W) corresponden a la conexión del motor trifásico de 0,18Kw.



Esquema 2-18. Conexión del VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Manual de instalación ALTIVAR 32)

Los terminales de la fuente de alimentación se encuentran en la parte superior del variador.

Los terminales del motor y de la resistencia de frenado se encuentran en la parte inferior del variador.

Terminal	Función
⏚	Terminal de tierra
R/L1 - S/L2/N	Fuente de alimentación
R/L1 - S/L2 - T/L3	
PB	Salida a resistencia de frenado (1)
PBe	Salida a resistencia de frenado (+ polaridad) (1)
U/T1 - V/T2 - W/T3	Salidas al motor.

Tabla 2-4. Terminales de conexión VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Manual de instalación ALTIVAR 32)

Accionamiento alimentado por la red de CA con enlace de CC común.

Este uso es adecuado en el caso de clasificaciones de unidad equivalentes (o no más de 1 diferencia de clasificación). Cada producto es alimentado.

por las entradas principales estándar y todos los productos están vinculados por su conexión de bus de CC.

El objetivo de esta función de compartir bus DC es ahorrar energía. Cuando una unidad está frenando, la energía puede ser reutilizada.

por otra unidad en la red de bus DC en lugar de disiparse (y desperdiciarse) en una resistencia de frenado.

Además, este tipo de cableado permite reducir el valor de la resistencia de frenado y ayudar a mejorar el frenado.

Rendimiento sin resistencia de frenado.

Conducir sólo alimentado por el enlace de CC.

Este uso es adecuado cuando se combinan diferentes clasificaciones de unidad (más de una calificación diferente).

Un producto es alimentado por la red principal y alimenta otros productos a través de la conexión del cable del bus de CC.

Este tipo de instalación tiene el mismo beneficio energético que el anterior, pero requiere al menos una calificación más alta producto, capaz de abastecer a los demás.

Unidad alimentada por una fuente de alimentación de CC.

Todos los productos se alimentan mediante una fuente de alimentación de CC externa a través de la conexión del cable del bus de CC.

Este tipo de instalación requiere cumplir con los siguientes requisitos:

Esta fuente debe estar protegida contra cortocircuitos de fase a fase y cortocircuito a tierra.

La fuente debe poder dar la suma de toda la corriente de CC utilizada al mismo tiempo.

Esta fuente de corriente continua debe integrar el estrangulador de CC para limitar la corriente de ondulación en menos del 5%.

Los conectores del bus de CC se encuentran en la parte superior de la unidad. Rompa las cubiertas protectoras, usando un destornillador. Estas cubiertas se pueden quitar fácilmente con un destornillador 1, 2. Retire las tapas protectoras de plástico.

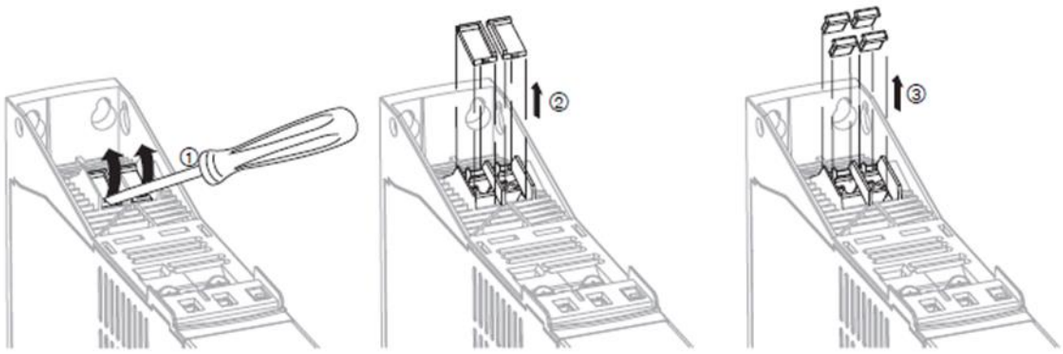


Figura 2-16. Terminales de bus de CC VDF ALTIVAR 32.

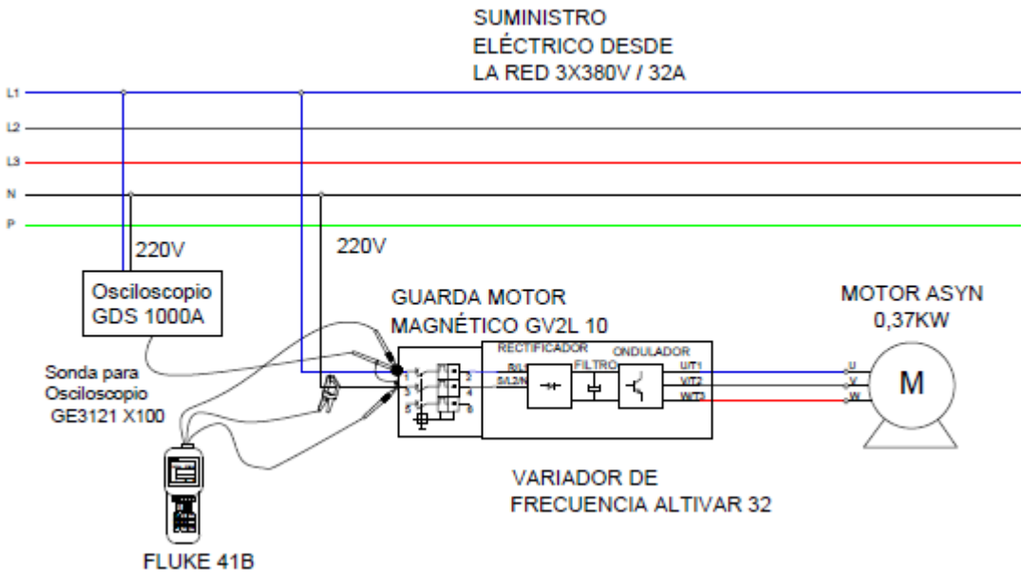
(Fuente: Manual de instalación ALTIVAR 32)

2.2.10. Ensayo N°8: Medición en la entrada y salida del variador ALTIVAR 32 con una frecuencia de 25Hz y 50Hz

Para poder visualizar la forma de onda de entrada y salida del variador de frecuencia Altivar 32, utilizaremos un osciloscopio GDS 1000 A y el analizador de red FLUKE 41B para registrar los valores que entrega el VDF esto se realizara a una frecuencia de 25Hz y 50Hz.

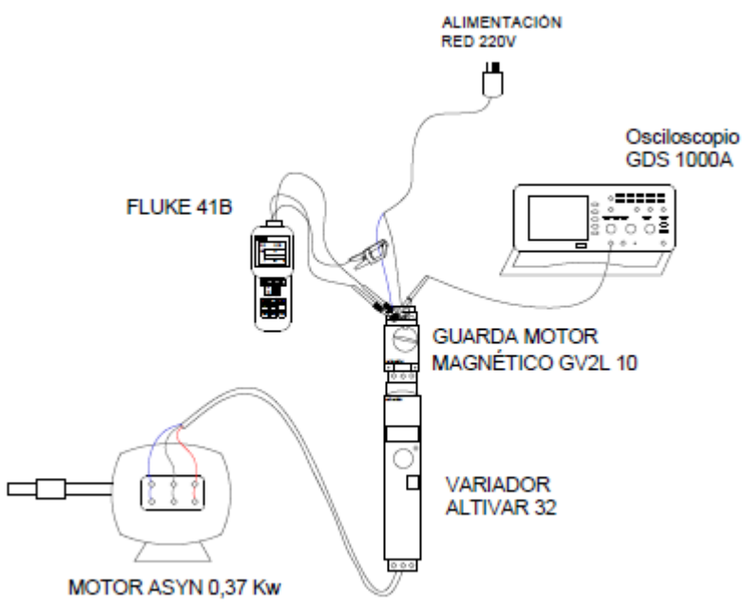
Listado de materiales:

1. 1 Variador ALTIVAR 32.
2. 1 Analizador de red FLUKE 41B.
3. 1 Cable puntilla-enchufe macho 2polos+ tierra de (10A/250V).
4. 1 Interruptor GV2 de 3 polos.
5. 1 Cable trifásico más tierra apantallado puntilla- horquilla 1mts.
6. 1 Motor asincrónico trifásico 0,37Kw (220V/ 380V) / (2,1A/1,2A).
7. 3 Chicote b/b de 30 cm.
8. 1 Selector de una posición (0-1).
9. 2 Cables puntilla-puntilla de control.
10. 1 Osciloscopio Digital GDS 1000A.
11. 1 Sonda para Osciloscopio GE3121 serie 2kv 100MHz x100.
12. 1 Kit de herramientas.



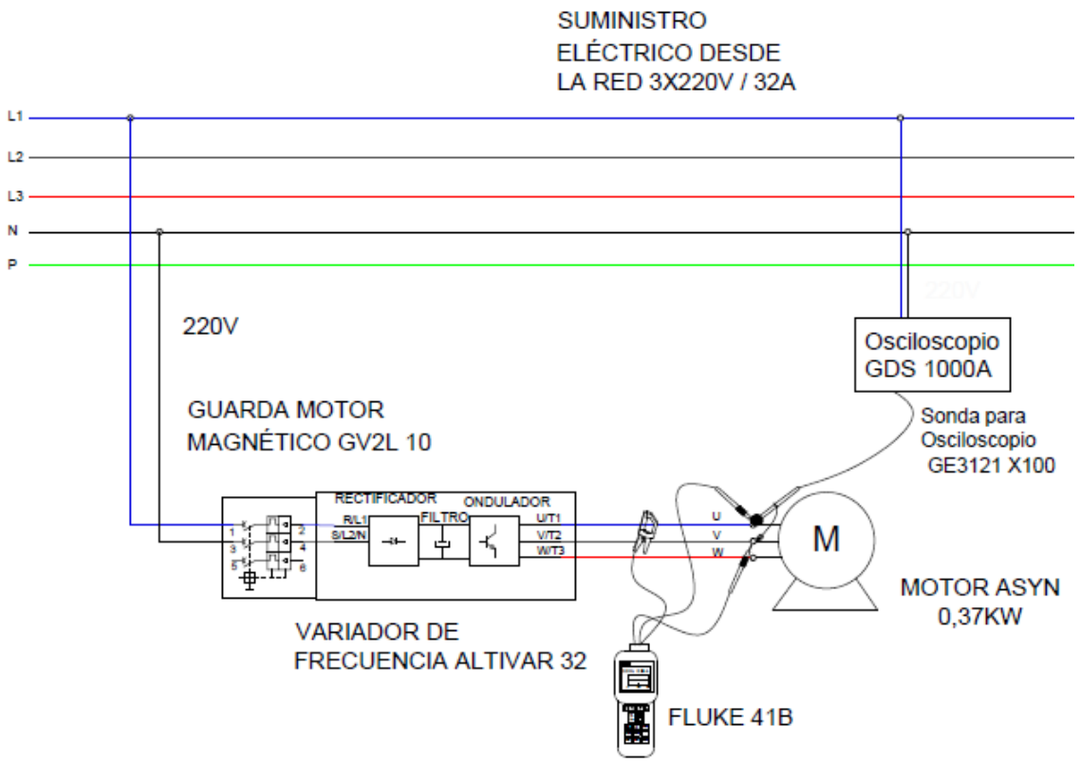
Esquema 2-19. Montaje normalizado de la medición en la entrada del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz y 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)



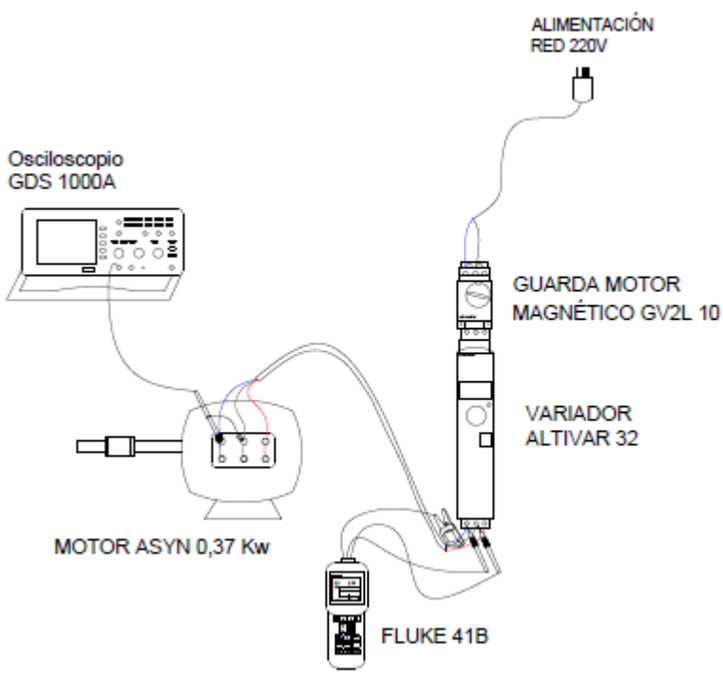
Esquema 2-20. Montaje de la medición en la entrada del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz y 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-21. Montaje normalizado de la medición en la salida del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz y 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-22. Montaje de la medición en la salida del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz y 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.11. Ensayo N°9: Ausencia de la línea U/T1 de la red eléctrica al variador ALTIVAR 32

En este ensayo se simulará la falla "OPF1", la cual consiste en un desequilibrio en las fases que alimentan al motor.

