



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS  
ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMÁTICO PARA REGULAR  
EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en  
Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Autor:**

Carlos Efrén Jami Aymacaña

**Tutor:**

Ing. Gabriel Napoleón Pesantez  
Palacios MSc.

**LATACUNGA-ECUADOR**

**2021**



### DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **CARLOS EFRÉN JAMI AYMACAÑA** declaro ser el autor del presente proyecto tecnológico: **“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMÁTICO PARA REGULAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS”**, siendo el Ing. MSc. **GABRIEL NAPOLEÓN PESANTEZ PALACIOS** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Jami Aymacaña Carlos Efrén

C.I: 0503993693



### AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACION

En calidad de Tutor de la propuesta tecnológica sobre el título: “**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMÁTICO PARA REGULAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS**”, de **JAMI AYMACAÑA CARLOS EFRÉN**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Tecnológico cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2021

El Tutor



firmado electrónicamente por:  
GABRIEL NAPOLEÓN  
PESANTEZ PALACIOS

.....  
Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc.

C.I: 0301893889



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por lo cual, el postulante: **Jami Aymacaña Carlos Efrén**, con cédula de ciudadanía N°050399369-3 con el título de Propuesta Tecnológica: **“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMÁTICO PARA REGULAR EL NIVEL DE TENSION EN CARGAS”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2021

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. Wilian Patricio Guamán Cuenca M. Sc

CC:0603578956

Lector 2

Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda M. Sc

CC:1710434497



Firmado electrónicamente por:  
**ROMMEL EUSEBIO  
SUAREZ VINUEZA**

Lector 3

Ing. Rommel Eusebio Suarez Vinueza M. Sc

CC:1804165353



### AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de beneficiario certifico que mediante la propuesta tecnológica: **“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ELEVAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS”** del señor: **JAMI AYMACAÑA CARLOS EFREN**, he sido acreedor del mencionado aparato, mediante el cual resuelvo problemas de bajo voltaje, por consiguiente, tengo un mejor funcionamiento de mis equipos, el cual además lo recibo en correcto funcionamiento y a mi entera satisfacción.

Latacunga, agosto 2021

Edison Cristóbal Jami Almache

C.I: 0503498545

## **AGRADECIMIENTO**

Como no empezar agradeciendo a Dios por no haberme dejado solo en los momentos más difíciles y darme la fortaleza necesaria para afrontar las adversidades presentadas, y a la virgen María quienes fortalecían mi espíritu y escuchaban cada una de mis oraciones en los momentos más desfavorables.

A mi querida y amada familia de manera especial a mi hermanita Lisseth, quien supo darme el apoyo, la motivación y las exigencias del caso no solo para el desarrollo de esta tesis, sino también para mi vida.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas para formarme como un profesional de calidad y con un alto grado de competitividad.

Un agradecimiento especial al Ing. Gabriel Pesantez por haberme compartido sus valiosos conocimientos y guiado de la mejor manera para el desarrollo y culminación del presente trabajo.

**Carlos Jami**

## DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a aquella persona maravillosa y especial, quien me vio crecer y me ha brindado su apoyo incondicional en cada decisión tomada, la que ha estado tan pendiente de mi sin importar cada sacrificio hecho y la que supo inculcarme con amor y ejemplo los valores para ser una persona de bien y sobre todo perseverante y luchadora, esto va por y para ti mamita Hilda.

A mi angelito máspreciado que tengo en el cielo, quien me guía y no me deja caer en las circunstancias más duras de la vida, papito Carlitos, esto va por ti.

A esas dos personitas que son mi fortaleza y por las que no me importaría hacer miles de sacrificios con tal de verlas felices, a mis ñañitas del alma Lisseth y Doménica.

A mis abuelitos Juan, Elena, Nicolás y Cleotilde por brindarme tanto afecto y cariño incondicional gran parte de este sueño cumplido es por y para ellos

A mis tíos y primos por todos los consejos brindados para ser una persona con sueños y metas en la vida, en especial a Ramiro y Silvia por brindarme el cariño y la confianza de un segundo hogar. A Juan Carlos y Mercedes a los cuales les estoy eternamente agradecido por tanta estima y apoyo incondicional.

**Carlos Jami**

## INDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1. EL PROBLEMA .....	2
2.1.1. Situación problemática .....	2
2.1.2. Formulación del problema.....	2
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	2
2.3. BENEFICIARIOS.....	3
2.4. JUSTIFICACIÓN .....	3
2.5. HIPÓTESIS.....	3
2.6. OBJETIVOS .....	4
2.6.1. Objetivo general .....	4
2.6.2. Objetivos específicos.....	4
2.7. SISTEMA DE TAREAS.....	4
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
3.1. ANTECEDENTES .....	5
3.2. TRANSFORMADORES .....	7
3.2.1. Aplicaciones .....	7
3.2.2. Principios de funcionamiento .....	8
3.3. AUTOTRANSFORMADORES .....	10
3.3.1. Funcionamiento de autotransformadores.....	11
3.3.2. Tipos de construcción de un autotransformador.....	11
3.3.3. Aplicaciones de autotransformadores.....	12
3.3.4. Autotransformador reductor .....	12
3.3.5. Autotransformador elevador.....	13
3.3.6. Dimensionamiento de un autotransformador .....	13
3.4. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN .....	20



3.4.1.	Cortacircuitos fusibles de baja tensión .....	20
3.4.2.	Interruptores magneto-térmicos.....	20
3.4.3.	Interruptores de potencia con unidades de disparo.....	22
3.4.4.	Relé de Estado sólido Fotek SSR-40 DA 380V (3-32VDC).....	23
3.5.	ARDUINO UNO .....	24
3.6.	SENSOR DE VOLTAJE AC ZMPT101B .....	24
3.6.1.	Características.....	25
3.7.	SENSOR DE CORRIENTE ACS712 20A DC y AC.....	26
3.7.1.	Características.....	26
3.8.	PANTALLA LCD 1602 LUZ AZUL .....	27
3.8.1.	Características.....	27
3.9.	CONTROL DE TENSIÓN .....	28
3.9.1.	Importancia de los reguladores de tensión .....	28
3.9.2.	Métodos de control de tensión.....	28
3.9.3.	Reguladores de tensión trifásicos .....	29
3.9.4.	Reguladores de tensión monofásicos.....	29
3.9.5.	Tipos de reguladores.....	29
3.10.	NORMAS DE SEGURIDAD Y DE MANEJO.....	30
3.11.	PRUEBAS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA .....	32
3.11.1.	Prueba EMC .....	32
3.11.2.	Pruebas LVD .....	34
3.12.	PRUEBAS ELÉCTRICAS EN AUTOTRANSFORMADORES.....	40
3.12.1.	Prueba de medición de resistencia.....	40
3.12.2.	Prueba de relación de transformación .....	41
3.12.3.	Prueba de vacío.....	41
3.12.4.	Prueba de cortocircuito.....	42
3.12.5.	Prueba de aumento de temperatura.....	43

3.12.6.	Pruebas de impulso.....	44
3.12.7.	Prueba de sonido audible.....	44
4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	45
4.1.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	45
4.1.1.	Método analítico sintético. ....	45
4.1.2.	Método inductivo.....	45
4.1.3.	Observación. ....	45
4.1.4.	Experimentación.....	45
4.2.	MATERIALES E INSTRUMENTOS .....	46
4.2.1.	Especificaciones y requisitos del prototipo .....	46
4.2.2.	Cálculo de potencia para el dimensionamiento del autotransformador .....	47
4.2.2.1.	Detalles generales de las cargas a alimentar .....	47
4.2.3.	Dimensionamiento del autotransformador.....	47
4.2.3.1.	Sección del núcleo: .....	47
4.2.3.2.	Cálculo de pérdidas.....	47
4.2.3.3.	Número de espiras de la bobina común (Nebp).....	48
4.2.3.4.	Número de espiras de la bobina serie (Neps).....	48
4.2.3.5.	Cálculo de la relación de transformación.....	48
4.2.3.6.	Cálculo de las intensidades .....	49
4.2.3.7.	Cálculo de la sección del conductor.....	49
4.2.3.8.	Cálculo de protecciones .....	49
4.2.4.	Selección del autotransformador .....	49
4.2.5.	Selección del sistema de control para la regulación de voltaje automático .....	50
4.2.5.1.	Selección del software de control .....	58
4.2.5.2.	Selección de la fuente de alimentación para el sistema de control .....	58
4.2.5.3.	Selección del sistema para la visualización de parámetros.....	59
4.2.5.4.	Selección del sistema para el censo de voltaje de entrada y salida.....	59

4.2.5.5.	Selección del sistema para el censo de corriente de salida .....	59
4.2.5.6.	Selección del interruptor de potencia.....	60
4.2.5.7.	Selección del sistema de alarma .....	60
4.2.5.8.	Diagrama de flujo para el control automático del voltaje.....	60
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	61
5.1.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	61
5.1.1.	Montaje del autotransformador con los elementos constitutivos de la parte de potencia.62	
5.1.2.	Montaje del sistema de control.....	65
5.1.3.	Montaje de la fuente de alimentación AC/DC .....	66
5.1.4.	Montaje del sistema para la regulación de voltaje automática conjuntamente con el autotransformador .....	67
5.2.	VALIDACION DEL PROTOTIPO.....	68
5.2.1.	CONDICIONES GENERALES .....	68
5.2.2.	PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	69
5.2.3.	PRUEBAS CON AMPLIFICADORES DE AUDIO.....	105
5.2.4.	EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	112
5.2.5.	ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTROS REGULADORES DE VOLTAJE	
	115	
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
6.1.	CONCLUSIONES .....	116
6.2.	RECOMENDACIONES.....	117
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	118
8.	ANEXOS.....	124
	Anexo A: Especificaciones del relé de estado sólido SSR-40 DA.....	124
	Anexo B: Especificaciones técnicas de Arduino UNO .....	125
	Anexo C: Diagrama de conexión de los relés de estado sólido conjuntamente con las salidas del autotransformador) .....	126