Para lograr esta simulación, desconectaremos la fase "R" que viene desde el variador de frecuencia ALTIVAR 32 hacia el motor de 0,37Kw.

La posible causa de esta falla es:

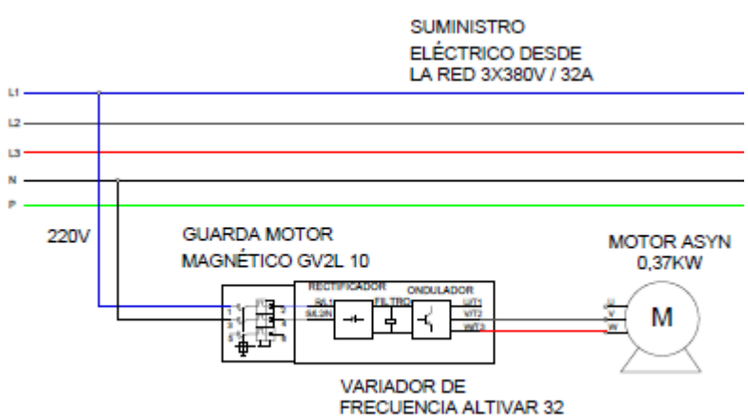
• Pérdida de una fase en la salida del variador.

La posible solución a esta perturbación es:

• Compruebe las conexiones del variador al motor.

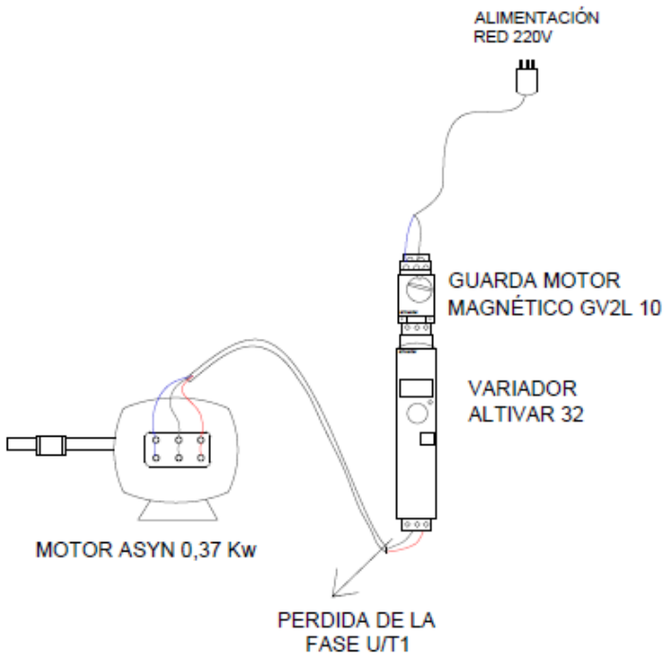
Listado de materiales:

1. 1 Variador ALTIVAR 32.
2. 1 Cable puntilla-enchufe macho 2polos+ tierra de (10A/250V).
3. 1 Interruptor GV2 de 3 polos.
4. 1 Cable trifásico más tierra apantallado puntilla- horquilla 1mts.
5. 1 Motor asincrónico trifásico 0,37Kw (220V/ 380V) / (2,1A/1,2A).
6. 3 Chicote b/b de 30 cm.
7. 1 Selector de una posición (0-1).
8. 2 Cables puntilla-puntilla de control.
9. 1 Osciloscopio Digital GDS 1000A.
10. 1 Sonda para Osciloscopio GE3121 serie 2kv 100MHz x100.
11. 1 Kit de herramientas.



Esquema 2-23. Montaje normalizado de la ausencia de la línea U/T1 del VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-24. Montaje de la medición de la ausencia de la línea U/T1 del VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Elaboración propia)

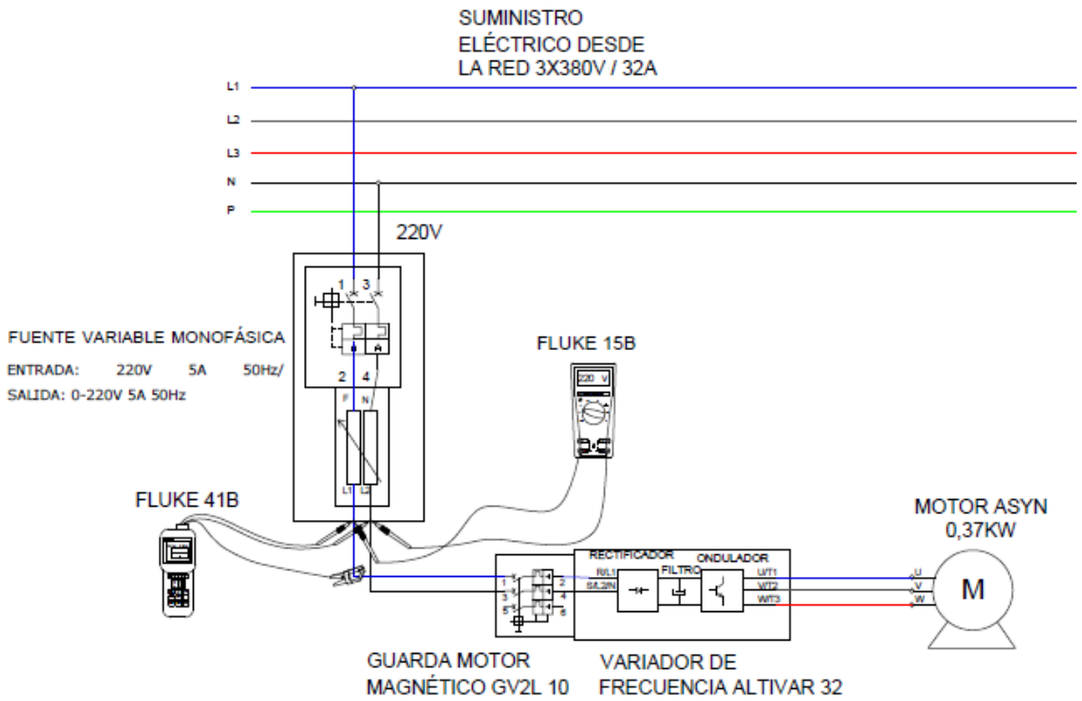
2.2.12. Ensayo N°10: Disminución de tensión al ingreso del variador ALTIVAR 32

En este ensayo se producirá la falla "OHF", la cual es detectada por el variador de frecuencia al momento de captar una baja de tensión desde la alimentación de la red de 220V.

Para lograr simular esta falla, se utilizará una fuente alterna variable de 0 – 220 V donde iremos bajando gradualmente su tensión hasta llegar al voltaje exacto donde el variador de frecuencia opera por sobre temperatura, cabe destacar que el fabricante no especifica el punto de corte de esta falla, es mediante esta prueba quedara registro de este seguimiento.

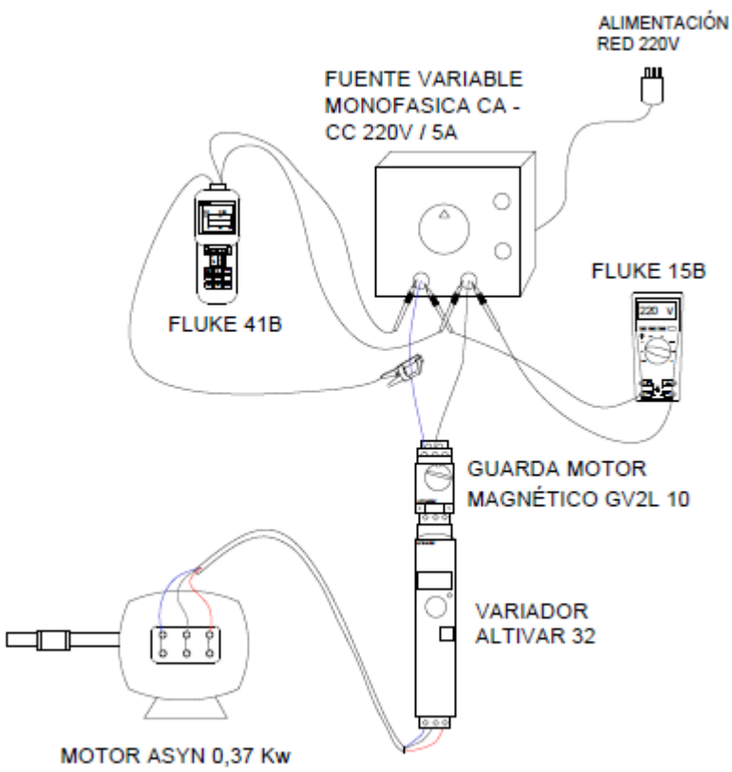
Listado de materiales:

1. 1 Variador ALTIVAR 32.
2. 1 Interruptor GV2 de 3 polos.
3. 1 Cable trifásico más tierra apantallado puntilla- horquilla 1mts.
4. 1 Motor asincrónico trifásico 0,37Kw (220V/ 380V) / (2,1A/1,2A).
5. 3 Chicote b/b de 30 cm.
6. 1 Selector de una posición (0-1).
7. 2 cables puntilla-puntilla de control.
8. 1 Kit de herramientas.
9. 1 fuente variables alterna de 0 a 220V / 5A.
10. 2 chicotes banaba puntilla de 1mts.
11. 1 Analizador de Red FLUKE 41B.
12. 1 Multímetro digital FLUKE 15B.
13. 2 chicotes banana- caimán de 1mts.



Esquema 2-25. Montaje normalizado de la disminución de tensión al ingreso del VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-26. Montaje de la medición de la disminución de tensión al ingreso del VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Elaboración propia)

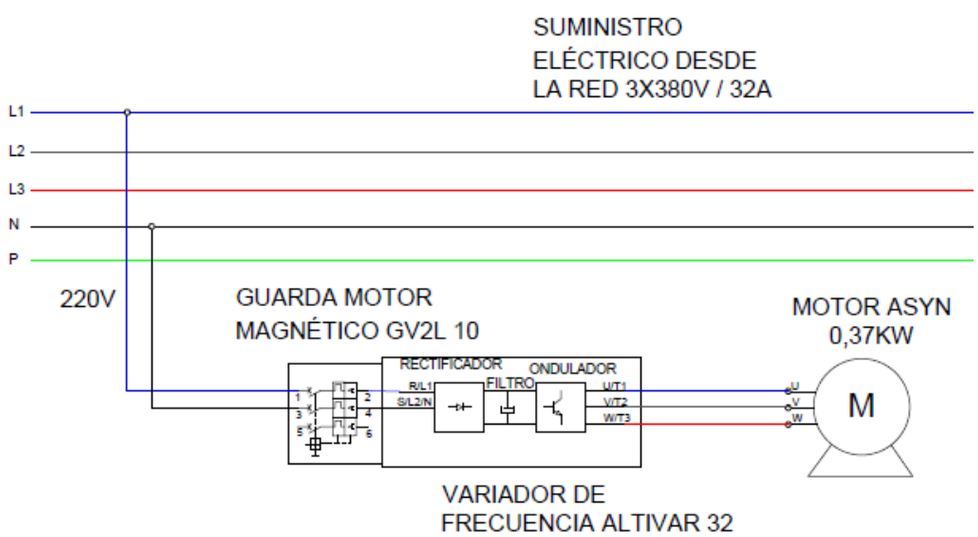
2.2.13. Ensayo N°11: Modificación del parámetro de corriente en el variador ALTIVAR 32

En este ensayo se simulará la falla "SOF", la cual consiste en modificaremos el parámetro de corriente requerida del motor en el VDF a un valor menor del que se indica en la placa de datos de la maquina eléctrica.

Cabe destacar que la intensidad nominal del motor es de 2,1A y modificaremos este valor en el variador de frecuencia cambiando el parámetro en este a 1,0A.

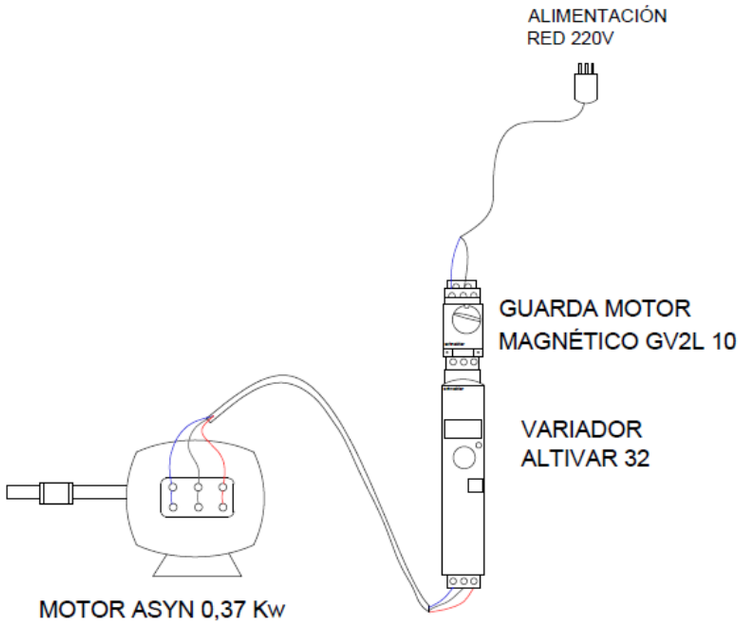
Listado de materiales:

1. 1 Variador ALTIVAR 32.
2. 1 Cable puntilla-enchufe macho 2polos+ tierra de (10A/250V).
3. 1 Interruptor GV2 de 3 polos.
4. 1 Cable trifásico más tierra apantallado puntilla- horquilla 1mts.
5. 1 Motor asincrónico trifásico 0,37Kw (220V/ 380V) / (2,1A/1,2A).
6. 3 Chicote b/b de 30 cm.
7. 1 Selector de una posición (0-1).
8. 2 Cables puntilla-puntilla de control.
9. 1 Kit de herramientas.



Esquema 2-27. Montaje normalizado de la modificación del parámetro de corriente del VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 2-28. Montaje de la medición de la modificación del parámetro de corriente del VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Elaboración propia)

2.3. PRINCIPALES EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

2.3.1. Multímetro digital FLUKE 15B

Máxima tensión entre cualquier terminal y la tierra física: 1.000 V

Pantalla Digital:	4000 actualizaciones de dígitos 3/seg.
Temperatura Funcionamiento:	de 0 °C a 40 °C.
Altitud operativa:	hasta -0 a 2000 metros.
Sobretensión transitoria especificada:	Pico de 6 kV (1,2 x 50µs) para las Categorías de medición II y III.
Humedad relativa:	Sin condensación <10 °C 90% de 10 °C a 30 °C; 75% de 30 °C a 40 °C
Tipo de batería:	2 X AA, NEDA 15 A, IEC LR6
Duración de la batería:	Alcalinas: 500 horas
Tamaño (A x L x P):	180 mm x 89 mm x 51,5 mm (con funda)
Peso:	425 gramos.

Figura 2-17. Multímetro FLUKE 15B.

(Fuente: Elaboración propia)

2.3.2. Extensión RS232 macho a hembra y Cable RS232 macho a USB

Permitió la comunicación con el PC que tenía instalado el software del variador de frecuencia VACON CXS.

Figura 2-18. Extensión RS232 macho a hembra.

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 2-19. Cable RS232 macho a USB.

(Fuente: Elaboración propia)

2.3.3. Multímetro digital FLUKE 41B

El analizador de armónicos FLUKE 41B combina la facilidad de uso de un multímetro digital, la retroalimentación visual de un osciloscopio y la potencia de un analizador de armónicos en un solo instrumento.

La pantalla se actualiza tres veces por segundo para obtener una vista dinámica de las condiciones reales del circuito.

Entre las mediciones que puede tomar este instrumento están. Medición de RPM, distorsión armónica máxima y total (THD) para voltajes y corrientes complejos, sin necesidad de cálculos manuales.

A partir de una simple medición monofásica, se calcula automáticamente la potencia trifásica para cargas balanceadas de 3 hilos (típicamente 5% o menos de desequilibrio). Para realizar la medición monofásica.

Visualización de armónicas de la 2° a la 31°.

Precisión de la medición de frecuencia (Fundamental de 6,0 Hz a 99,9 Hz).

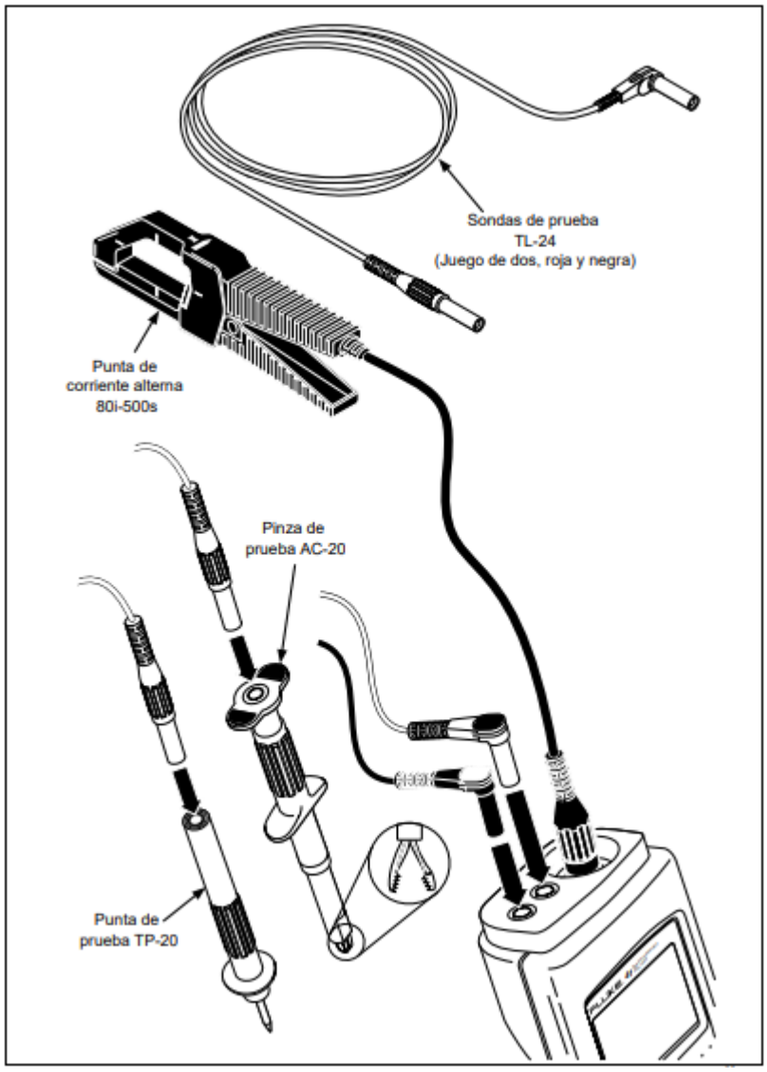


Figura 2-20. Multímetro digital FLUKE 41B.

(Fuente:https://www.ujaen.es/departamentos/ingele/sites/departamento_ingele/files/uploads/medidorenergia41b.pdf)

2.3.4. Interruptor Automático trifásico 380V / 6A

El Interruptor automático trifásico Legrand. Proporciona protección contra sobrecargas y cortocircuitos de la red de electricidad, lo que lo hace un artículo confiable y de suma importancia para una conexión segura.

El interruptor posee una llave tripolar termomagnética de 6A. Corta las 3 fases cuando detecta una falla en alguna de ellas. Además, Posee un poder de ruptura de 6KA y es apto para funcionar con tensiones de 230V a 400V con curva C.

2.3.5. Cable Macho Volante 3P+N+T

Cable para la conducción de electricidad. Está formado por cinco conductores fabricados con cobre, el cual es un material cuyas propiedades físicas lo hacen perfecto para este uso. Además, con tres polos más el neutro y tierra con una intensidad nominal de 32A, la tensión de 380V-415V y un índice de protección de IP44.

2.3.6. Osciloscopio Digital GDS 1000A

El Osciloscopio nos permitió obtener las formas de onda de la entrada y salida del variador de frecuencia.

Canales:	2
Ancho de banda:	CC ~ 40MHz (-3dB)
Tiempo de subida:	<8.75ns Aprox.
Sensibilidad:	2mV / div ~ 5V / div (1-2-5 incrementos)
Precisión:	± (3% x | Lectura | +0.1 div + 1mV)
Acoplamiento de entrada:	CA, CC y tierra
Impedancia de entrada:	1M ± 2%, ~ 16pF
Polaridad:	Normal e Invertir
Entrada máxima:	300V (pico CC + AC)
Límite de ancho de banda:	20MHz (-3dB)
Proceso de señal de forma de onda:	Suma, resta, FFT (Transformada de Fourier).

Figura 2-21. Osciloscopio Digital GDS 1000A.

(Fuente: Elaboración propia)

2.3.7. Sonda para Osciloscopio GE3121 serie 2kv 100MHz.

Sonda compacta para osciloscopio de baja capacitancia que permite medidas de alta tensión en anchos de banda altos.

Tensión de entrada máxima: 2 kV AC / CC
Atenuación: x100
Longitud de cable: 1,2 m
Categoría de tensión: IEC1010-2-031 2.000V Cat I/1.000V Cat II
Tensión de prueba: 4.100V
Ancho de banda: CC - 150MHz
Atenuación: 100x
Ancho de Banda: 150MHZ
Tensión Máxima de Entrada Modo Común: 2kV AC/CC
Tipo de Conector: BNC

Figura 2-22. Sonda para Osciloscopio GE3121 serie 2kv 100MHz.

(Fuente: Elaboración propia)

2.3.8. Interruptor de circuito de motor Schneider GV2 P32 24-32A

Dispositivo que permite proteger al motor y el VDF ALTIVAR 32.

Características técnicas interruptor:

Modo de montaje: Por clips/Por tornillos.

Soporte de montaje: Riel de placa

Posición de montaje: Horizontal - vertical

Potencia del motor kW: 15 kW a 400/415 V CA 50/60Hz

Tipo de control: Perilla giratoria

Tensión operativa nominal: 690 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2

Voltaje de aislamiento nominal: 690 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2

Tensión nominal soportada por impulsos: 6 kV conforme a IEC 60947-2

Servicio nominal:	Continuo conforme a IEC 60947-4-1
Robustez mecánica:	Amortiguadores 30Gn según IEC 60068-2-27, vibraciones 5Gn, 5-150 Hz según IEC 60068-2-6
Idoneidad para el aislamiento:	Sí conforme a IEC 60947-1
Altura:	89mm
Ancho:	45mm
Profundidad:	97mm
Peso del producto:	0,33 kg

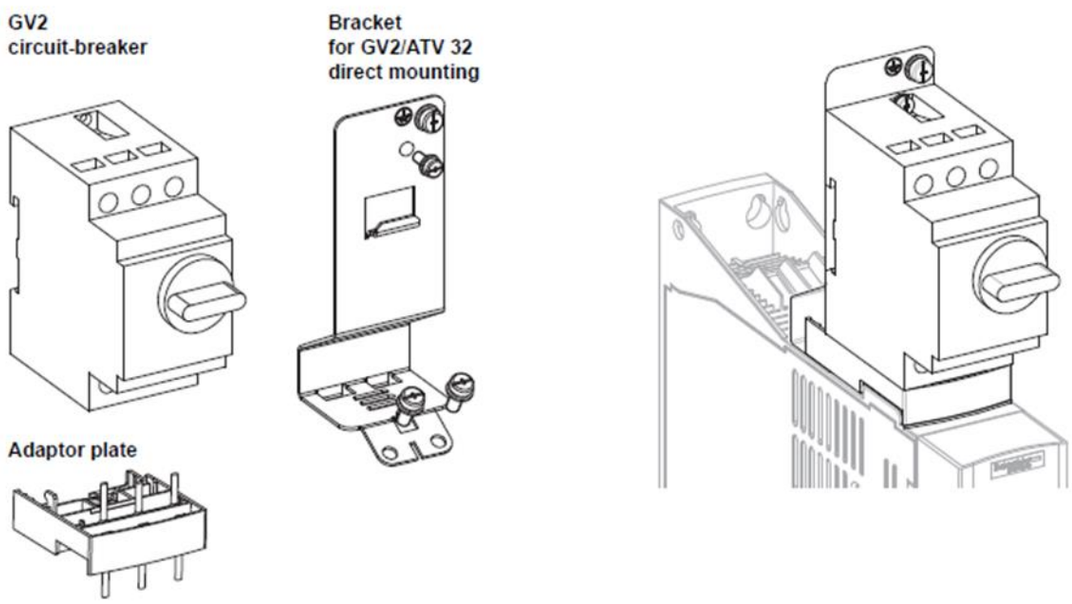


Figura 2-23. Guarda motor magnético GVL2 10.