Anexo D: Propiedades de los sensores para PLC logo.....	128
Anexo E: Precios de PLC de gamas bajas y medias con software .....	128
Anexo F: Precio de microcontroladores Arduino UNO y sensores de diferentes gamas.....	129
SENSOR DE VOLTAJE AC ZMPT101B .....	129
Anexo G: Diagrama de flujo para el control automático de voltaje .....	130
Anexo H: Código para el control automático del voltaje en el software Arduino UNO.....	131
Anexo I: Montaje previo del autotransformador con los elementos constitutivos de la parte de potencia.....	135
Anexo J: Elementos utilizados en el montaje de la parte de potencia del prototipo .....	137
Anexo K: Esquema de conexión del sistema de control .....	138
Anexo L: Elementos utilizados para el montaje del sistema de control automático .....	139
Anexo M: Esquema eléctrico de referencia de conexión del prototipo.....	140
Anexo N: Planos constructivos dibujados en el software AutoCAD del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas.....	143
Anexo O: Caídas de tensión a diferentes distancias de conexión desde el prototipo a la carga .....	146
Anexo P: Especificaciones técnicas de los amplificadores audio .....	147
Anexo Q: Ensayo de cortocircuito del autotransformador .....	147
Anexo R: Ensayo en vacío del autotransformador .....	148
Anexo S: Ensayo de campo electromagnético .....	149
Anexo T: Ensayo de sonido audible .....	149
Anexo U: Ensayo de verificación de parámetros iniciales .....	150
Anexo V: Resultados obtenidos en las pruebas con diferentes tipos de carga a niveles de voltaje distintos.....	151
Anexo W: Resultados obtenidos de las pruebas con equipos amplificadores de audio .....	157
Anexo X: Montaje del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas .....	159
Anexo Y: Manual de usuario del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas .....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Principio de un transformador [6].	7
Figura 3.2. Circuito magnético del transformador [1].	9
Figura 3.3. Autotransformador monofásico [6].	10
Figura 3.4. Autotransformador reductor [12].	13
Figura 3.5 Autotransformador elevador [12].	13
Figura 3.6. Sección del núcleo [14].	13
Figura 3.7. Conexión de los bobinados de un transformador a) Conexión de manera convencional b) Conexión como autotransformador [15].	15
Figura 3.8. Interruptores magneto-térmicos [18].	21
Figura 3.9. Interruptor magneto-térmico [18].	22
Figura 3.10. Relé de estado sólido [1].	23
Figura 3.11. Placa Arduino UNO [21].	24
Figura 3.12. Sensor de Voltaje AC ZMPT101B [23].	25
Figura 3.13. Esquema del sensor de voltaje [24].	26
Figura 3.14. Sensor de corriente y conexión en Arduino UNO [23].	26
Figura 3.15. Display LCD [23].	27
Figura 3.16. Señalética de peligro de riesgo eléctrico [23].	31
Figura 3.17. Pinza amperimétrica [37].	36
Figura 3.18. Configuración para la prueba en vacío en autotransformador [43].	42
Figura 3.19. Configuración para la prueba de cortocircuito en autotransformador [43].	43
Figura 4.1. Partes de PLC Logo [47].	52
Figura 4.2. Placa Arduino uno [21].	54
Figura 5.1. Ubicación de los elementos de la parte de potencia y control.	62
Figura 5.2. Conexión del autotransformador.	63
Figura 5.3. Conexión de los interruptores y alimentación de la unidad de control.	63
Figura 5.4. Conexión de los relés con las salidas del autotransformador.	64
Figura 5.5. Guía de conexión de los tomacorrientes dúplex [58].	64
Figura 5.6. Conexión de los tomacorrientes dúplex.	65
Figura 5.7. Partes del sistema de control.	66
Figura 5.8. Disposición de los anillos de ferrita.	66
Figura 5.9. Fuente de alimentación para la unidad de control.	67
Figura 5.10. Resumen de pruebas en cargas capacitivas.	95

Figura 5.11. Resumen general de las pruebas inductivas, capacitivas y resistivas. ....	105
Figura A.1. Especificaciones del relé de estado sólido SSR-40 DA [19]. ....	124
Figura B.1. Especificaciones técnicas de Arduino UNO [21]. ....	125
Figura D.1. Propiedades que deben cumplir los sensores para PLC logo [47]. ....	128
Figura G.1. Diagrama de flujo para el control automático de voltaje. ....	130
Figura I.1 Diagrama de conexión del autotransformador con los elementos constitutivos de la parte de potencia. ....	136
Figura K.1. Diagrama de conexión del sistema de control de regulación automática. ....	138
Figura M.1. Plano de referencia de conexión del prototipo. ....	141
Figura N.1. Ilustración del prototipo automático para la regulación de voltaje en cargas. ....	144
Figura O.2. Prototipo automático para la regulación de voltaje en cargas. ....	145
Figura Q.1. Conexión para la prueba de cortocircuito del autotransformador. ....	147
Figura R.1. Conexión para la prueba en vacío del autotransformador ....	148
Figura T.1. Medición de ruido a una distancia de 0.17 m. ....	149
Figura T.2. Medición de ruido a una distancia de 0.25 m. ....	150
Figura U.1. Valores de voltaje de entrada y salida obtenidos con los voltímetros. ....	150
Figura U.2. Valores de voltaje de entrada, salida, corriente y potencia de salida en el prototipo. ....	150
Figura V.1. Equipo para realizar las diferentes pruebas al prototipo. ....	151
Figura V.2. Cargas de tipo resistivo. ....	151
Figura X.3. Cargas de tipo inductivo. ....	153
Figura Y.1. Descripción de los valores mostrados en el display del prototipo. ....	163
Figura Y.2. Descripción de la vista frontal y posterior del prototipo ....	164

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.Sistema de tareas .....	4
Tabla 3.1. Conductores eléctricos [16]......	19
Tabla 3.2. Niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz [34]......	34
Tabla 3.3. Tensión de prueba y valores de aislamiento mínimos recomendados [39]......	38
Tabla 3.4. Significado de la primera cifra característica [40]. .....	38
Tabla 3.5. Significado de la segunda cifra característica [40]......	39
Tabla 3.6. Valores aceptables de pérdidas de potencia en vacío en autotransformadores [42]. .....	42
Tabla 3.7. Valores aceptables de pérdidas de potencia en cortocircuito en autotransformadores [42]......	43
Tabla 3.8. Valores aceptables de ruido [42]. .....	44
Tabla 4.1. Características de diferentes modelos de autotransformadores [45], [46]. .....	50
Tabla 4.2. vida útil de algunos modelos de PLC [48]. .....	53
Tabla 4.2. Características de Arduino UNO VS PLC logo [20], [47], [49], [50], [51] [56]. ...	58
Tabla 5.1. Datos iniciales de prueba.....	69
Tabla 5.2. Equipo utilizado para la prueba.....	69
Tabla 5.3. Resumen de la prueba realizada. ....	70
Tabla 5.4. Datos iniciales de prueba.....	70
Tabla 5.5. Equipo utilizado para la prueba.....	71
Tabla 5.6. Resumen de la prueba realizada. ....	71
Tabla 5.7. Datos iniciales de prueba.....	72
Tabla 5.8. Equipo utilizado para las pruebas.....	72
Tabla 5.9. Resumen de la prueba realizada. ....	72
Tabla 5.10. Datos iniciales de prueba.....	73
Tabla 5.11. Equipo utilizado para las pruebas.....	73
Tabla 5.12. Resumen de la prueba realizada. ....	74
Tabla 5.13. Datos iniciales de prueba.....	74
Tabla 5.14. Equipo utilizado para las pruebas.....	74
Tabla 5.15. Datos iniciales de prueba.....	75
Tabla 5.16. Equipo utilizado para las pruebas.....	75
Tabla 5.17. Resumen de la prueba de medición de voltaje de entrada realizada. ....	75

Tabla 5.18. Resumen de la prueba de medición de voltaje de salida realizada. ....	75
Tabla 5.19. Resumen de la prueba de medición de corriente de salida realizada. ....	76
Tabla 5.20. Resumen de la prueba de medición de potencia de salida realizada. ....	76
Tabla 5.21. Datos iniciales de prueba.....	76
Tabla 5.22. Equipo utilizado para las pruebas.....	76
Tabla 5.23. Resumen de la prueba realizada. ....	77
Tabla 5.24. Datos iniciales de prueba.....	77
Tabla 5.25. Equipo utilizado para las pruebas.....	78
Tabla 5.26. Resumen de la prueba realizada. ....	79
Tabla 5.27. Datos iniciales de prueba.....	79
Tabla 5.28. Equipo utilizado para las pruebas.....	79
Tabla 5.29. Resumen de la prueba realizada. ....	80
Tabla 5.30. Datos iniciales de prueba.....	80
Tabla 5.31. Equipo utilizado para las pruebas.....	81
Tabla 5.32. Resumen de la prueba realizada. ....	82
Tabla 5.33. Datos iniciales de prueba.....	82
Tabla 5.34. Equipo utilizado para las pruebas.....	82
Tabla 5.35. Resumen de la prueba realizada. ....	83
Tabla 5.36. Datos iniciales de prueba.....	83
Tabla 5.37. Equipo utilizado para las pruebas.....	84
Tabla 5.38. Resumen de la prueba realizada. ....	85
Tabla 5.39. Datos iniciales de prueba.....	85
Tabla 5.40. Equipo utilizado para las pruebas.....	85
Tabla 5.41. Resumen de la prueba realizada. ....	86
Tabla 5.42. Datos iniciales de prueba.....	87
Tabla 5.43. Equipo utilizado para las pruebas.....	87
Tabla 5.44. Resumen de la prueba realizada. ....	88
Tabla 5.45. Datos iniciales de prueba.....	88
Tabla 5.46. Equipo utilizado para las pruebas.....	89
Tabla 5.47. Resumen de la prueba realizada. ....	90
Tabla 5.48. Datos iniciales de prueba.....	90
Tabla 5.49. Equipo utilizado para las pruebas.....	90
Tabla 5.50. Resumen de la prueba realizada. ....	91



Tabla 5.51. Datos iniciales de prueba.....	92
Tabla 5.52. Equipo utilizado para las pruebas.....	92
Tabla 5.53. Resumen de la prueba realizada. ....	93
Tabla 5.54. Datos iniciales de prueba.....	93
Tabla 5.55. Equipo utilizado para las pruebas.....	93
Tabla 5.56. Resumen de la prueba realizada. ....	94
Tabla 5.57. Resumen de la prueba realizada. ....	95
Tabla 5.58. Datos iniciales de prueba.....	95
Tabla 5.59. Equipo utilizado para las pruebas.....	95
Tabla 5.60. Resumen de la prueba realizada. ....	96
Tabla 5.61. Datos iniciales de prueba.....	97
Tabla 5.62. Equipo utilizado para las pruebas.....	97
Tabla 5.63. Resumen de la prueba realizada. ....	98
Tabla 5.64. Datos iniciales de prueba.....	98
Tabla 5.65. Equipo utilizado para las pruebas.....	99
Tabla 5.66. Resumen de la prueba realizada. ....	99
Tabla 5.67. Datos iniciales de prueba.....	100
Tabla 5.68. Equipo utilizado para las pruebas.....	100
Tabla 5.69. Resumen de la prueba realizada. ....	101
Tabla 5.70. Datos iniciales de prueba.....	101
Tabla 5.71. Equipo utilizado para las pruebas.....	102
Tabla 5.72. Resumen de la prueba realizada. ....	103
Tabla 5.73. Datos iniciales de prueba.....	103
Tabla 5.74. Equipo utilizado para las pruebas.....	103
Tabla 5.75. Resumen de la prueba realizada. ....	104
Tabla 5.76. Resumen general de las pruebas inductivas, capacitivas y resistivas.....	105
Tabla 5.77. Datos iniciales de prueba.....	105
Tabla 5.78. Equipo utilizado para las pruebas.....	105
Tabla 5.79. Resumen de la prueba realizada. ....	108
Tabla 5.80. Datos iniciales de prueba.....	109
Tabla 5.81. Equipo utilizado para las pruebas.....	109
Tabla 5.82. Resumen de la prueba realizada. ....	110
Tabla 5.83. Datos iniciales de prueba.....	110

Tabla 5.84. Equipo utilizado para las pruebas.....	111
Tabla 5.85. Resumen de la prueba realizada. ....	112
Tabla 5.86. Detalle de precios de los elementos utilizados para la construcción del prototipo. .....	113
Tabla 5.87. Detalle de precios de los elementos utilizados para la construcción del prototipo. .....	113
Tabla 5.88. Datos para el cálculo del VAN, TIR, PRI, B/C.....	114
Tabla 5.89. Cálculo del VAN, TIR, PRI, B/C. ....	114
Tabla 5.89. Tabla comparativa con diferentes reguladores de voltaje [59] [60] [61]. ....	115
Tabla E.1. Tabla de precios de diferentes PLC logo [62].....	128
Tabla F.1. Tabla de precios de diferentes microcontroladores y sensores [63].....	129
Tabla J.1 Elementos utilizados para el montaje de la parte de potencia del prototipo .....	137
Tabla L.1. Elementos utilizados para el montaje del sistema de control.....	139
Tabla O.1. Conductividad de varios materiales [64]. ....	146
Tabla O.2. Caídas de tensión a diferentes distancias.....	146
Tabla P.1. Especificaciones técnicas de los equipos de audio utilizados en las pruebas de funcionamiento del prototipo de control automático de voltaje [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71], [72].....	147
Tabla Q.1. Valores mostrados en la prueba de cortocircuito.....	148
Tabla S.1. Valores obtenidos en el ensayo de campo electromagnético a diferentes distancias. .....	149
Tabla V.1. Resultados obtenidos con carga resistiva mínima, voltaje nominal de entrada....	151
Tabla V.2. Resultados obtenidos con carga resistiva mínima, voltaje nominal de entrada....	152
Tabla V.3. Resultados obtenidos con carga resistiva mínima, voltaje máximo de entrada....	152
Tabla V.4. Resultados obtenidos con carga resistiva máxima, voltaje máximo de entrada ...	152
Tabla V.5. Resultados obtenidos con carga resistiva mínima, voltaje mínimo de entrada. ...	153
Tabla V.6. Resultados obtenidos con carga resistiva máxima, voltaje mínimo de entrada....	153
Tabla V.7. Resultados obtenidos con carga capacitiva mínima, voltaje nominal de entrada. ....	153
Tabla V.8. Resultados obtenidos con carga capacitiva máxima, voltaje nominal de entrada. ....	154
Tabla V.9. Resultados obtenidos con carga capacitiva mínima, voltaje máximo de entrada. ....	154
Tabla V.10. Resultados obtenidos con carga capacitiva máxima, voltaje máximo de entrada. .....	154
Tabla V.11. Resultados obtenidos con carga capacitiva mínima, voltaje mínimo de entrada.	