(Fuente: Manual de instalación ALTIVAR 32)

Nota: La dimensión total del producto, incluido el adaptador GV2 y la placa EMC montada, se convierte en 424mm.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

3.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS

En el siguiente apartado se muestran todos los resultados obtenidos en los seis ensayos realizados al Variador VACON CXS en conjunto al Motor SIEMENS de 3KW y Variador ALTIVAR 32 en conjunto al Motor ASYN trifásico de 0,37KW además Contiene las tablas de datos.

3.1.1. Ensayo N°1: Medición en la entrada y salida del variador VACON CXS con una frecuencia de 25Hz y 50Hz

Al aumentar la frecuencia de forma gradual, la forma de onda visualizada en el osciloscopio se comprime y aumenta la velocidad de pulsos en los IGBT del variador de frecuencia.

La frecuencia de los pulsos o frecuencia de conmutación que le están llegando al motor es de 15kHz, debido a que la portadora es una onda triangular de la fundamental, pero la moduladora es la que varía entre 0 – 500Hz, por lo que los variadores trabajan con IGBT ya que les permite hacer la conmutación de on y off a una velocidad muy alta, para variar la velocidad del motor.

Variador a 25Hz: valores de entrada, de la red al variador.

Datos obtenidos con el instrumento FLUKE 41B ubicado en la entrada del variador de frecuencia obteniendo los siguientes valores monofásico:

Las mediciones fueron las siguientes:

- Corriente: 0,77A RMS.
- Corriente: 2,21A PK.
- Voltaje: 407V RMS.
- Voltaje: 561V PK.
- Potencia: -0,17KW.
- Factor potencia: -0,54.

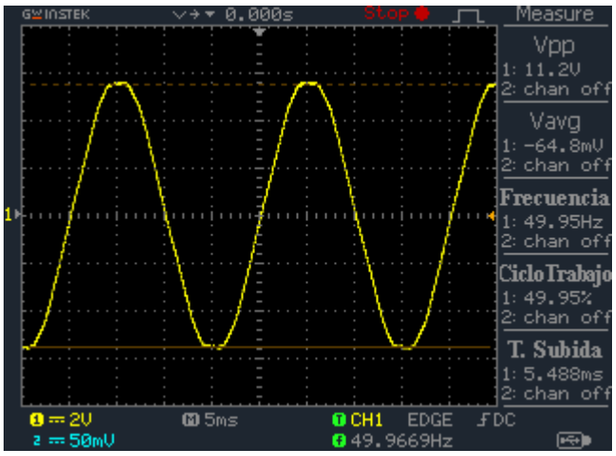


Figura 3-1. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A en la entrada del variador.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

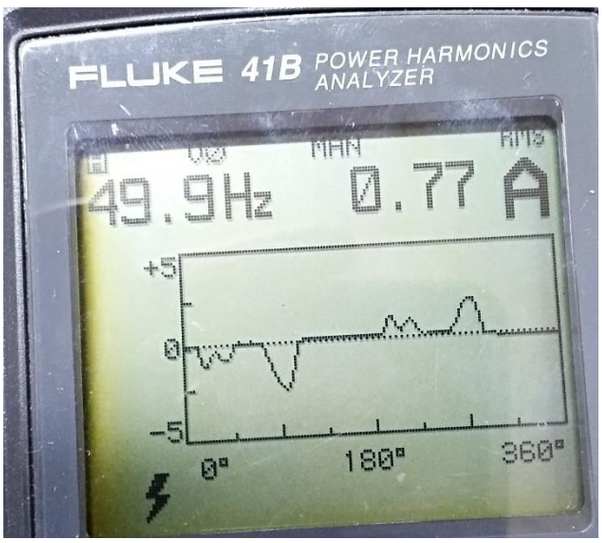


Figura 3-2. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

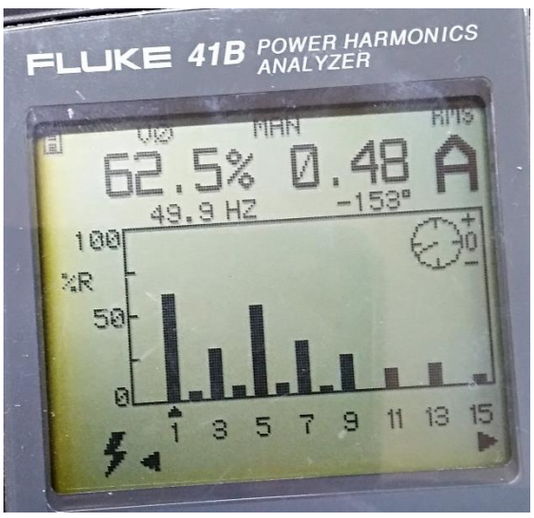


Figura 3-3. Señal de armónicas obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

Valor de salida del variador de frecuencia al motor:

Datos obtenidos con el instrumento FLUKE 41B ubicó a la salida del variador de frecuencia (hacia el motor trifásico) obteniendo los siguientes valores monofásico:

- Corriente: 3,5A RMS.
- Corriente: 4,72A PK.
- Voltaje: 195V RMS.
- Voltaje: 277V PK.
- Potencia: -0,22KW.
- Factor de potencia: -0,32

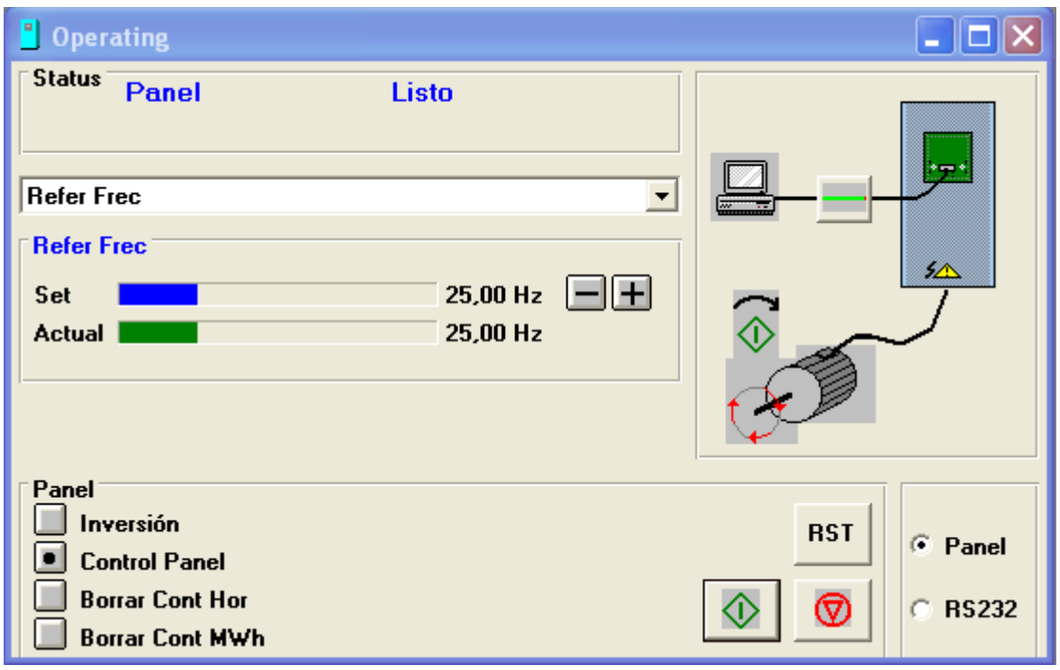


Figura 3-4. Operación del motor a 25Hz.

(Fuente: software FCDRIVE)

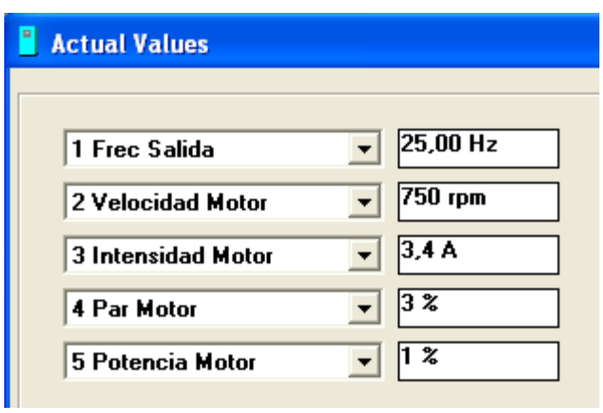


Figura 3-5. Valores actuales del motor a 25Hz.

(Fuente: software FCDRIVE)

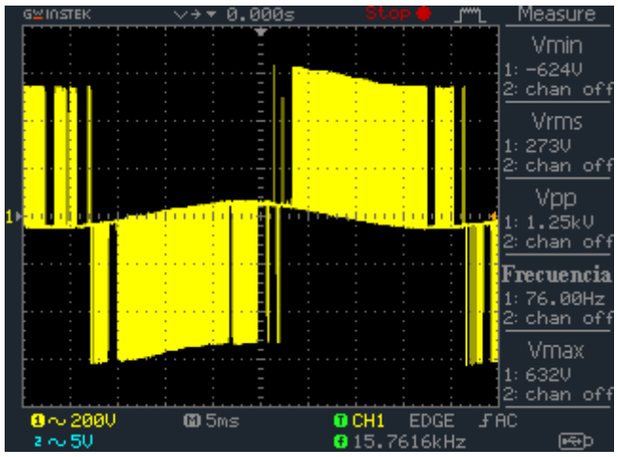


Figura 3-6. Valor de salida del variador.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

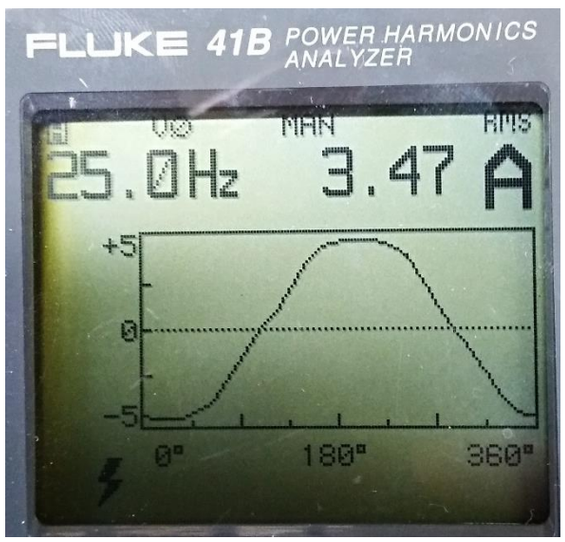


Figura 3-7. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

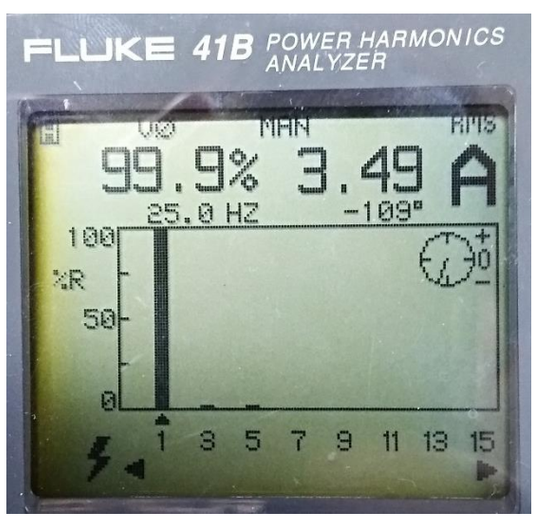


Figura 3-8. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

En 50Hz: valores en la entrada al variador, de la red al variador.

Datos obtenidos con FLUKE 41B: valores monofásicos.

Corriente de 0,79A RMS.

Corriente de 2,12A PK.

Voltaje de 408V RMS.

Voltaje de 564V PK.

Potencia -0,17KW.

Factor de potencia -0,53.