.....	154
Tabla V.12. Resultados obtenidos con carga capacitiva máxima, voltaje mínimo de entrada.	
.....	155
Tabla V.13. Resultados obtenidos con carga inductiva máxima, voltaje nominal de entrada.	
.....	155
Tabla V.14. Resultados obtenidos con carga inductiva máxima, voltaje nominal de entrada.	
.....	155
Tabla V.15. Resultados obtenidos con carga inductiva mínima, voltaje máximo de entrada.	155
Tabla V.16. Resultados obtenidos con carga inductiva máxima, voltaje máximo de entrada.	
.....	156
Tabla V.17. Resultados obtenidos con carga inductiva mínima, voltaje mínimo de entrada.	156
Tabla V.18. Resultados obtenidos con carga inductiva máxima, voltaje mínimo de entrada.	156
Tabla W.1. Equipo utilizado para la prueba. ....	157
Tabla W.2. Valores obtenidos en diferentes tiempos de prueba. ....	157
Tabla W.3. Valores obtenidos en la prueba de variación del voltaje de entrada. ....	157
Tabla W.4. Valores obtenidos en la prueba a diferentes distancias del prototipo. ....	158
Tabla X.1. Construcción del prototipo. ....	159

**TÍTULO:** “Construcción de un prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas”

**Autor:** Jami Aymacaña Carlos Efrén

## **RESUMEN**

El voltaje es un parámetro importante para el funcionamiento correcto de las cargas, un correcto desempeño de cualquier carga está condicionado a un buen nivel de voltaje. Por el contrario, un bajo nivel de voltaje genera problemas como disminución de la vida útil, mal funcionamiento entre otros problemas. Se puede identificar varios sectores donde se presenta este problema, uno de ellos es la industria musical, donde principalmente está dirigido el presente proyecto. En este sentido, existen diversos equipos utilizados en esta área, entre los cuales se tiene los amplificadores de audio, los cuales demandan un buen nivel de voltaje. Por tal razón, se ha visto la necesidad de contar con equipo que sea capaz de regular el nivel de tensión. Es por ello, que, en esta propuesta tecnológica, se presenta la construcción de un prototipo automático para la regulación de voltaje, en base al cálculo de parámetros de dimensionamiento se adquirió el autotransformador idóneo, además mediante búsqueda bibliográfica de trabajos relacionados dentro de la temática de sistemas de control se estableció al controlador Arduino UNO para su utilización. Para la regulación automática, se estableció un rango de voltaje predeterminado. Se realizaron pruebas de funcionamiento tanto al autotransformador como al prototipo, para este último se lo realizó sobre cargas inductivas, capacitivas, resistivas y con equipos amplificadores de audio, lo cual es el principal objetivo del presente trabajo. Las diferentes pruebas a las que fue sometido el prototipo, están en función a la normativa existente. El prototipo construido presentó los resultados esperados, cumpliendo así con los objetivos planteados en la presente propuesta tecnológica.

**Palabras clave:** Cargas, voltaje, industria, musical, Arduino UNO, regulación, amplificadores.

**TITLE:** "Construction of an automatic prototype to regulate the level of tension in charges"

**Author:** Jami Aymacaña Carlos Efrén

### **ABSTRACT**

The voltage is an important parameter for the correct operation of the charges, a correct performance of any charge is conditioned to a good voltage level. On the contrary, a low voltage level generates problems such as a decrease in useful life, malfunction among other problems. Several sectors can be identified where this problem occurs, one of them is the music industry, where this project is mainly directed. In this sense, there are various equipment used in this area, including audio amplifiers, which demand a good voltage level. For this reason, the need has been seen to have equipment that is capable of regulating the level of tension. That is why, in this technological proposal, the construction of an automatic prototype for voltage regulation is presented, based on the calculation of dimensioning parameters, the ideal autotransformer was acquired, also through a bibliographic search of related works within the subject control systems was set to the Arduino UNO controller for use. For automatic regulation, a predetermined voltage range was set. Functional tests were carried out on both the autotransformer and the prototype, for the latter it was carried out on inductive, capacitive, resistive charges and with audio amplifying equipment, which is the main objective of this work. The different tests to which the prototype was subjected are based on the existing regulations. The prototype built presented the expected results, thus fulfilling the objectives set out in this technological proposal.

**Keywords:** Charges, voltage, industry, musical, Arduino UNO, regulation, amplifiers.

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés cuyo título versa: **“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMÁTICO PARA REGULAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS”**, presentado por: **Jami Aymacaña Carlos Efrén**, egresados de la Carrera de **Ingeniería Eléctrica**, pertenecientes a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuando puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, agosto del 2021.

Atentamente,



Lic. Edison Marcelo Pacheco Pruna Mg.  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
C.C. 0502617350



CENTRO  
DE IDIOMAS

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:** Construcción de un prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas.

**Fecha de inicio:** 21/04/2021.

**Fecha de finalización:** 02/08/2021.

**Lugar de ejecución:**

Cantón Latacunga, Parroquia Guaytacama Barrio Cuicuno.

**Facultad que auspicia:**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA).

**Carrera que auspicia:**

Carrera en Electricidad.

**Proyecto vinculado a:** Análisis crítico de sistemas eléctricos residenciales, comerciales e industriales.

**Equipo de trabajo:**

**Tutor:** Ing. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón MSc.

**Estudiante:** Jami Aymacaña Carlos Efrén.

**Área de conocimiento:**

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines/ 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:**

Explotación y Diseño de Sistemas Eléctricos de Potencia, control y optimización en el uso de la energía del sector industrial, comercial y residencial.

**Sub-líneas de investigación de la carrera:**

Diseño de redes y explotación de sistemas eléctricos de potencia, Electrónica aplicada.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. EL PROBLEMA**

La necesidad de regular el nivel de voltaje para ciertos tipos de cargas es un tema de mucha importancia a nivel práctico y profesional. Un bajo nivel de tensión provoca un mal funcionamiento de cualquier tipo de carga lo cual induce un grado de satisfacción bajo por parte de los usuarios. Adicionalmente, pueden existir daños en aparatos eléctricos ligados a un bajo nivel de tensión acarreado problemas como una disminución de la vida útil de los mismos.

#### **2.1.1. Situación problemática**

Para el desempeño correcto de algún tipo de carga es fundamental contar con un buen nivel de tensión acorde a las necesidades para el funcionamiento de cada una. Existen diferentes tipos de cargas cuya principal fuente de energía es la eléctrica, como por ejemplo la luminosa (lámparas), mecánicas (motores), campo eléctrico (capacitores), acústica (altavoces).

En el ámbito de la industria musical, principalmente en el área de los transductores acústicos (altavoces) y amplificadores de audio, un mal funcionamiento de estos aparatos provoca algunas afectaciones a la salud como por ejemplo pérdidas del nivel de audición, además de los daños en los equipos mencionados anteriormente.

Se debe acotar que para lugares donde hay un déficit de energía eléctrica se puede utilizar grupos electrógeno, sin embargo, debido a su elevado costo adquisitivo, su uso está severamente limitado.

#### **2.1.2. Formulación del problema**

Un nivel bajo de voltaje suministrado a diferentes tipos de cargas ocasiona un mal funcionamiento en los aparatos eléctricos y disminución de su vida útil.

## **2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

Construir un prototipo automático que mejore el funcionamiento, desempeño y vida útil de diferentes cargas, mediante la regulación del nivel de voltaje debido a los bajos niveles de tensión que se presentan en diversas situaciones. La verificación se realizará mediante pruebas prácticas en diferentes cargas para luego direccionarlo a amplificadores de audio.



### **2.3. BENEFICIARIOS**

Los beneficiarios directos:

Son las personas que sus actividades estén relacionadas con el uso de cargas que demanden un nivel de tensión óptimo. En este caso será el propietario de los equipos de audio denominado “Charly Sonido” ubicado en la parroquia Guaytacama barrio Cuicuno.

Los beneficiarios indirectos:

Son los diferentes usuarios de los lugares donde se requiera un nivel óptimo de energía para el funcionamiento de sus aparatos eléctricos.

### **2.4. JUSTIFICACIÓN**

Con el pasar de los años el nivel de tensión suministrado a diferentes cargas y aparatos se ha convertido en un tema de estudio de gran impacto debido a que los estándares de calidad se tornan temas de vital importancia, por otra parte, el nivel de vida útil de los aparatos depende en gran parte de un buen nivel de tensión suministrados a estos; añadiendo también que el mal funcionamiento de ciertos aparatos ocasiona afectaciones a la salud. En situaciones en donde el nivel de tensión es bajo, es indispensable un dispositivo capaz de suplir esa carencia.

En el presente trabajo se pretende suplir esa carencia de voltaje y mantenerlo en un nivel óptimo en un escenario donde el nivel de tensión no es el adecuado para los requerimientos del aparato a utilizar. Con esto se logrará la regulación de tensión y con ello un funcionamiento adecuado de las cargas conectadas.

Para tal propósito se implementará un prototipo automático a través de la adecuación de un autotransformador conjuntamente con otros tipos de elementos (tomacorrientes, conectores, voltímetros, etc.) así como también elementos electrónicos (sensores, relés de estado sólido, etc.) necesarios para la conexión adecuada de los diferentes aparatos a energizar de manera automática. Previo a esto se realizará el dimensionamiento respectivo de acuerdo a la demanda que se requiera, para finalmente realizar algunas mediciones eléctricas y así verificar su desempeño en diferentes cargas principalmente sobre amplificadores de audio.

### **2.5. HIPÓTESIS**

Es posible construir un prototipo automático para regular el nivel de tensión a partir de la adecuación de un autotransformador y un sistema de control de bajo costo, el cual mejorará el desempeño de diferentes cargas.

## 2.6. OBJETIVOS

### 2.6.1. Objetivo general

- Implementar un prototipo automático para regular el nivel de tensión mediante la adaptación de un autotransformador para el funcionamiento óptimo de diferentes cargas.

### 2.6.2. Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica referente a estudios realizados para regular el nivel de tensión a través de la adaptación de autotransformadores.
- Construir un prototipo para regular el nivel de tensión mediante el dimensionamiento y selección de un autotransformador y sus demás elementos conjuntamente con la elaboración previa de su diagrama de conexión.
- Realizar diferentes tipos de pruebas y mediciones eléctricas con diferentes tipos de cargas acorde a la normativa, para luego comparar los resultados obtenidos y realizar las respectivas adecuaciones hasta conseguir un desempeño óptimo.