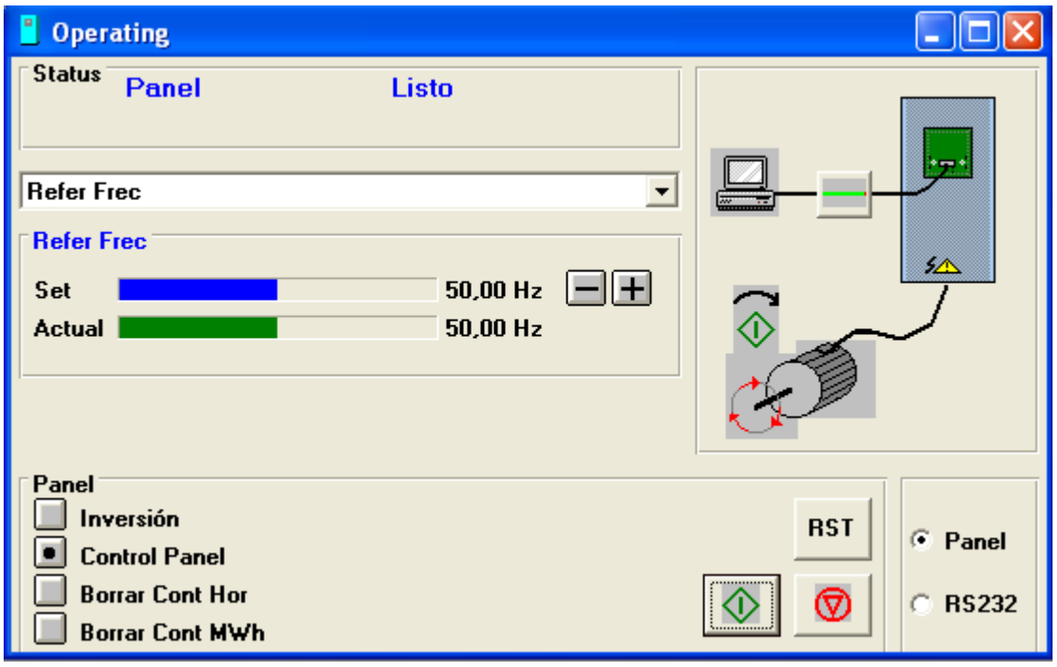


Figura 3-9. Operación del motor a 50Hz.

(Fuente: software FCDRIVE)

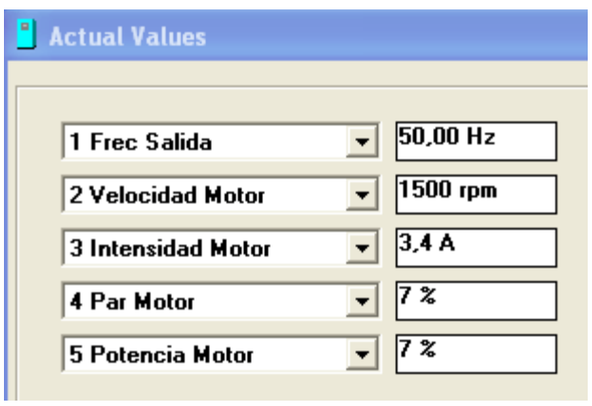


Figura 3-10. Valores actuales del motor a 50Hz.

(Fuente: software FCDRIVE)

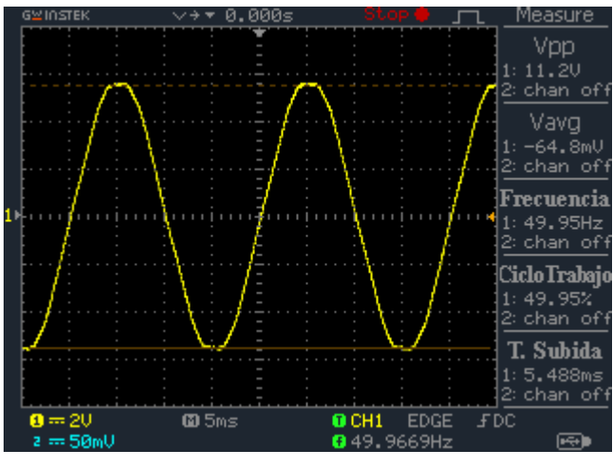


Figura 3-11. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A en la entrada del variador.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

Valor de salida del variador de frecuencia al motor:

Datos obtenidos con FLUKE 41B: valores monofásicos.

Corriente de 3,5A RMS.

Corriente de 4,8A PK.

Voltaje de 389V RMS.

Voltaje de 553V PK.

Potencia -0,53KW.

Factor de potencia -0,39

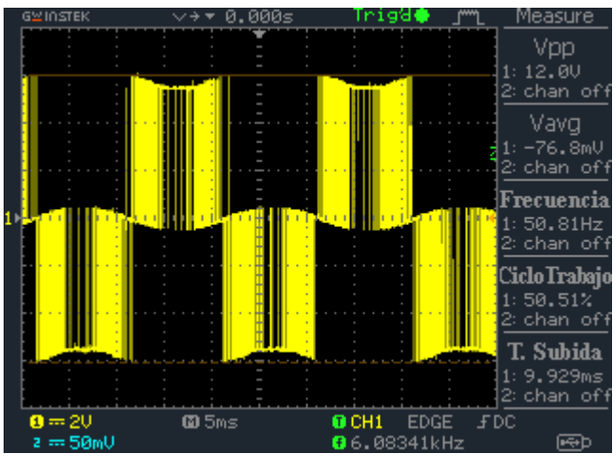


Figura 3-12. Valor de salida del variador.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

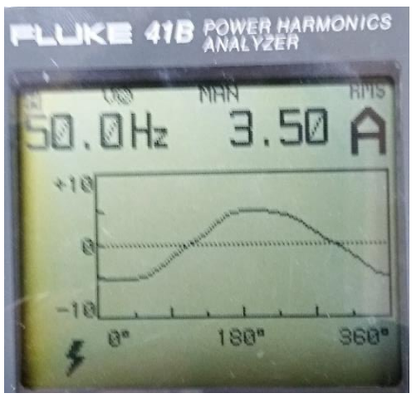


Figura 3-13. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

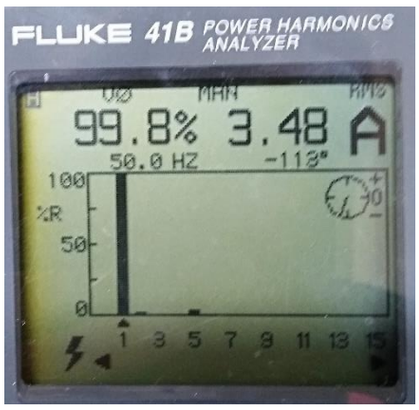


Figura 3-14. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

Al realizar el ensayo logramos obtener datos de corriente, voltaje y potencia además de obtener la forma de onda de entrada y salida gracias al instrumento FLUKE 41B y el osciloscopio GDS.

La sonda utilizada en el osciloscopio tiene una atenuación x100 por lo que hay que configurarla en canal del osciloscopio y cambiar la opción de atenuación x10 a una atenuación x100.

El variador VACON CXS trabaja entre 0-500hz esto es debido a que los aviones y barcos trabajan a esta frecuencia por ende todos los variadores deben cumplir con esta condición además de la ventaja que al trabajar con frecuencias elevadas se disminuye el tamaño de transformadores y motores en estos casos igual disminuye la eficiencia de ambos.

Al tener 6 diodos (6 pulsos en 1) se transforma en un rectificador y aparecen armónicas de orden 5° y 7°. El número de pulso +/-1 => 5 y 7.

Empleo de un rectificador de diodos de 6 pulsos:

El circuito rectificador más común en los accionamientos de CA trifásicos es un puente de diodos de 6 pulsos. Consta de seis rectificadores o diodos no controlables y un inductor, que junto con un condensador de CC forman un filtro de paso bajo, para filtrar la intensidad de CC. El inductor puede hallarse en la etapa de CC, CA y puede dejarse completamente en el exterior. El rectificador de 6 pulsos es sencillo y barato, pero genera una gran cantidad de armónicos del orden bajo quinto, séptimo y undécimo, especialmente con una inductancia de filtrado reducido.
El modo de la intensidad se muestra en la Figura 3.14. Si la mayor parte de la carga consiste en convertidores con un rectificador de 6 pulsos, el transformador de alimentación tiene que sobredimensionarse y suele ser necesario algún tipo de filtrado de armónicos.

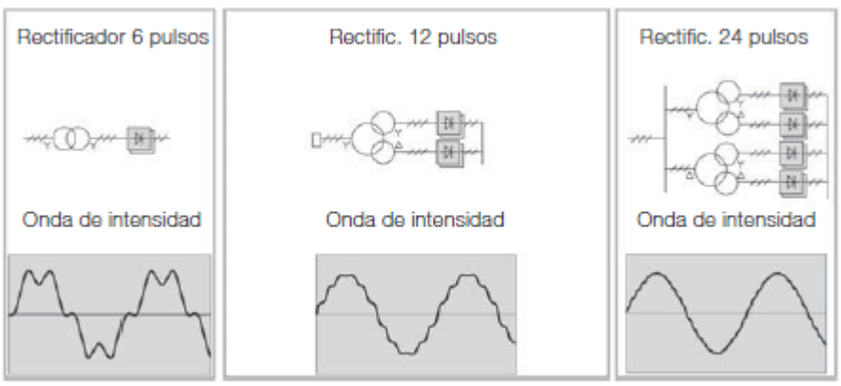


Figura 3-15. Armónicos en la intensidad de red con distintas estructuras de rectificadores.

(Fuente:https://library.e.abb.com/public/dd0c813e2011033ec1257d4e00406241/TechnicalGuideBook_1_10_ES_REVH.pdf)

3.1.2. Ensayo N°2: Ausencia de la línea R de la red eléctrica al variador VACON CXS

Al realizar el ensayo logramos obtener datos de corriente y voltaje mediante el instrumento FLUKE 41B.

Al momento de simular la falla F10, es decir, quitar una fase que suministra la entrada del Variador de Frecuencia, el VDF detecta de inmediato la falla de falta de panel y fallo de una fase de alimentación, evitando la simulación de puesta en marcha del motor eléctrico.

3.1.3. Ensayo N°3: Ausencia de la línea R/L1 del variador VACON CXS al motor de SIEMENS

Al realizar el ensayo logramos obtener datos de corriente y voltaje mediante el instrumento FLUKE 41B.

Al momento de simular la falla F11, es decir, quitar una fase que suministra la salida del Variador de Frecuencia al motor, el VDF lo detecta, pero no de manera inmediata como el ensayo anterior, debido a que tiene que entrar una protección térmica que es

simulada por el variador con una curva de tiempo inverso, al estar circulando una corriente baja demoro un par de segundos en operar la falla de falta de panel y el medidor de intensidad ha detectado que en una fase del motor no circula intensidad, evitando la puesta en marcha del motor eléctrico o giro y luego paro al motor de manera inmediata.

3.1.4. Ensayo N°4: Disminución de tensión al ingreso del variador VACON CXS

Tabla: Voltaje en disminución.

Voltaje Entrada.	Voltaje DC-Link.	Corriente.	Potencia.
350	488	0,9	6
340	473	0,9	6
330	460	0,9	6
320	444	0,9	5
310	431	0,10	3
300	416	0,11	3
290	401	0,11	3
280	388	0,11	3
270	372	0,11	3
260	359	0,11	2
250	346	0,11	1
244	337	0,12	0
237	322	0,10	-2

Tabla 3-1. Disminución de voltaje hacia el variador.

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla: Voltaje en aumento.

Voltaje Entrada.	Voltaje DC-Link.	Corriente.	Potencia.
330	460	0,9	5
320	444	0,9	4
310	423	0,10	3
300	409	0,10	2
290	393	0,9	2
280	380	0,9	1
270	366	0,10	0
260	353	0,10	0
250	340	0,10	-1
244	329	0,10	-1

Tabla 3-2. Aumento de voltaje hacia el variador.

(Fuente: Elaboración propia)

Al disminuir el voltaje mediante una fuente alterna variable trifásica y llegar a los 244V el variador detecta una falla F9 y F26 (Error de comunicación panel) visualizada en la pantalla del notebook, además se percibe el sonido de un contacto al interior del variador. A los 237V se produce de nuevo el mismo sonido en el variador. Al aumentar el voltaje y llegar a los 320V se escucha un nuevamente el sonido y aun con la falla F9 en la pantalla del notebook, no permite la simulación de puesta en marcha hasta que se presione el reset del software, luego permite la simulación de puesta en marcha hacia el motor.

3.1.5. Ensayo N°5: BLACKOUT del variador VACON CXS

Tabla de BLACKOUT en tiempo:

tiempo	Voltaje	Corriente	Frecuencia
1seg	90V	3,32A	17Hz
2seg	87,5V	2A	0Hz
3seg	6,3V	0,36A	0Hz
4seg	2V	0,21A	0Hz

Tabla 3-3. Datos obtenidos en el ensayo del BLACKOUT del variador.

(Fuente: Elaboración propia)

A los 305V se percibe en el software que la frecuencia del motor comienza a disminuir siendo la frecuencia de referencia 25Hz.

Al generar el BLACKOUT con un corte de 3seg por lo que se aprecia que solo baja la frecuencia de la simulación esto se debe que como estaba conectado a un motor este le aporto energía cuando se desconectó el variador por un tiempo de 3seg.

Con un tiempo de 4seg se produce el corte de suministro al variador apagando el mismo y al momento de encender el software arroja una falla F9 (bajo voltaje).

Posterior a la falla F9 se debe presionar reset para despejar la falla.

3.1.6. Ensayo N°6: Desarme del variador de frecuencia VACON CXS

Este ensayo nos permitió comprender mejor el funcionamiento interno del variador, las funciones que tiene cada parte y etapas del equipo.

3.1.7. Ensayo N°7: armado del VDF VACON CXS y pruebas de funcionamiento correcto después de su intervención

Valor de salida del variador de frecuencia al motor:

Datos obtenidos con el instrumento FLUKE 41B ubicó a la salida del variador de frecuencia (hacia el motor trifásico) obteniendo los siguientes valores monofásico:

- Corriente: 3,5A RMS.

- Corriente: 4,72A PK.
- Voltaje: 195V RMS.
- Voltaje: 277V PK.
- Potencia: -0,22KW.
- Factor de potencia: -0,32

Figura 3-16. Valores actuales del motor a 25Hz.

(Fuente: software FCDRIVE)

Teniendo estos valores se verifica el buen funcionamiento del variador de frecuencia VACON CXS.

3.1.8. Ensayo N°8: Medición en la entrada y salida del variador ALTIVAR 32 con una frecuencia de 25Hz y 50Hz

En 25Hz: valores en la entrada al variador, de la red al variador.

Datos obtenidos con el instrumento FLUKE 41B ubicado a la entrada del variador de frecuencia obteniendo los siguientes valores monofásico:

Las mediciones fueron las siguientes:

- Corriente: 0,83A RMS.
- Corriente: 2,86A PK.
- Voltaje: 239V RMS.
- Voltaje: 343V PK.

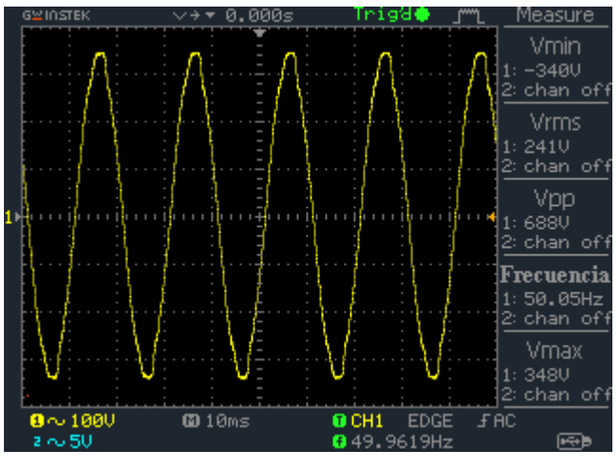


Figura 3-17. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A en la entrada del variador.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

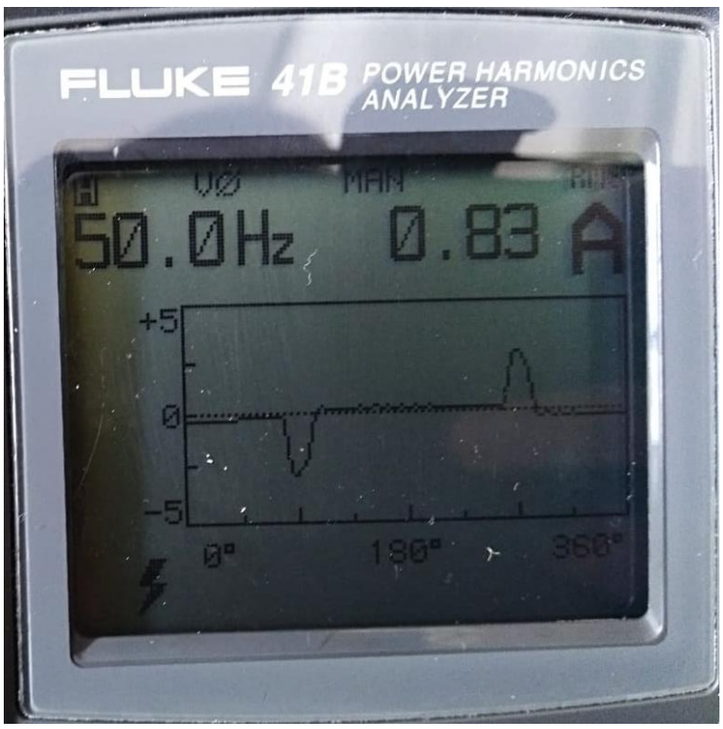


Figura 3-18. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

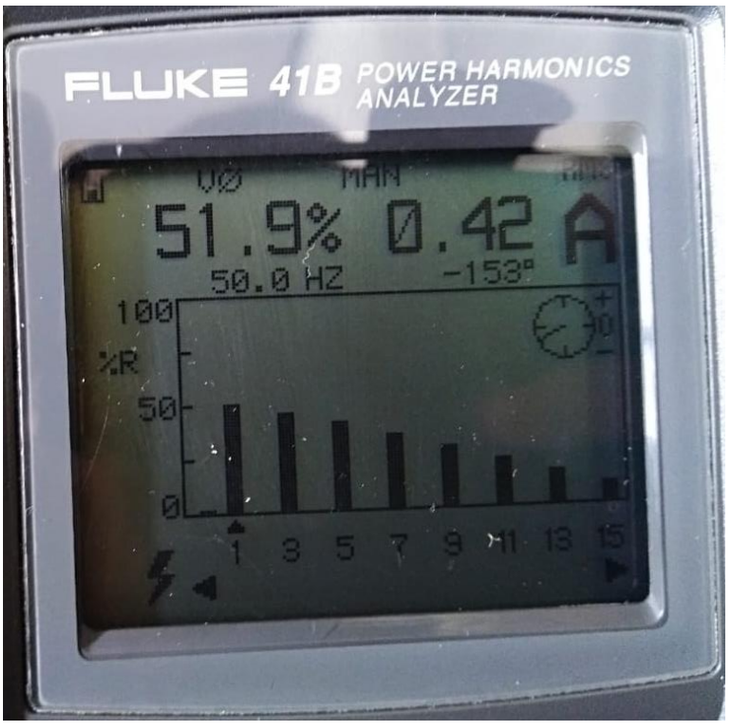


Figura 3-19. Señal de armónicas obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

Valor de salida del variador de frecuencia al motor:

Las mediciones fueron las siguientes:

- Corriente: 0,33A RMS.
- Corriente: 0,53A PK.
- Voltaje: 105V RMS.
- Voltaje: 148,4V PK.

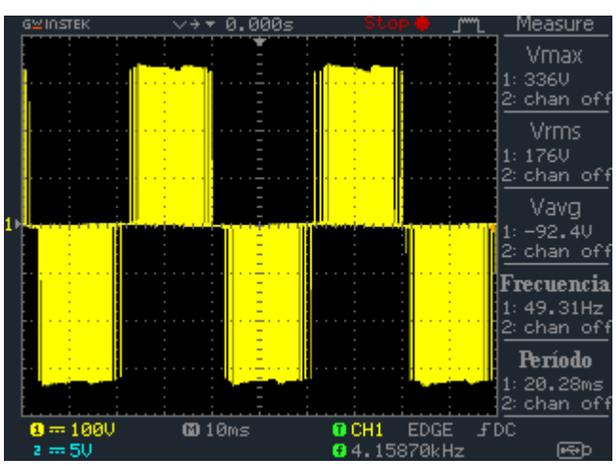


Figura 3-20. Valor de salida del variador.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

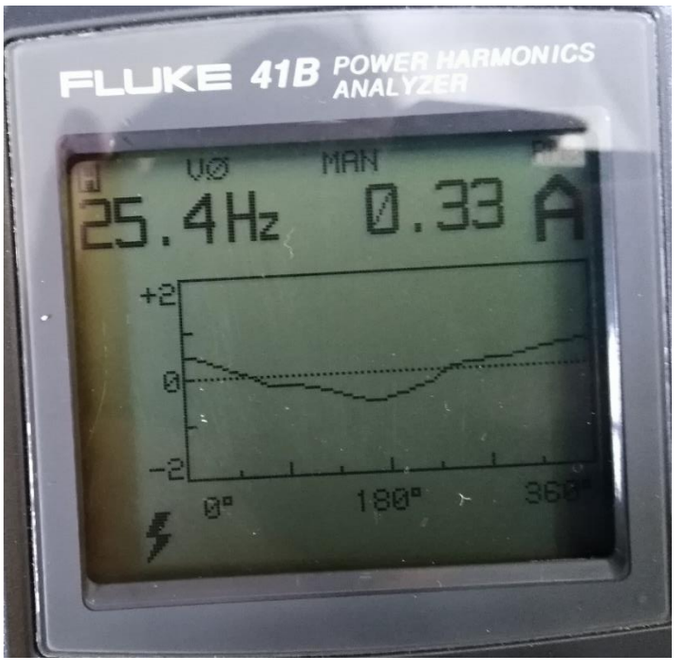


Figura 3-21. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

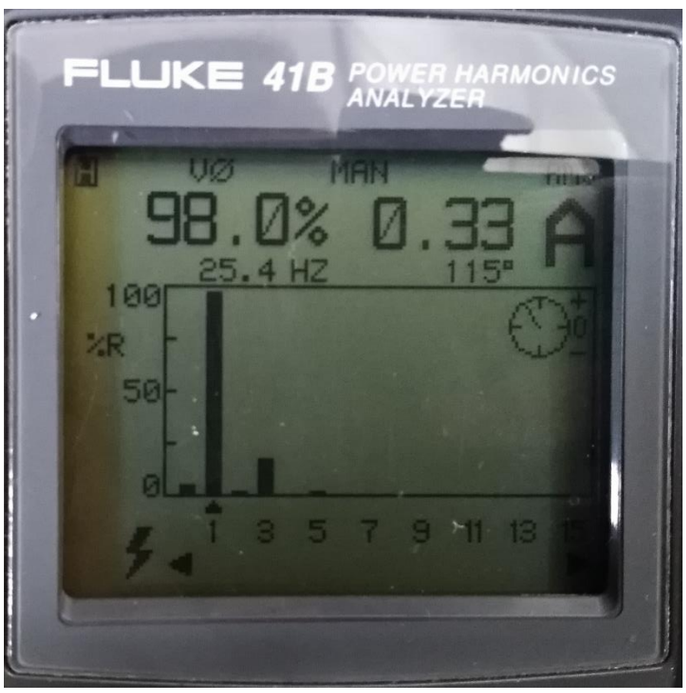


Figura 3-22. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

Bus dc-link

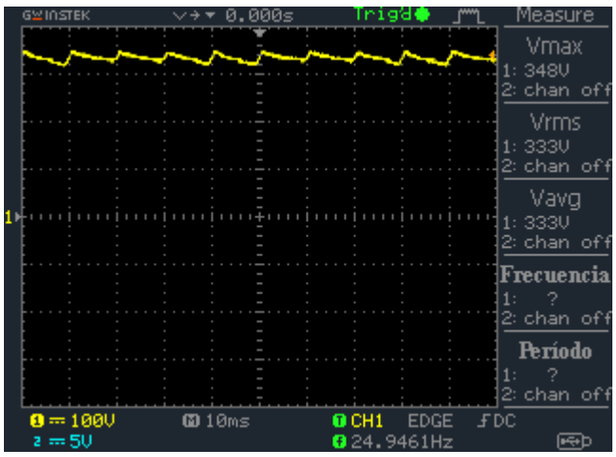


Figura 3-23. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A del Bus DC-LINK.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

Variador a 50Hz: valores de entrada, de la red al variador.

Datos obtenidos con el instrumento FLUKE 41B ubicado en la entrada del variador de frecuencia obteniendo los siguientes valores monofásico:

Las mediciones fueron las siguientes:

- Corriente: 1,38A RMS.
- Corriente: 5,14A PK.
- Voltaje: 238V RMS.
- Voltaje: 342V PK.