## 2.7. SISTEMA DE TAREAS

**Tabla 2.1.**Sistema de tareas

Objetivos	Tareas	Resultados esperados	Técnicas, Medios o instrumentos
Realizar una búsqueda bibliográfica referente a estudios realizados para regular el nivel de tensión a través de la adaptación de autotransformadores.	- Lectura de documentos e investigaciones relacionadas a estudios para regular el voltaje en bibliotecas virtuales de relevancia académica.	- Obtención de información relevante necesaria para realizar el análisis del marco teórico.	- Bases de datos de búsqueda de artículos científicos.
Construir un prototipo para regular el nivel de tensión mediante el dimensionamiento y selección de un autotransformador y sus demás elementos conjuntamente con la elaboración previa de su diagrama de conexión.	- Cálculo de parámetros para el dimensionamiento del autotransformador - Selección y adquisición del autotransformador y elementos adicionales para la construcción del prototipo. -Búsqueda bibliográfica referente a normas que servirán como guía para un correcto ensamblaje del prototipo -Elaboración del diagrama de conexión mediante un software adecuado. -Construcción del prototipo.	- Valores de potencia, bobinado, intensidad máxima, entre otros para el dimensionamiento correcto del prototipo - Autotransformador, sistema de control y elementos complementarios adecuados para el ensamblaje. - Normas para la construcción del prototipo. - Planos de ensamblaje y de control del prototipo realizado en AutoCAD y Fritzing. - Prototipo automático regulador de tensión.	- Fórmulas matemáticas para el dimensionamiento del autotransformador. - Bases de datos de búsqueda bibliográfica. - AutoCAD - Fritzing
- Realizar diferentes tipos de pruebas y mediciones eléctricas con diferentes tipos de cargas acorde a la normativa, para luego comparar los resultados obtenidos y realizar las respectivas adecuaciones hasta conseguir un desempeño óptimo.	- Búsqueda bibliográfica de normativa para la realización de pruebas a autotransformadores y equipos reguladores de voltaje. - Selección y ejecución de pruebas a realizarse al autotransformador y al prototipo. - Análisis del desempeño y adecuaciones técnicas necesarias del prototipo hasta conseguir su correcto funcionamiento.	- Normativa de pruebas de funcionamiento a las cuales son sometidos los autotransformadores y equipos reguladores de voltaje - Registro de los resultados obtenidos al someter el autotransformador y el prototipo a las diferentes pruebas ejecutadas. - Prototipo regulador de tensión con un desempeño óptimo y acorde a las necesidades de uso.	- Bases de datos de búsqueda bibliográfica. - Laboratorio de alta tensión de la Universidad Técnica de Cotopaxi. - Voltímetros - Amperímetros - Medidor de campos electromagnéticos - Variac - Cargas inductivas, capacitivas, resistivas y equipos amplificadores de audio

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

Con el pasar de los años la necesidad de mantener un nivel de tensión adecuado en la carga se ha convertido en un tema de mucha importancia ya que con esto se garantiza un buen funcionamiento de diferentes aparatos.

En 2010, Camacho [1] propone el diseño y la construcción de una fuente variable de voltaje monofásica de 5 KVA-220V, de 0 a 440 V con mando local y remoto el cual se direcciona hacia un enfoque relacionado a los objetivos de la propuesta tecnológica a ser realizada, además con el objetivo de innovar el manejo de las pruebas con esta fuente variable implementó un mando remoto mediante una computadora que constituye una herramienta útil y necesaria en la actualidad, brindando así la seguridad de efectuar una prueba a distancia protegiendo completamente al operador. En su proyecto detalla los principios del funcionamiento de una fuente variable de voltaje, transformador y autotransformador, además de las características específicas de todos los elementos que constituyen una fuente variable de voltaje, como también los cálculos matemáticos efectuados para realizar un diseño eficaz y eficiente, así como el acoplamiento y conexiones de los mismos mediante planos eléctricos detallados, diseñados con el objetivo de su fácil interpretación y lectura. Una parte muy importante del presente proyecto es la implementación a la par con un software HMI dándole un cierto grado de innovación acorde al uso que se le va a dar, además dándole una mayor versatilidad al momento de ponerlo en funcionamiento.

En el año 2011, Rengifo & Álvarez [2] en su investigación argumentaron que el principio de un transformador se basa en una de las leyes universales del electromagnetismo, el hecho de que todo flujo magnético variable en el tiempo que atraviese una espira o bobina de alambre va a inducir un voltaje en la misma, y como consecuencia de su investigación indican que por imantación mutua, una potencia eléctrica alterna pasa de un circuito llamado primario a otro secundario, es así que un transformador puede ser considerado como el grupo de dos arrollamientos o grupo de arrollamientos, eléctricamente independientes y acoplados entre sí por medio de un circuito magnético. Evidentemente esta investigación proporciona las directrices necesarias y muy importantes en cuanto a lo que refiere el tema de autotransformadores y su proceso de dimensionamiento, que serán tomados como base para la propuesta tecnológica a ser desarrollada.

Un estudio reciente, realizado en el año 2018, Aquino & Zúñiga [3] en su trabajo de investigación explican el procedimiento para el Diseño y Construcción de un Transformador Monofásico de Distribución 15KVA tipo tanque para el laboratorio de alta tensión de la UPS – GYE, además con la combinación de estándares vigentes y varias especificaciones técnicas y eléctricas para el funcionamiento de transformadores detallan los cálculos eléctricos, características eléctricas de la materia prima, dimensionamiento de los devanados y núcleo para conformar la parte activa. Los datos más importantes para el diseño y montaje de un transformador son el voltaje primario, voltaje secundario, capacidad en KVA, derivaciones en el lado primario de la relación de transformación. Las demás características eléctricas como también mecánicas ya están definidas acorde a estándares de potencia y clase de los transformadores en las distintas normas INEN Y MEER. Los autores también hacen énfasis al uso de un transformador de tipo acero y en los detalles de pérdidas por kilo, es decir mientras el acero sea de menor calidad va a ver mayor factor de pérdida por kilo. Es de vital importancia realizar un diseño de un núcleo menos robusto, pero con mayores números de espiras en bobinado, para de esta manera cumpla con las normas vigentes establecidas. Este trabajo servirá principalmente como guía para tomar en cuenta los estándares e instrumentos a ser fijados al construir el prototipo, además servirá de base para los cálculos a realizarse.

Hay que tener en cuenta las diversas aplicaciones de un autotransformador, tal y como lo indicó Gabino [4] en el año 2015, en donde señaló que se utilizan mayormente para la conexión de diferentes tensiones en donde su funcionamiento presenten poca diferencia, por ejemplo de 600v a 400v, además de distribución de electricidad a largas distancias y en aplicaciones de audio, para adaptación de impedancia entre un micrófono de baja impedancia y una entrada del amplificador de alta impedancia.

Los estudios anteriormente mencionados están relacionados y enmarcados mayormente con la investigación a realizarse, los cuales servirán como guía principal para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto, adicionalmente se indican a continuación investigaciones y proyectos desarrollados, los cuales servirán como insumos adicionales para temas específicos dentro del marco de desarrollo de la investigación.

Adicionalmente, existen otros estudios relacionados al tema propuesto, entre ellos se puede mencionar el estudio realizado en 2016, García, Sellchopp, Vargas [5]. indican el significado de las cargas inductivas resistivas y capacitivas en su estudio denominado impacto de sags de tensión en transformadores trifásicos  $\Delta$ -Y ante diferentes tipos de cargas trifásicas balanceadas,

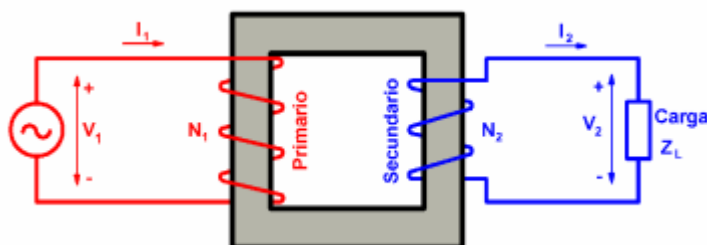
donde la idea principal es que, una carga resistiva a intensidad de corriente está en fase con la tensión, las cargas inductivas su característica principal es la de almacenar y consumir energía eléctrica convirtiéndola en energía magnética, cargas capacitivas donde la intensidad de corriente adelanta a la tensión 90 grados, y las cargas compuestas formadas por una parte resistiva dispuesta con una parte inductiva y/o capacitiva.

### 3.2. TRANSFORMADORES

Un transformador es una máquina estática, cuyo fin es el de aumentar o disminuir el nivel de tensión en un circuito o sistema eléctrico, con la particularidad de mantener el nivel de potencia. Su principio de construcción está basado en la conformación de dos devanados por cuales circula corriente alterna sobre un núcleo magnético, se denomina bobinado primario al bobinado por donde ingresa la energía, y secundario por donde sale la energía. Para denotar el número de vueltas del primario se usa la expresión  $N_1$  y para el secundario  $N_2$  ver (Figura 3.1).

La conformación del circuito magnético se lo hace por un núcleo magnético sin entrehierros, cuya construcción excluye la utilización de hierro macizo, al contrario, se utiliza chapas de acero al silicio configuradas una encima de otra y aisladas entre sí, esto con el fin de disminuir las pérdidas magnéticas [6].

En [7] se explica las generalidades de un transformador la cual nos dice que un transformador en su forma más simple, está constituido por el acoplamiento flujo magnético de dos bobinas estacionarias, es decir de forma mutua, el flujo compartido lo hace con la mayor parte de la misma.



**Figura 3.1.** Principio de un transformador [6].

#### 3.2.1. Aplicaciones

De manera general su uso está direccionado en actividades relacionadas en subestaciones transformadoras, centrales de generación y grandes usuarios, zonas urbanas, edificios, industrias, explotaciones petroleras y toda tarea relacionada al uso intensivo de energía eléctrica.

A continuación, se indica de manera más directa las aplicaciones más representativas [8]:

- Uso industrial
  - Amplitud y frecuencia de entrada fijas.
  - para alimentar cargas de grandes potencias.
- Elementos de circuito
  - Sistemas de acoplamiento de circuitos eléctricos.
  - Sistemas electrónicos.
- Elementos de medida
  - adaptados para la instrumentación requerida [8].

### **3.2.2. Principios de funcionamiento**

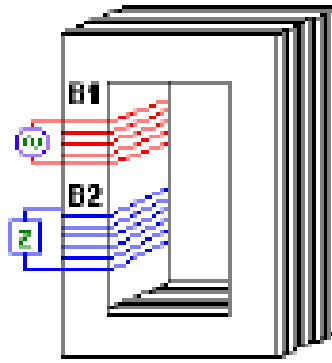
Para su funcionamiento se fundamenta en el fenómeno de la inducción electromagnética, que para entenderlo de mejor manera se resume en las ecuaciones de Maxwell. Se obtiene la inducción de un flujo magnético en un núcleo de hierro al aplicar una fuerza de naturaleza electromotriz a un bobinado primario. De acuerdo a la ley de Faraday hay una existencia de una fuerza electromotriz si el flujo magnético es variable. En consecuencia, hay un fenómeno de acoplamiento entre el primario y secundario.

Se denomina relación de transformación a la relación entre el número de espiras del primario con respecto al secundario [9].

Se produce un flujo cuando al conectar a los terminales de un generador de corriente alterna se produce una corriente variable que atraviesa una inductancia denominada bobina primaria denotada como B1.

Este flujo variable al atravesar una bobina secundaria denominada B2, produce una f.e.m. inducida a un valor de frecuencia igual, siempre y cuando se conecte un receptor Z a los terminales B2. Por tanto, por fenómeno de imantación mutua la potencia eléctrica alterna generada pasa del primario al secundario.

En conclusión, un transformador es una máquina que es considerada como un grupo de dos arrollamientos, acoplados entre sí por medio de un circuito magnético y eléctricamente independientes [1].



**Figura 3.2.** Circuito magnético del transformador [1].

Al considerarse que el flujo magnético sea máximo, el circuito magnético por lo general es de baja reluctancia [1].

$$\phi = \frac{f m m}{\mathfrak{R}} = \frac{Ni}{\frac{1}{\mu_0 \mu} \frac{l}{s}} \quad (3.1)$$

Donde:

$\phi$ =Flujo magnético

$N$ =Número de espiras

$i$ = Corriente de magnetización

$\mu_0$ = Permeabilidad magnética del núcleo en el vacío

$\mu$ =Permeabilidad magnética de núcleo

$l$ = Longitud del circuito magnético

$s$ =Sección del circuito magnético

La reluctancia está definida como la resistencia que presenta un material al paso del flujo magnético por él. Por simple analogía la anterior fórmula es considerada como ley de ohmio para sistemas magnéticos. Una de las propiedades más importantes de un transformador es que la relación de transformación del primario y secundario es sensiblemente igual a la relación entre el número de espiras de los arrollamientos primario y secundario.

$$\frac{N1}{N2} = \frac{e1}{e2} \quad (3.2)$$

Donde:

$N1$ =Número de espiras circuito primario

$N2$ =Número de espiras circuito secundario

$e1$ =Tensión circuito primario

$e2$ =Tensión circuito secundario

La relación entre las corrientes del primario y el secundario es sensiblemente igual a la inversa de la relación de transformación con signo menos.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{i_2}{i_1} \quad (3.3)$$

Donde

$N_1$ =Número de espiras circuito primario

$N_2$ =Número de espiras circuito secundario

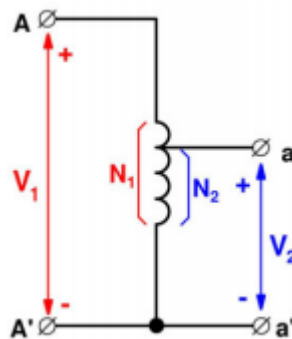
$i_1$ =Corriente circuito primario

$i_2$ =Corriente circuito secundario

### 3.3. AUTOTRANSFORMADORES

Un autotransformador ver (Figura 3.3) es un transformador especial que, para cada fase tiene un solo devanado que actúa a la vez como primario y secundario, al contar con un solo devanado para el primario y el secundario, un autotransformador es mucho más económico que un transformador convencional, acotando también que tiene menos pérdidas; resumiéndose en un mejor rendimiento como también caídas de tensión bajas.

Tal como refiere Rodríguez 2010 [10], un autotransformador es un transformador especial que posee un devanado único para cada fase, que tiene las funciones de circuito primario y secundario a la vez, sin embargo, tiene un inconveniente, no existe aislamiento entre estos circuitos.



**Figura 3.3.** Autotransformador monofásico [6].

Por otra parte, un autotransformador presenta el inconveniente frente a un transformador normal, de que en el caso de producirse un cortocircuito aparecen corrientes de falla muy elevadas. Esto es debido al pequeño valor de su tensión relativa de cortocircuito  $e_{cc}$ .



Sin embargo, el principal inconveniente de un autotransformador es que no cuenta con un aislamiento entre el primario y el secundario para cada fase, lo que no ocurre en un transformador normal que si están aislados entre sí. Están combinados por medio de un campo magnético, pero eléctricamente separados. No obstante, en un autotransformador no existe tal aislamiento [6].

### **3.3.1. Funcionamiento de autotransformadores**

Al igual que los transformadores, su funcionamiento es idéntico, se basa en el principio de campos magnéticos variantes en el tiempo.

Para la transferencia de potencia de dos circuitos conectados a un autotransformador se lo puede explicar a través de dos fenómenos: acoplamiento magnético es decir de manera similar a un transformador y la conexión galvánica, que se lo da por medio de la toma común. Es por esta razón que un autotransformador resulta más compacto y económico que un transformador de las mismas características de potencia y voltajes nominales. Además, se puede adicionar que un transformador incrementa su capacidad de potencia al ser conectado de manera similar a un autotransformador.

Se define como relación de transformación a la relación del número de vueltas del devanado completo es decir (serie + común) y el número de vueltas del devanado común. Por citar un ejemplo si se tiene una toma en la mitad del devanado se puede tener un voltaje de salida igual a la mitad de la fuente. En función de la aplicación, la parte del devanado que se va a utilizar para el lado de alta tensión se puede ocupar un alambre de menor calibre debido a que va a manejar una menor corriente, dando como resultado ser un aparato aún más económico [11].

### **3.3.2. Tipos de construcción de un autotransformador**

En similitud que los transformadores, los autotransformadores también pueden ser diseñados con combinadores de tomas automáticas y utilizarlos en sistemas de transmisión y distribución con el fin de regular la tensión de la red eléctrica.

Al realizar la construcción del autotransformador con varias tomas, se puede obtener mayor nivel de voltaje en el secundario incluso se puede agregar que se puede tener niveles de voltaje mucho mayores a los de la fuente. Para ello el devanado de la tensión nominal debe de ser de un calibre ligeramente mayor al calibre del secundario. Hay casos en los que la toma secundaria de los autotransformadores se obtiene a partir de una escobilla deslizante, para de esta manera

tener una amplia gama continua de voltajes secundarios que van desde los cero voltios hasta el valor de la fuente. Este último diseño se comercializa bajo el nombre de variac [11].

### **3.3.3. Aplicaciones de autotransformadores**

Son utilizados muy comúnmente en sistemas de potencia con el fin de interconectar circuitos en función de la tensión de trabajo, pero con relaciones de transformación de 2:1.

Por citar un ejemplo con voltaje de (400 Kv/ 230 Kv y 138 Kv/66 Kv). A nivel industrial se utilizan para conectar maquinaria que manejan tensiones nominales diferentes a la alimentación. También se utilizan para conectar aparatos y cargas menores en las alimentaciones más comunes (100-130 V a 200-250 V)

Cuando las distancias son largas en sistemas de distribución rural, se utilizan autotransformadores de construcción especial con relaciones de transformación de 1:1. Para de esta manera sacar el mayor provecho de la variedad de tomas y así compensar las apreciables caídas de tensión en los extremos de la línea. Otro uso que también se les da a los autotransformadores es para el arranque suave de motores de inducción tipo jaula de ardilla, cuya principal característica es la demanda de una alta corriente para su arranque. Para este caso se alimenta el motor a la toma más menor del autotransformador, al tener un voltaje reducido la corriente resultará idónea para el arranque. Una vez que el motor aumentó el nivel de revoluciones, se puede ir aumentando el nivel de voltaje de manera gradual hasta llegar a un máximo de tensión de la red.

Para los sistemas de alta velocidad, como es el caso de los ferroviarios, existen métodos denominados duales, como es el caso de  $2 \cdot 25$  Kv. Este método consiste en alimentar a la catenaria con +25 Kv, a -25 Kv al alimentador negativo y con el neutro conectado al carril.

De manera típica, se conecta autotransformadores a una distancia de 10 Km de un valor de 50 Kv en el primario y 25 Kv en el secundario, para de esta manera la carga en este caso los trenes se encuentren alimentados con 25 Kv entre catenaria y carril con un nivel de pérdidas mínimo [11].

### **3.3.4. Autotransformador reductor**

Se lo denominada de esta manera al autotransformador del que se obtiene un voltaje menor a la red de alimentación. Una de sus principales características es que reduce la tensión con múltiples beneficios que los divisores de tensión.

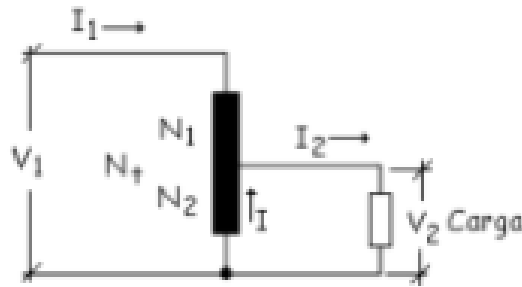


Figura 3.4. Autotransformador reductor [12].

### 3.3.5. Autotransformador elevador

Se lo denominada de esta manera al autotransformador del que se obtiene un voltaje mayor a la red de alimentación [12].

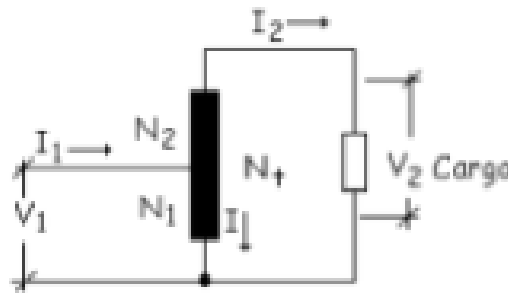


Figura 3.5 Autotransformador elevador [12].

### 3.3.6. Dimensionamiento de un autotransformador

#### 3.3.6.1. Sección de núcleo (Sn)

El núcleo tiene diferentes formas y está conformado de un conjunto de láminas de forma C O E; la sección del núcleo está formado por la sección de la columna central (núcleo tipo B), tal como se muestra en la Figura 3.6 izquierda, así como también un núcleo tipo D Figura 3.6 derecha [13].

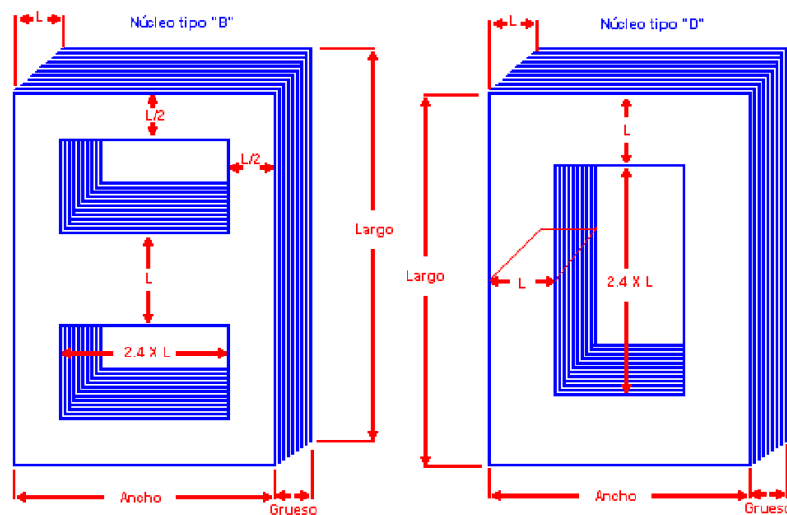


Figura 3.6. Sección del núcleo [14].

$$S_n = 0.903\sqrt{S} \quad (3.4)$$

Donde:

$S_n$  = Área de la sección del núcleo en  $cm^2$ .

S = Potencia aparente en VA.

0.903 = Constante para la frecuencia de 60 Hz.

### 3.3.6.2. Espesor del núcleo

$$S_n = L * Grueso \quad (3.5)$$

Donde:

L= Sección de la chapa del núcleo ver Figura. 3.6 = 2 in

Grueso = Profundidad del núcleo ver Figura. 3.6

### 3.3.6.3. Número de espiras de la bobina común (Nebp)

Siendo de conocimiento que la tensión eficaz:

$$E = \frac{k*N*F*S_n*B \max}{10^8} \quad (3.6)$$

Donde:

E= Tensión eficaz en voltios.

K= Factor de forma  $\frac{2*\pi}{\sqrt{2}} = 4.44$

N= Número de espiras o vueltas.

F= Frecuencia en Hz.

$S_n$ = Área de sección del núcleo en  $cm^2$

B= Densidad de flujo magnético en gauss (siendo el promedio de lo que se usa para la construcción de autotransformadores de 10000 gauss).