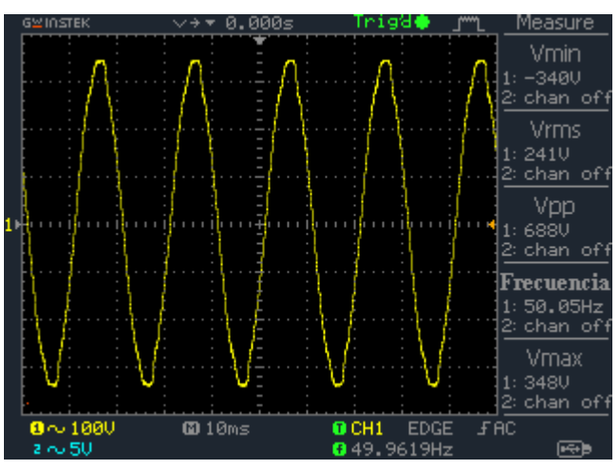


Figura 3-24. Señal obtenida con Osciloscopio Digital GDS 1000A en la entrada del variador.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

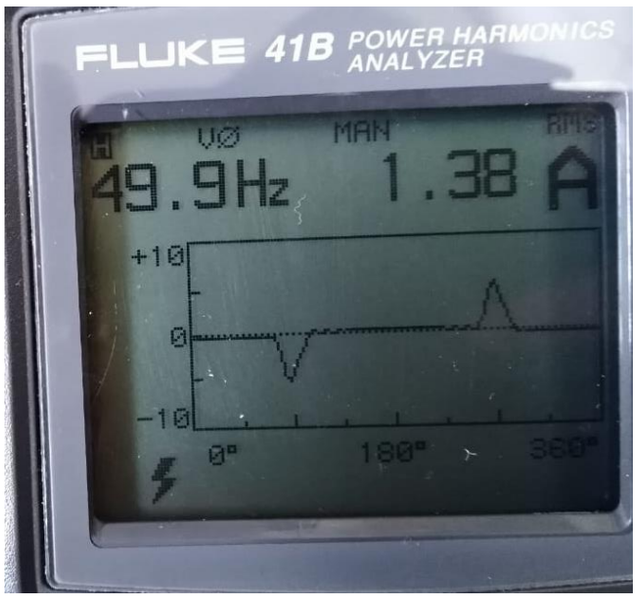


Figura 3-25. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

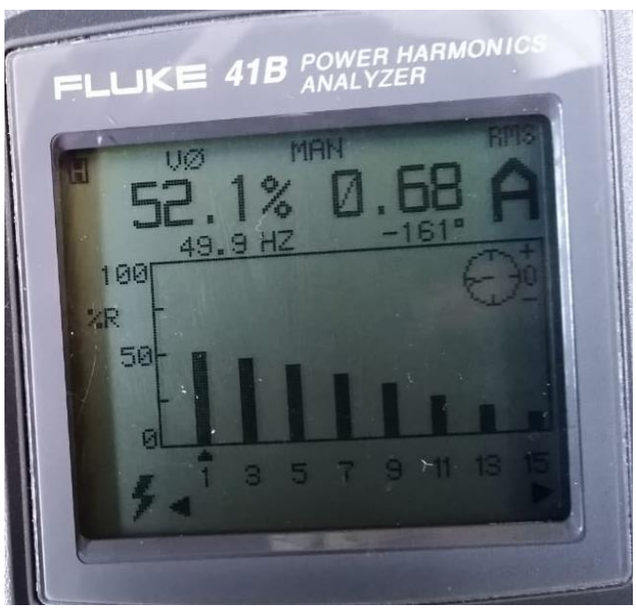


Figura 3-26. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

Valor de salida del variador de frecuencia al motor:

Datos obtenidos con FLUKE 41B: valores monofásicos.

Corriente de: 0,35A RMS.

Corriente de: 0,54A PK.

Voltaje de: 205V RMS.

Voltaje de: 291V PK.

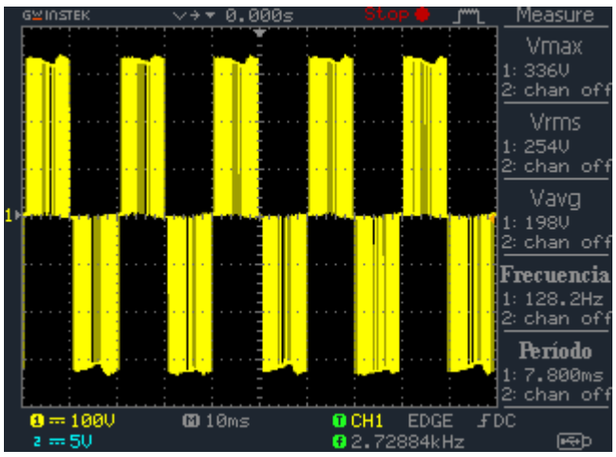


Figura 3-27. Valor de salida del variador.

(Fuente: Osciloscopio Digital GDS 1000A)

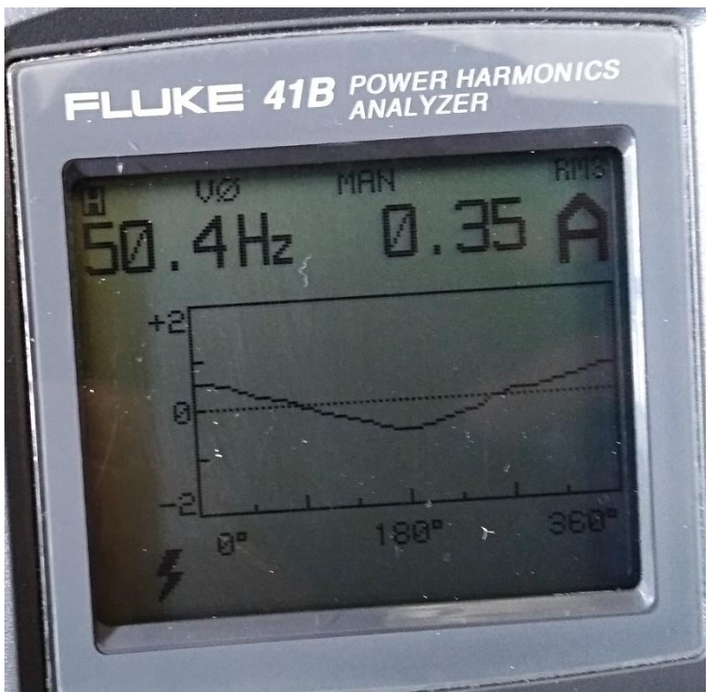


Figura 3-28. Señal de armónicos obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

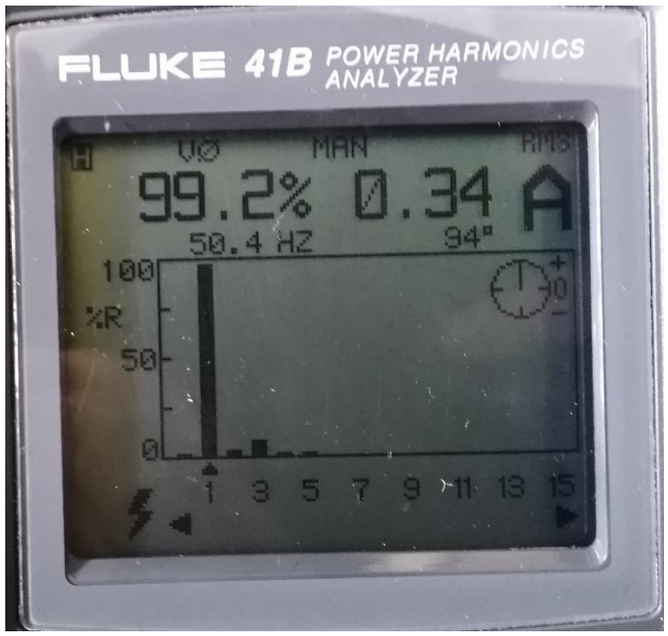


Figura 3-29. Señal de corriente obtenida por FLUKE 41B.

(Fuente: Elaboración propia)

3.1.9. <u>Ensayo N°9: Ausencia de la línea U/T1 de la red eléctrica al variador ALTIVAR 32</u>

Luego de quitar la fase "R" que alimenta al motor desde el variador, se energiza el circuito de montaje y se espera al momento de que el variador opere. Alrededor de los 3,71Seg. El VDF opera por la falla OPF1, la cual consiste en la perdida de una fase que conecta con la red de alimentación.

El tiempo en que el variador se demora en operar es relativamente corto, lo que permite que el motor no se dañe al sufrir este tipo de fallas y priorizar además la seguridad del personal que este interactuando con la máquina.

Cabe destacar, que al ser ensayos de laboratorios y no procedimientos de industria es poco probable que el motor pueda dañarse al momento de desconectarse una fase en reiteradas ocasiones ya que no está expuesto a un uso constante, pero, en el caso que estos problemas ocurran en un proceso industrial es de recomendación llevar un registro de cada falla que pueda presentarse para que la maquina eléctrica no tenga inconvenientes en su aislación.

3.1.10. <u>Ensayo N°10: Disminución de tensión al ingreso del variador ALTIVAR 32</u>

El bus DC-LINK al prender el variador de frecuencia ALTIVAR 32 marca 316V.

Como se explica en el procedimiento del ensayo, el variador de frecuencia es conectado a una fuente variable CA a 220 V la cual nos permitirá bajar gradualmente el voltaje para así determinar el punto en que el variador operará.

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos al disminuir la tensión a 25Hz de operación:

Voltaje de entrada	Corriente de entrada	Voltaje DC-link
220V	0,93	307
210V	0,95	294
200V	0,98	279
190V	1,01	264
180V	1,05	249
170V	1,08	236
160V	1,12	221
153V	1,02	215
152V	0,17	209

Tabla 3-4. Datos obtenidos en el ensayo de disminución de tensión del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz.

(Fuente: Elaboración propia)

Al ir bajando el voltaje, el variador de frecuencia a los 153 V y una corriente de 1,02 A, opera por la falla USF que se puede observar en el display del dispositivo, la cual nos indica que existe una sobretensión en la alimentación del VDF.

Este dato es muy importante ya que el fabricante del dispositivo no especifica en el manual cual es el punto en que el Variador de Frecuencia opera.

Tabla de aumento de tensión a 25Hz de operación:

Voltaje de entrada	Corriente de entrada	Voltaje DC-link
160V	0,16A	220V
165V	0,18A	235V

Tabla 3-5. Datos obtenidos en el ensayo de aumento de tensión del VDF ALTIVAR 32 a 25Hz.

(Fuente: Elaboración propia)

Luego de conocer el voltaje en que el VDF opera, aumentamos gradualmente el voltaje para conocer en qué punto el variador reanuda su funcionamiento.

Al realizar este ensayo con el selector en la posición 1, llegando a los 165 V el display del variador marca las siglas “NST” la cual significa parada en la rueda libre.

Para que el variador pueda volver a su funcionamiento correcto es necesario reiniciar el dispositivo y verificar que los parámetros no hayan sido modificados.
Cuando el selector se cambia a la posición 0, el VDF vuelva a su estado “Ready”

Tabla de disminución de tensión a 50Hz de operación:

Voltaje de entrada	Corriente de entrada	Voltaje DC-link
220V	1,53A	324V
210V	1,50A	291V
200V	1,46A	277V
190V	1,43A	262V
180V	1,41A	248V
170V	1,35A	235V
160V	1,38A	220V
159V	0,16A	227V

Tabla 3-6. Datos obtenidos en el ensayo de disminución de tensión del VDF ALTIVAR 32 a 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)

En esta prueba la frecuencia es modificada de 25 Hz a 50 Hz para así comparar el comportamiento del variador de frecuencia respecto a los cambios en sus parámetros frente a la falla USF [SUBTENSION], los valores obtenidos fueron los siguientes:

Al ir bajando el voltaje, el variador de frecuencia a los 159 V y una corriente de 0.16 A, opera por la falla USF que se puede observar en el display del dispositivo, la cual nos indica que existe una SOBRETENSION en la alimentación del VDF.

La diferencia que existe entre el ensayo a 25 Hz respecto al ensayo de 50 Hz es mínima, por lo cual no debería existir algún problema o error al momento de que el VDF detecte esta falla a diferentes valores de frecuencia.

Tabla de aumento de tensión a 50Hz de operación:

Voltaje de entrada	Corriente de entrada	Voltaje DC-link
160V	0,17A	228V
170V	0,17A	242V
180V	0,17A	252V
190V	0,18A	270V
200V	0,18A	286V
210V	0,18A	300V
220V	0,18A	315V

Tabla 3-7. Datos obtenidos en el ensayo de aumento de tensión del VDF ALTIVAR 32 a 50Hz.