Despejando N de (3.6) se tiene:

$$N = \frac{E*10^8}{k*F*S_n*B \max} \quad (3.7)$$

### 3.3.6.4. Número de espiras de la bobina serie (Nebs)

$$Nebs = \frac{Nebp*Es}{Ep} \quad (3.8)$$

Donde:

Nebp= Número de espiras de la bobina primaria.

Es= Voltaje en el secundario [13].

### 3.3.6.5. Cálculo de intensidades

Parte de la ecuación de potencia aparente (S) en corriente alterna monofásica.

$$S = I_{\text{eficaz}} * E_{\text{eficaz}} \quad (3.9)$$

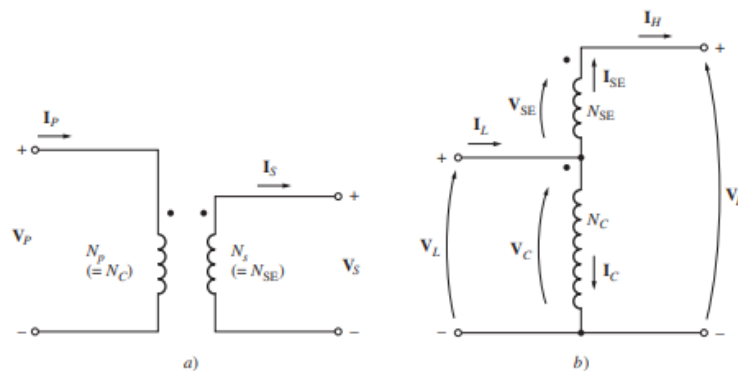
Donde:

S= Potencia en VA.

$I_{\text{eficaz}}$  = Intensidad en A.

$E_{\text{eficaz}}$  = Voltaje de entrada en V.

$$I = \frac{S}{E} \cos(\theta) \quad (3.10)$$



**Figura 3.7.** Conexión de los bobinados de un transformador a) Conexión de manera convencional b) Conexión como autotransformador [15].

Tal y como refiere [15], los voltajes y las corrientes en las bobinas del autotransformador están relacionadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{V_C}{V_{SE}} = \frac{N_C}{N_{SE}} \quad (3.11)$$

$$N_C I_C = N_{SE} I_{SE} \quad (3.12)$$

Los voltajes en los devanados están relacionados con los voltajes en los terminales por medio de:

$$V_L = V_C \quad (3.13)$$

$$V_H = V_C + V_{SE} \quad (3.14)$$

De la misma manera las intensidades en los devanados están relacionados con las corrientes en los terminales por medio de:

$$I_L = I_C + I_{SE} \quad (3.15)$$

$$I_H = I_{SE} \quad (3.16)$$

El voltaje en el lado de alto voltaje del autotransformador viene dado por:

$$V_H = V_C + V_{SE} \quad (3.17)$$

Por otra parte  $V_C/V_{SE}$ , entonces:

$$V_H = V_C + \frac{N_{SE}}{N_C} V_C \quad (3.18)$$

Si se tiene en cuenta que  $V_L = V_C$ , se tiene:

$$V_H = V_C + \frac{N_{SE}}{N_C} V_L = \frac{N_{SE}+N_C}{N_C} V_L \quad (3.19)$$

Se puede encontrar la relación de corriente entre los dos lados del transformador si:

$$I_L = I_C + I_{SE} \quad (3.20)$$

Entonces:

$$I_L = \frac{N_{SE}}{N_C} I_{SE} + I_{SE} \quad (3.21)$$

Tomando en consideración  $I_H = I_{SE}$  se tiene:

$$I_L = \frac{N_{SE}}{N_C} I_H + I_H \quad (3.22)$$

$$\frac{I_L}{I_H} = \frac{N_{SE}+N_C}{N_C} \quad (3.23)$$

$$I_H = I_L \frac{N_C}{N_C+N_{SE}} \quad (3.24)$$

$$I_L = I_H \frac{N_{SE}+N_C}{N_C} \quad (3.25)$$

### 3.3.6.6. Relación de transformación

Se define a la relación de transformación como el número de vueltas del devanado completo (serie + común) y el número de vueltas del devanado común.

Si un transformador convencional se conecta como autotransformador, puede manejar una potencia mayor para la que fue construido y diseñado.

$$S_{entr} = V_L I_L \quad (3.26)$$

La potencia aparente de salida está dada por:

$$S_{sal} = V_H I_H \quad (3.27)$$

Además:

$$S_{entr} = S_{sal} = S_{ES} \quad (3.28)$$

Donde  $S_{ES}$  es la potencia aparente de entrada y salida del transformador. No obstante, la potencia aparente en los devanados del trafo es:

$$S_D = V_C I_C = V_{SE} I_{SE} \quad (3.29)$$

La relación entre la potencia que ingresa al primario y sale por el secundario del transformador y la potencia en sus devanados reales está dado por:

$$S_D = V_C I_C = V_L (I_L - I_H) \quad (3.30)$$

$$S_D = V_L I_L - V_L I_H \quad (3.31)$$

Además:

$$S_D = V_L I_L - V_L I_L \frac{N_C}{N_{SE} + N_C} \quad (3.32)$$

En consecuencia, la relación de la potencia aparente en el primario y en el secundario del autotransformador con la potencia aparente que circula a través de su bobinado es [15].

$$= S_{ES} \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} \quad (3.33)$$

Su relación de transformación está dada por:

$$\frac{N_{SE} + N_C}{N_C} \quad (3.34)$$

### 3.3.6.7. Cálculo de la sección del conductor ( $S_{cu}$ )

Para este cálculo es cotidiano tomar la densidad de corriente ( $\delta$ ) el cual está dentro del siguiente valor [16]:

Autotransformador tipo seco:  $\delta = 1.5$  a  $2.5 \frac{\text{amperes}}{\text{mm}^2}$

Para este caso se utiliza una densidad de  $2.5 \frac{\text{amperes}}{\text{mm}^2}$

$$A_{conductor} = \frac{I_p}{\delta} \quad (3.35)$$

### 3.3.6.8. Calculo de pérdidas

- **Pérdidas por corrientes de Foucault**

$$P_F = \frac{2.2 * f^2 * \beta_{max}^2 * \Delta^2}{10^{11}} \quad (3.36)$$

Donde:

$P_F$  = Pérdidas por corrientes de foucault

$f$  = Frecuencia de Hz

$\beta_{max}$  = Inducción máxima

$\Delta$  = Espesor de la chapa magnética

- **Pérdidas por histéresis**

$$P_H = K_h * f * \beta_{max}^n \quad (3.37)$$

Donde:

$P_H$  = Pérdida por histéresis en  $\frac{W}{kg}$

$K_h$  = Coeficiente de cada material.

$f$  = Frecuencia en Hz.

$\beta_{max}^n$  = Induccion máxima.

$n = 1.6$  para inducción menor a 1 tesla ( $10^4$  Gauss).

$n = 2$  para inducción mayor a 1 tesla ( $10^4$  Gauss).

El coeficiente de chapa oscila entre 0.0015 y 0.003 [17].



**Tabla 3.1.** Conductores eléctricos [16].

<b>Conductores eléctricos alambre magneto</b>							
Datos de conductores redondos, desnudos de cobre de aluminio							
<b>Alambre Calibre AWG</b>	<b>Diámetro en milímetros</b>			<b>Área sección transversal</b>		<b>Resistencia a 20 °C al 100% de conductividad</b>	
	Mínimo	Nominal	Máximo	Milímetros circulares	mm <sup>2</sup>	COBRE	
						Ohms/kg	Ohms/kg
4/0	11.567	11,684	11.801	136.51	107.21	0.1608	0.0001687
3/0	10.3	10.508	10.508	108.24	85.01	0.2028	0.0002684
2/0	9.174	9.266	9.357	85.56	67.43	0.2557	0.0004265
1/0	8.171	8.252	8.334	68.1	53.49	0.3223	0.0006779
1	7.275	7.348	7.422	53.99	42.41	0.4066	0.001078
2	6.477	6.543	6.609	42.81	33.62	0.5128	0.001715
3	5.768	5.827	5.885	33.95	26.67	0.6466	0.002728
4	5.138	5.189	5.215	26.93	21.15	0.4152	0.004336
5	4.575	4.62	4.643	21.34	16.77	1.028	0.0069
6	4.074	4.115	4.135	16.93	13.3	1.297	0.011097
7	3.63	3.665	3.683	13.43	10.55	1.694	0.01742
8	3.231	3.264	3.282	10.65	8.367	2.061	0.0277
9	2.878	2.906	2.921	8.445	6.632	2.6	0.0441
10	2.563	2.588	2.601	6.698	5.261	3.277	0.07006
11	2.281	2.304	2.316	5.308	4.169	4.14	0.112
12	2.032	2.052	2.062	4.211	3.307	5.21	0.177
13	1.811	1.829	1.839	3.345	2.627	6.56	0.281
14	1.613	1.628	1.636	2.65	2.082	8.28	0.447
15	1.435	1.45	1.458	2.103	1.651	10.4	0.711
16	1.278	1.29	1.298	1.664	1.307	13.3	1.13
17	1.138	1.151	1.156	1.325	1.04	16.6	1.79
18	1.013	1.024	1.029	1.049	0.823	21	2.86
19	0.902	0.912	0.917	0.832	0.653	26.4	4.75
20	0.805	0.813	0.818	0.661	0.519	33.2	7.2
21	0.716	0.724	0.726	0.524	0.412	41.9	11.4
22	0.635	0.643	0.645	0.413	0.324	53.2	18.4
23	0.569	0.574	0.577	0.329	0.259	66.6	29
24	0.505	0.511	0.513	0.261	0.205	84.2	46.3
25	0.45	0.455	0.457	0.207	0.277	106	73.6
26	0.399	0.404	0.406	0.163	0.128	135	118
27	0.358	0.361	0.363	0.13	0.102	169	186
28	0.317	0.32	0.323	0.102	0.0804	214	300
29	0.284	0.287	0.29	0.0824	0.0647	266	463
30	0.251	0.254	0.257	0.0645	0.0507	340	755
31	0.224	0.226	0.229	0.0511	0.0401	430	1200
32	0.201	0.203	0.206	0.0412	0.0324	532	1840
33	0.178	0.18	0.183	0.0324	0.0255	675	2970
34	0.157	0.16	0.163	0.0256	0.0201	857	4790
35	0.14	0.142	0.145	0.0202	0.0159	1090	7680
36	0.124	0.127	0.13	0.0161	0.0127	1360	12100
37	0.112	0.114	0.117	0.013	0.0103	1680	18400
38	0.099	0.102	0.104	0.0104	0.00811	2130	29500
39	0.086	0.089	0.091	0.0079	0.00621	2780	50300
40	0.076	0.079	0.081	0.0062	0.00487	3540	81800

### **3.4. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN**

#### **3.4.1. Cortacircuitos fusibles de baja tensión**

Son el medio más primitivo de protección de los sistemas eléctricos. Su operación se basa en la fusión por efecto joule de una lámina intercalada en la línea como punto débil. Existen fusibles de formas y tamaños muy variados, condicionados a la intensidad a la que deben fundirse además de la tensión de utilización y el lugar donde se los va a emplear.