(Fuente: Elaboración propia)

Al momento de ir aumentando el voltaje, el display del variador marca las siglas “NST” que significa parada en la rueda libre, además destacando que la posición del selector está en 1, lo cual no permite la operación de marcha del motor.

El display del variador marca las siglas “RDY” y tiene como significa que el variador está listo para poner en marcha el circuito, además destacando que la posición del selector está en 0 en esta ocasión si permite la operación de marcha del motor.

Al colocar la posición en 1 del selector el motor gira, pero no alcanza a llegar a su velocidad nominal por lo que se registran los siguientes valores: voltaje de entrada 160V, corriente de entrada 1,74A y voltaje DC-LINK.

En este ensayo logramos concluir varios puntos importantes al momento de querer utilizar este dispositivo y que se deben tomar en cuenta.

En primer lugar, es importante destacar que el fabricante no especifica un voltaje de corte al momento de producirse una falla por subtensión es por lo que realizamos una tabla donde el voltaje se irá disminuyendo gradualmente hasta llegar al voltaje donde el variador operará por la falla “SOF”.
Cuando el variador de frecuencia está configurado a 25 Hz opera a los 153 V, luego se cambia este parámetro a 50 Hz operando en este caso a los 159 V, la diferencia que existe entre las dos frecuencias es mínima, por ende, no debería presentar algún tipo de disconveniente cuando se desee cambian la velocidad rotacional del motor.

Según fabricante puede ser La posible causa de esta falla es:
Alimentación de red demasiado baja.
Bajada de tensión transitoria.

La posible solución a esta perturbación es:
Compruebe la tensión y los parámetros de [GESTIÓN SUBTENSIÓN].

3.1.11. Ensayo N°11: Modificación del parámetro de corriente en el variador ALTIVAR 32

Luego de realizar el ensayo con la falla simulada, el variador de frecuencia opero de inmediato al detectar que el parámetro de corriente no era el mismo que se indica la placa de datos del motor.

Esta reacción del variador nos permite eliminar las posibles consecuencias de que el motor pueda sufrir algún daño en sus partes constructivas

Al operar el variador de frecuencia frente a esta falla, en el display se puede observar las siglas “SOF” explicado anteriormente en el procedimiento de este ensayo, además de emitir un aviso por medio de un sonido de alarma.

Figura 3-30. Display del VDF ALTIVAR 32.

(Fuente: Elaboración propia)

3.2. CONCLUSIONES OBTENIDAS EN LAS PRUEBAS

Las diferentes fallas o perturbaciones que se generaron para analizar el comportamiento del variador como del motorpermitió conocer los efectos que se produjeron y como se comportó en cada caso.

Observando la onda de entrada y la de salida, que es modificada mediante los componentes electrónicos como el puente rectificador de onda completa trifásica y el módulo de puente de inversión IGBT internos del variador, lo que produce calor al motor.

-BLACKOUT corte de energía eléctrica y luego de un tiempo regresa.

Gray out baja de voltaje nominal y regresa después de un tiempo.

Ambos fenómenos ocurren en el sistema eléctrico y fueron realizados en los ensayos.

-El variador al estar conectado al motor y realizar el BLACKOUT la frecuencia tiende a disminuir y este fenómeno ocurre porque el voltaje baja al no tener energía eléctrica suministrando o al variador y se baja la frecuencia para mantener la corriente nominal y así girar el rotor del motor.

El desarme y armado del variador permitió conocer sus componentes internos y el funcionamiento de cada uno de ellos referidos a la parte de potencia.

CONCLUSION GENERAL:

Gracias a los ensayos realizados a los variadores VACON VXC y ALTIVAR 32 se logró llegar a las siguientes conclusiones relevantes para la persona que quiera manipular estos dos tipos de dispositivo y cualquier otro variador.

Analizando los resultados de las simulaciones de fallas a estos dos variadores se logra realizar una comparación para ambos equipos.

Es importante destacar que la primera diferencia se puede observar en los manuales escritos por los fabricantes, debido a que en el instructivo del VDF VACON VXC, el diseñador especifica una serie de detalles respecto a las fallas que se pueden producir en este dispositivo, además de entregar datos importantes para que al momento de querer solucionar un problema no resulte tan engorroso lograr solucionarla y volver a su funcionamiento correcto, en cambio en el manual del variador de frecuencia ALTIVAR 32 se pueden observar una gran diferencia, en comparación al VDF anterior, una de ellas es que al momento de querer realizar la simulación de la falla por subtensión el fabricante no especifica a que voltaje el equipo operara, es por ello que este ensayo fue muy importante para lograr dejar un registro de este dato.

Otra comparación importante es respecto al display de cada Variador de Frecuencia, el modelo VACON contaba con un display más completo permitiendo una mayor visualización de los parámetros, gracias a esto al momento de que ocurriera una falla

se podía observar y determinar a qué problema se está enfrentando el VDF, en cambio el ALTIVAR 32 contaba con un display más pequeño y sus parámetros solían ser códigos que solamente un experto podría determinar el significado, lo cual condiciona su funcionamiento al uso constante del manual.

Otro punto importante, tiene que ver con la alimentación de cada variador de frecuencia, el modelo VACON VXC se debe conectar a una red trifásica lo cual permite un equilibrio en las líneas de alimentación eléctrica y evitando una sobrecarga en esta misma, produciendo un descenso o perdida en la aislación de los conductores, a diferencia del VDF ALTIVAR 32, este debe ser conectado a una red monofásica condicionando su utilización debido a que en el caso que se quieran conectar más dispositivos monofásicos, y como se explica anteriormente, se sobrecargara una línea de la red trifásica haciendo difícil el equilibrio de las fases.

Estos dos modelos de variadores de frecuencia se rigen por normas internacionales las cuales son la EMC y IEEE quienes regulan que estos dispositivos disminuyan la entrega de armónicos a la red.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

OYJ, V. (2000). *Convertidor de frecuencia Manual del ususio.* Runsorintie.

S.E.C., S. D. (2003). *NCH Elec. 4/2003 ELECTRICIDAD INSTALACIONES DE CONSUMO EN BAJA TENSIÓN.* Santiago.

Steven Engineering, I. R. (2010). *Manual de instalación ALTIVAR 32.* Sur de san francisco.

- Libro ABB Variadores de frecuencia pdf.
- Memoria Variador de frecuencia Didáctico pdf.
- Manual de uso Variador de frecuencia VACON CXS pdf.
- Norma eléctrica NCH 4/2003 pdf.
- Manual de uso Multímetro digital FLUKE 15B.
- Manual de uso Multímetro digital FLUKE 41B.
- Manual de instalación Altivar 32, Accionamientos de velocidad variable Para motores síncronos y asíncronos pdf.
- Manual de programación Altivar 32 Variadores de velocidad para motores síncronos y asíncronos pdf.

REFERENCIA LINKOGRAFICAS

- Cable Macho Volante 3P+N+T. Recuperado de https://www.gobantes.cl/index.php?route=product/product&product_id=15072
- Osciloscopio Digital GDS 1000A. Recuperado de https://www.avantec.cl/includes/dwn/subir_web/documentos/Catalogo_GDS-Serie1000.pdf
- Sonda para Osciloscopio GE3121 serie 2kv 100MHz. Recuperado de https://es.rs-online.com/web/p/sondas-para-osciloscopios/1884770/
- Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia. Recuperado de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90201/fichero/proyecto.pdf
- Características y funciones de los Variadores de Frecuencia (VDF). Recuperado de http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2904&edi=145&xit=caracteristicas-y-funciones-de-los-variadores-de-frecuencia-40vdf41
- Variador de frecuencia. Recuperado de http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicaII/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf
- Simbología Eléctrica Normalizada. Recuperado de https://www.slideshare.net/ITEM10/electricidad-simbologa-elctrica-normalizada
- Transformadores de corriente continua de efecto Hall HES25VT de TELCON. Recuperado de https://www.semic.info/en-detail-148598-ltrp-hes-25vt.html
- Multímetro digital analizador de redes Fluke 41B. Recuperado de https://www.tequipment.net/FlukePowerQuality41B.html
- Interruptor Automático trifásico de 6A. Recuperado de https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/826995/Interruptor-automatico-trifasico-6-A
- Motor Eléctrico. Recuperado de https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/home
- Señal moduladora y portadora. Recuperado de https://alexdl8.wordpress.com/2008/10/10/senales-portadoras-y-moduladoras/
- Modulo IGBT. Recuperado de http://www.afkarielec.ir/upload/pdf/DATASHEET-MiniSKiiP-SKIIP22NAB12T18.pdf
- Transformadores de corriente de efecto Hall. Recuperado de https://www.semic.it/_obchody/semic.obchodak.net/prilohy/7226/ltrp-hes-25vt-3ffa3f.pdf
- Los Armónicos y la Calidad de la Energía Eléctrica. Recuperado de http://www.rtrenergia.es/downloads/armonicos_2012.pdf
- Libro de Guías Técnicas de Accionamientos de CA. Recuperado de https://library.e.abb.com/public/dd0c813e2011033ec1257d4e00406241/TechnicalGuideBook_1_10_ES_REVH.pdf
- Armónicos y la norma IEEE 519 1992. Recuperado de http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=570&%20edi=7

- Multímetro digital FLUKE 41B. Recuperado de https://www.ujaen.es/departamentos/ingele/sites/departamento_ingele/files/uploads/medidorenergia41b.pdf
- Norma UNE-EN 60204-1 Interfaz Hombre-Maquina en el aspecto de seguridad. Recuperado de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12231/fichero/03-CAPITULO3.pdf

ANEXOS

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS:

PRIMER EQUIPO:

VARIADOR DE FRECUENCIA VACON CXS	
Input:	
Voltaje 1	3~380-440V 45/66Hz
Corriente 1	6,5/8,0A
Potencia1	2,2/3,0KW
Grado de Protección	IP20
Output:	
Voltaje 2	3~0-U1 0-500Hz
Corriente 2	6,5/8,0A
Potencia 2	2,2/3.0 KW
Frecuencia de conmutación	1-16KHz

SEGUNDO EQUIPO:

MOTOR SIEMENS TRIFASICO	
Tensión VΔ/Y	400/690V
Corriente IΔ/Y	6,4/3,7A
Potencia	3KW
Frecuencia	50Hz
Cos φ	0,82
Grado de Protección	IP 55
RPM	1420/min
Peso	26KG

TERCER EQUIPO:

VARIADOR DE FRECUENCIA ALTIVAR 32	
Input:	
Voltaje 1	1~200-240V 50/60Hz
Corriente 1	3,4A max

Potencia1	0,18KW
Grado de Protección	IP20
Output:	
Voltaje 2	3~0-240V 0-599Hz
Corriente 2	1,5A
Potencia 2	0,18KW
Frecuencia de conmutación	2-16kHz

CUARTO EQUIPO:

MOTOR ASYN TRIFASICO	
Tensión VΔ/Y	220/380V
Corriente IΔ/Y	2,1/1,2A
Potencia	0,37KW
Frecuencia	50Hz
Cos φ	0,72
RPM	1430/min
Servicio	Continuo
(CI) Clase de aislamiento	E
(P)	11

GLOSARIO DE TERMINOS

Armónicos:

Los armónicos generados por cargas no lineales, que conectadas a la red eléctrica alterna y senoidal, absorben corrientes no lineales y cuya amplitud y frecuencia depende de la deformación de la onda de corriente al aplicar una tensión senoidal. Estas cargas no lineales son por lo general periódicas.

Corriente eléctrica:

Carga eléctrica que circula de forma ordenada por un material conductor.

Voltaje:

El voltaje es una magnitud física, con la cual podemos cuantificar o "medir" la diferencia de potencial eléctrico o la tensión eléctrica entre dos puntos

Corriente eléctrica:

Carga eléctrica que circula de forma ordenada por un material conductor

Frecuencia:

Constituye un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo y puede abarcar desde uno hasta millones de ciclos por segundo o Hertz (Hz).

Resistencia eléctrica:

Es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones.

Capacitor:

Es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.

Corriente alterna:

Corriente eléctrica variable en la que las cargas eléctricas cambian el sentido del movimiento de manera periódica.

Corriente continua:

Corriente de intensidad constante en la que el movimiento de las cargas siempre es en el mismo sentido.

Revoluciones por minuto:

Los rpm son el acrónimo de Revoluciones Por Minuto, es decir, el número de vueltas que da el cigüeñal por cada minuto. Su cifra en comparación con la potencia máxima es importante porque, cuando la potencia se consigue a bajo régimen, el motor proporciona un empuje mayor a bajas velocidades.

Variador de frecuencia:

Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Fallas o perturbaciones:

Error o imperfección que provoca que una cosa, en especial un mecanismo o un aparato, funcione mal.