Si la corriente a manejar es grande, el conductor fusible está formada por laminas, por otro lado, si la corriente es pequeña tiene una sección circular. Para los dos casos están formados de un metal o una aleación de plomo, estaño zinc, entre otros. En un contexto general existen dos tipos de fusible para baja tensión:

- gl (fusible de empleo general)
- aM (fusible de acompañamiento para Motor)

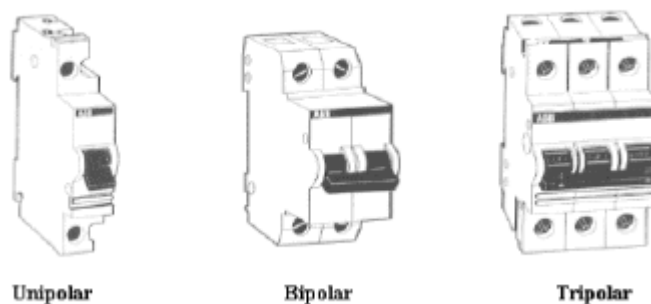
Para la protección en líneas se usa los fusibles de tipo gl, debido a su curva de fusión “intensidad - tiempo”, es decir está diseñada para una respuesta rápida frente a fenómenos de cortocircuito y lenta para sobrecargas.

Para la protección de motores se utiliza los fusibles tipo aM, debido a su respuesta extremadamente lenta frente a sobrecargas y rápida frente a cortocircuitos. Para corrientes de valor aproximado a diez veces la nominal debe desconectarse por los sistemas de protección propios del motor, mientras que para corrientes mayores deben ser interrumpidas por los fusibles de tipo aM.

Las características propias que definen a un fusible son su poder de corte y la intensidad nominal. Siendo la intensidad nominal la intensidad normal de funcionamiento y el poder de corte la intensidad máxima de cortocircuito que el fusible es capaz de cortar. El tamaño del fusible depende del poder de corte para el cual ha sido diseñado [18].

#### **3.4.2. Interruptores magneto-térmicos**

Los interruptores magneto-térmicos son una combinación de varios sistemas de protección en uno solo. Posee tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Actúan de manera independiente cada uno de estos sistemas, además su curva de disparo está conformada por la superposición de las características magnética y térmica.

**INTERRUPTORES MAGNETOTERMICOS****Figura 3.8.** Interruptores magneto-térmicos [18].

Al compararlos con los fusibles normales, los interruptores magneto-térmicos presentan mayores características como mayor prestación y seguridad además de rapidez y alta capacidad de ruptura. Para restablecer el circuito no se necesita de una persona experta, la maniobra consiste en mover un resorte que se encuentra visible y aislado.

De manera distinta, para el reemplazo de un fusible se requiere la compra de un cartucho nuevo y por estar sometida a tensión, la colocación se lo lleva a efecto por una persona capacitada para este tipo de operaciones. Estos contratiempos llevan en muchas ocasiones a colocar fusibles de valor erróneo por personas inexpertas, pasando por alto el peligro que conlleva este tipo de maniobras.

Al tratarse de magneto-térmicos tripolares, en el caso de que una fase sufra perturbaciones, la desconexión de esta fase arrastra a las otras dos fases, desconectando de esta manera a todo el sistema. Por el contrario, si la protección de este sistema se hubiese realizado con tres fusibles normales, solo se desconectaría la fase perjudicada y dejaría al sistema en funcionamiento con las dos fases. De manera general los fusibles son de imprescindible uso en cuadros que se necesite una protección en general.

Otro uso interesante de los interruptores magneto-térmicos, es que se tiene la posibilidad de desconexión a distancia, ya que algunos modelos cuentan con una particularidad de acoplar una bobina de emisión, cuyo accionamiento se da por la aparición de una tensión o una ausencia de tensión, encargadas del accionamiento del resorte de desconexión del magneto-térmico [18].



**Figura 3.9.** Interruptor magneto-térmico [18].

### 3.4.3. Interruptores de potencia con unidades de disparo

Se los utiliza cuando los niveles de corriente no disponen el uso de dispositivos de directa acción. Para su uso se requiere el uso de elementos de muestreo, como por ejemplo transformadores de corriente y elementos de control para el accionamiento del interruptor. Su uso se generaliza en subestaciones o interruptores para alimentadores de suma importancia. Este tipo de relés se caracterizan por presentar bastante exactitud en los umbrales de disparo además presentan curvas de operación que se pueden ajustar acordes a la necesidad. Las funciones son las siguientes:

Disparo instantáneo: opera de manera inmediata al ocurrir la falla. Se utiliza para zonas donde el cortocircuito debe tener un despeje rápido para de esta manera evitar daños.

- Curva de retardo largo (L.T.D.): utilizado como limitante de sobrecargas en el orden de segundos a minutos.
- Curva de retardo corto (S.T.D.): se basa en un retardo provocado de manera intencional con un orden de pocos ciclos de retardo. Esto se lo realiza con el fin de lograr coordinación con otras protecciones adicionales instaladas aguas abajo.

Falla a tierra: para su calibración se determina el tiempo de retardo y el umbral de corriente para la operación del interruptor en caso de darse un cortocircuito monofásico. Para realizar el censo de la corriente de falla se utiliza un TP (transformador de corriente) con una configuración en conexión residual. De esta manera el relé censa la suma de las corrientes de fase de forma fasorial adicionando la corriente del neutro por medio de la conexión en estrella de los TP. Esta calibración va acompañada de un ajuste de la corriente y el tiempo de coordinación con protecciones aguas debajo de fallas a tierra.

En bajo voltaje los tiempos de operación de este tipo de relé son básicamente de forma instantánea, en consecuencia, para la selección de estos elementos de protección es de vital importancia realizar un cálculo de la corriente de cortocircuito, es decir la que hay después de medio ciclo de existir la falla. Esta es la corriente instantánea que debe soportar el interruptor y, por ende, la que debe ser capaz de interrumpir [1].



**Figura 3.10.** Relé de estado sólido [1].

#### **3.4.4. Relé de Estado sólido Fotek SSR-40 DA 380V (3-32VDC)**

Su funcionamiento se asemeja a un relé mecánico. Su principal característica es que permite controlar cargas de alto voltaje de los circuitos de un voltaje inferior. Las ventajas que presentan frente a los relés de mecánicos son algunas. Entre ellas se puede decir que pueden ser conmutados por voltaje y corrientes más pequeñas que para los relés mecánicos. También al no existir contactos móviles conmutan de manera más rápida y su duración es superior añadiendo también que no necesitan ser reemplazados.

El proceso de conmutación se da por medio de una luz infrarroja. De manera general un relé de estado sólido es básicamente un led IR, y un optotriac compactados en una pequeña caja. Gracias a que los lados del relé están basados en un fenómeno de foto-acoplamiento, se puede fiar en el mismo sistema de aislamiento eléctrico que de los relés mecánicos. Este modelo de relé de estado sólido puede conducir una corriente de hasta 40 A con un voltaje de 380VAC, para mayores detalles (Ver Anexo A) [19].

#### **Especificaciones:**

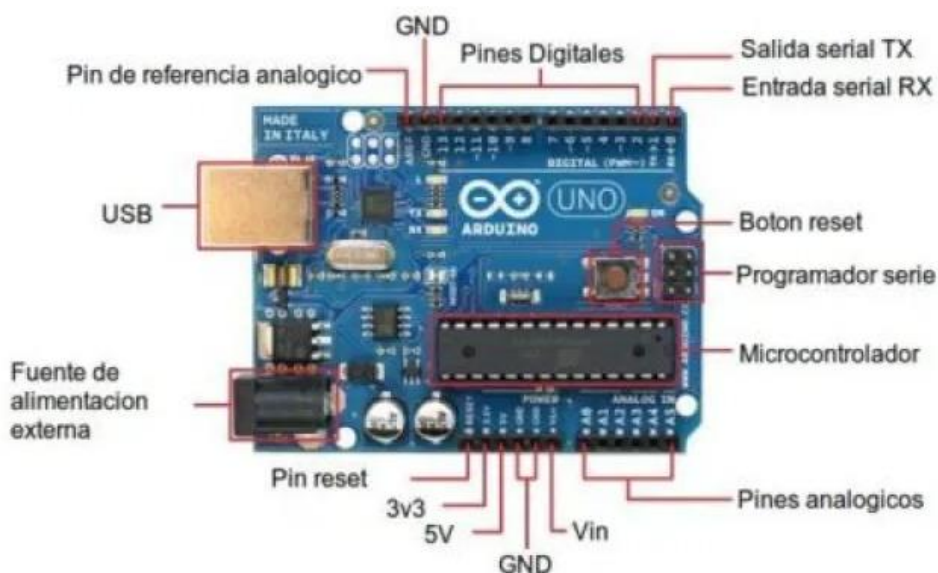
- Larga vida útil y una alta fiabilidad.
- Altamente fiable y compacto de tamaño.
- Diseñado para ofrecer a los usuarios la máxima simplicidad.
- Conmutación rápida.
- Voltaje de salida: 24 a 380 VAC
- Corriente de salida: 40 A.

- Tensión de entrada: 3 - 32 VDC.
- Método de control: CC a CA.
- Método de montaje: pernos fijos.
- Tiempo de conmutación:  $\leq$  ms  $t_{10}$  [19].

### 3.5. ARDUINO UNO

Arduino Uno básicamente es una placa con un microcontrolador basada en el ATmega328P. Tiene 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), adicional a esto posee una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. Posee toda la electrónica necesaria y apta para que el microcontrolador opere, simplemente hay que conectarlo a la energía por el puerto USB o con un transformador AC-DC [20].

Prácticamente realiza tareas programadas por parte del usuario de manera automática en una especie de lazo, para conocer las especificaciones técnicas ver en el Anexo B [20].



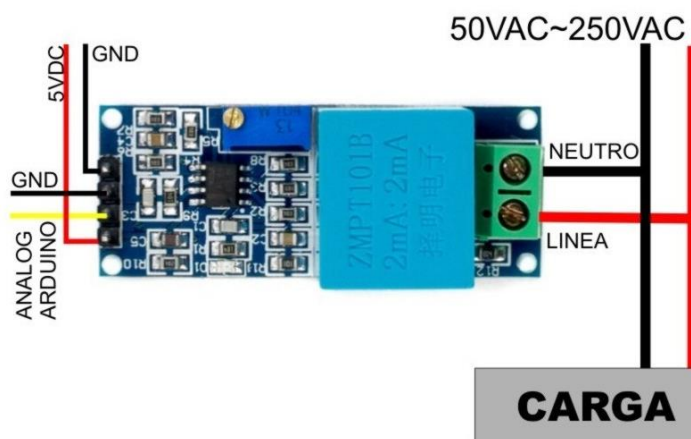
**Figura 3.11.** Placa Arduino UNO [21].

### 3.6. SENSOR DE VOLTAJE AC ZMPT101B

El modelo AC ZMPT101B es un módulo transformador de voltaje, dispone de una salida monofásica activa. Agregando a esto contiene un circuito con amplificador operacional para compensar el offset de la salida analógica. En funciones de voltaje puede medir en baja tensión y su salida analógica es ajustable por medio de un potenciómetro instalado en la placa. Es un

módulo ideal para utilizarlo en aplicaciones de monitoreo de energía, muy común en aplicaciones de domótica y en determinadas aplicaciones de carácter industrial. Debido a la naturaleza de los transformadores solo puede medir voltaje AC.

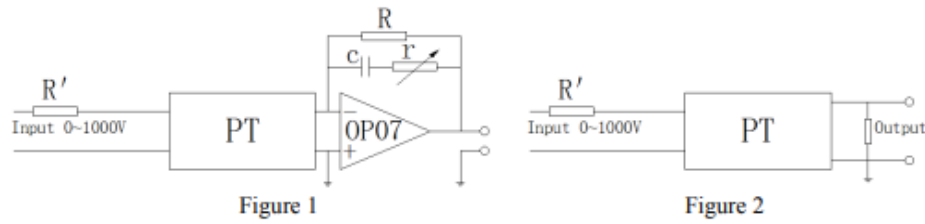
Para realizar los cálculos de energía se puede utilizar cualquier microcontrolador de la familia Arduino con entradas analógicas [22].



**Figura 3.12.** Sensor de Voltaje AC ZMPT101B [23].

### 3.6.1. Características

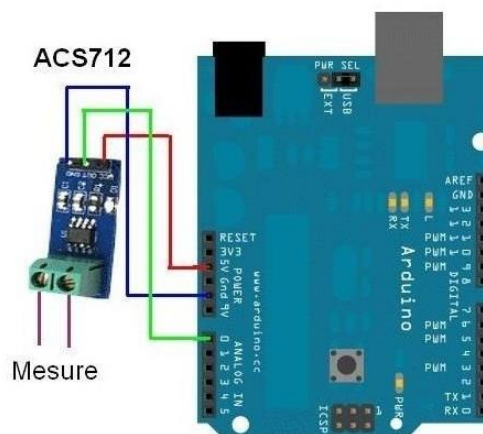
- Voltaje de alimentación: 3.3V – 5VDC.
- Voltaje alterno de entrada: 250VAC máx.
- Voltaje alterno de salida: Onda senoidal 5VAC máx.
- Señal de salida: analógica senoidal.
- Dimensiones: 5 cm x 2 cm x 2.4 cm.
- Corriente nominal de entrada y salida: 2mA.
- Ratio entrada-salida 1000:1000.
- Diferencia de fase:  $<30^\circ$  (a 50ohm).
- Rango lineal: 0-3mA (a 50ohm).
- Linealidad: 1%.
- Precisión: 0.2%.
- Aislamiento eléctrico de entrada de hasta 3000V [22].



**Figura 3.13.** Esquema del sensor de voltaje [24].

### 3.7. SENSOR DE CORRIENTE ACS712 20A DC y AC

El sensor ACS712 basa su funcionamiento por efecto hall, (puede medir hasta 20A sin disipar energía es decir las pérdidas por efecto Joule). Este tipo de sensor es la solución más económica precisa y eficaz para medir corriente en AC o DC, puede ser utilizado en ambientes industriales o comerciales. Su principio de operación radica en la transformación de un campo magnético obtenido del paso de la corriente por un alambre de cobre interno en el sensor, y convirtiendo este campo en un voltaje variable. Se entiende que a mayor cantidad de corriente que se tenga, el voltaje que se tenga va a ser superior en un pin. Este sensor está disponible en 3 modelos distintos: ACS712ELCTR-05B-T con capacidad de medición de hasta 5A, el ACS712ELCTR-20A-T con una capacidad de medición de hasta 20A y el ACS712ELCTR-30A-T que mide valores de corriente de hasta 30A. Las diferencias entre cada uno de los modelos es que las variaciones de voltaje en su pin de salida es siempre la misma, en consecuencia, para cualquier modelo su salida analógica variará entre 0 y 5v dando una mejor precisión en el modelo de 5A que en el de 30A [23].



**Figura 3.14.** Sensor de corriente y conexión en Arduino UNO [23].

#### 3.7.1. Características

- Voltaje de Operación: 5V.
- Corriente máx: 20A.



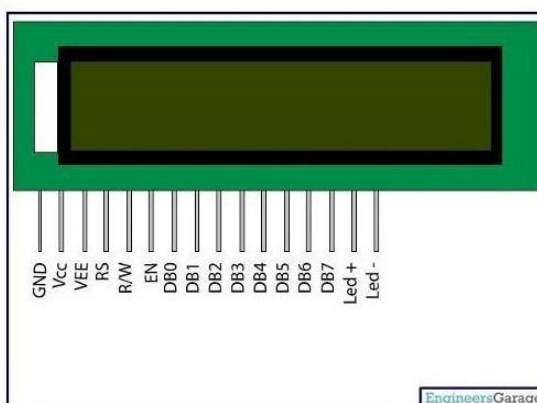
- Sensibilidad: 100 mV/A.
- Señal analógica de bajo ruido.
- Ancho de banda configurable mediante el pin FILTER.
- Tiempo de respuesta de la salida: 5us.
- Ancho de banda máximo: 80kHz.
- Error:  $\pm 1.5\%$  (@25 °C) ajustado en fábrica.
- Resistencia del conductor: 1.2mOhm.
- Mide tanto corrientes AC como DC.
- Offset de salida sumamente estable.
- Histéresis magnética próxima a cero.
- Salida ratiométrica contra la tensión de alimentación [22].

### 3.8. PANTALLA LCD 1602 LUZ AZUL

Los módulos LCD (display de cristal líquido) son módulos que permiten la visualización de datos de salida de cualquier proceso llevado a cabo. Cuentan con la facilidad de que se pueden conectar a microprocesadores y microcontroladores, sumado a la óptima presentación de la información.

#### 3.8.1. Características

Posee un bus de datos de 8 bits incluido en los pines de conexión, cuenta además con un pin de selección con la finalidad de indicar si lo que se está enviando por el bus es un dato o una instrucción (RS), posee además un pin de habilitación (E) y un pin indicador de escritura o lectura en el módulo [23].



**Figura 3.15.** Display LCD [23].

### **3.9. CONTROL DE TENSIÓN**

En todo sistema eléctrico es de suma importancia mantener el valor de la tensión dentro de límites aceptables, el cual se base en una norma para de esta manera garantizar una calidad de óptima, para el funcionamiento correcto de los elementos eléctricos o electrónicos alimentados a la red. Por otra parte, la variación del valor de la tensión se debe a la conexión de elementos electrónicos que demanden gran cantidad de potencia activa y reactiva del sistema alimentador [25].

#### **3.9.1. Importancia de los reguladores de tensión**

Son de carácter importante para mantener un nivel de tensión estable y adecuada para el sistema, como también protegen los equipos, las cargas asociados al sistema además de tener un ahorro económico. Con los reguladores de tensión se hace posible entregar la energía con la calidad de tensión dentro de los rangos aceptables y con límites establecidos.

En sistemas monofásicos pueden corregir las variaciones de voltaje más extremas presentadas; además pueden proteger maquinaria individual o total de manera permanente, ya que los mantiene en operación continúa disminuyendo los costos de mantenimiento y reparación, agregando también gastos relacionados a tiempos perdidos por motivos de paros de producción.

#### **3.9.2. Métodos de control de tensión**

Los dispositivos más utilizados para controlar la tensión son:

- Fuentes de potencia reactiva, como capacitores shunt, reactores shunt, compensadores estáticos de VAR, reactancias y condensadores en paralelo. Los capacitores shunt cumplen la función de compensar la potencia reactiva y aumenta el voltaje local o propio, los reactores shunt relativamente son usados para compensar los efectos de la capacitancia de la línea. Comúnmente se los utiliza a nivel de transmisión (500 Kv, 230 Kv, 138 Kv, 69 Kv) y en distribución (34.5 Kv, 22,86 Kv, 22 Kv, 18.8 Kv, 13.20 Kv, 6.30 Kv, 4.16 Kv)
- Generador síncrono, la regulación la realiza mediante el control de la excitación de campo, es decir por medio de un regulador de voltaje, brinda principios de ajuste de manera automática de la potencia reactiva de salida para de esta manera mantener el nivel de voltaje. Se lo utiliza a nivel de transmisión (500 Kv, 230 Kv, 138 Kv, 69 Kv) y subtransmisión (69 Kv, 46 Kv).

- Los transformadores y autotransformadores, que por medio de la disponibilidad de intercambiadores de tomas que brindan, los hacen instrumentos de suma importancia para controlar los niveles de voltaje. En un contexto general, se los utiliza en sectores donde manejan voltajes de tipo industrial desde los 400 V y 138 Kv como es el caso de la empresa Adelca, por citar un ejemplo, que cuenta con sus propias instalaciones para abaratar el consumo de energía eléctrica. Como también se los ocupa a nivel residencial con voltajes de 220 V, 127 V, donde usuarios específicos necesitan un nivel de tensión constante y de calidad [26].

### **3.9.3. Reguladores de tensión trifásicos**

Se lo utiliza para una corrección automática de la tensión de salida frente a variaciones de tensión en la red y variaciones de consumo originados por la carga. Evitan el mal funcionamiento y las posibles averías de equipos e instalaciones causadas por oscilación del voltaje de la red. Su tensión de alimentación es de origen trifásico.

### **3.9.4. Reguladores de tensión monofásicos**

De manera principal su uso está ligado a estabilizar las variaciones de la tensión de la red eléctrica y variaciones de consumo en la carga, su instalación se la puede hacer en postes y plataformas o lugares adecuados para su funcionamiento. Pueden ser utilizados en las salidas de las subestaciones, también en cualquier punto de la red o en el punto de conexión de entrada para un consumidor en específico. Su aplicación se extiende para redes radiales y también en anillos. Su tensión de alimentación es de origen monofásico [27].

### **3.9.5. Tipos de reguladores**

- **Reguladores electromecánicos**

Su principio de funcionamiento está basado en autotransformador de columna, sobre el cual se dispone de un cursor que se acciona mediante un servomotor, que en su recorrido suma o resta espiras, condicionado del caso presentado.

- **Reguladores electrónicos**

Su funcionamiento se basa en un control electrónico, puede llevar un microprocesador o simplemente un circuito de control que detecta las diferentes variaciones de tensión. La etapa de corrección se la lleva a cabo a través de relevadores.

- **Reguladores ferro sonantes**

Su funcionamiento está basado en la propiedad de ferro resonancia, en el cual el transformador contiene dos patrones magnéticos separados con un acoplamiento de características limitadas entre ellos.

- **Regulación de tensión con diodo Zener**

Su principio de funcionamiento está basado en el uso del diodo Zener, debido a que mantiene la tensión entre sus terminales de manera constante, incluso cuando la corriente sufra cambios.

- **Reguladores de tensión con circuitos integrados**

Los reguladores de tensión abarcan una amplia clase de circuitos integrados, estas unidades abarcan circuitos para las diferentes zonas como fuente de referencia, amplificador de error, dispositivo de control y la protección a la sobrecarga, todo esto en un solo chip integrado.

- **Reguladores conmutados**

Su funcionamiento se basa en un transistor que trabaja como una especie de llave (corte o saturación) que por periodos cortos de tiempo aplica toda la tensión no regulada a través de un inductor a la carga. Los reguladores conmutados operan a frecuencias iguales a superiores a las 20 KHz y de manera básica utilizan la energía almacenada en un inductor, durante una porción del ciclo de operación para de esta manera suministrar la potencia a la carga durante el ciclo.

### **Autotransformador regulable**

Los autotransformadores regulables son máquinas extremadamente útiles en situaciones en las que se requieren de una amplia gama de ajuste de tensiones y en los que se requiere una poca pérdida de potencia, su principal característica es que son una herramienta sencilla y económica de control de tensión para todo sistema eléctrico. Su funcionamiento es de naturaleza regulable, de manera parecida a un potenciómetro, se puede decir que se convierte en un divisor de tensión regulable [28].

### **3.10. NORMAS DE SEGURIDAD Y DE MANEJO**

Un ambiente de trabajo seguro es de vital importancia para el desarrollo de cualquier actividad de ámbito laboral, para lo cual es estrictamente necesario tener en cuenta las diferentes prácticas adecuadas de seguridad al realizar el trabajo, así como también la identificación oportuna de peligros a los que se pueda estar expuestos.

A, continuación se detallan los procedimientos para eliminar en gran medida cualquier accidente en el ámbito de trabajos energizados.

- Identificar y manejar los procedimientos de cierre/etiquetado antes de poner en marcha algún trabajo en circuitos o equipos eléctricos.
- Evitar trabajar cerca de fuentes eléctricas cuando a sus alrededores, o a su vez su ropa o herramientas se encuentren mojadas
- Suspender cualquier tipo de trabajo eléctrico al aire libre en el caso que empiece a llover.
- Ventilar el área de trabajo, esto con la finalidad de reducir cualquier tipo de peligro atmosférico como el polvo, vapores inflamables o exceso de oxígeno.
- Mantener el ambiente de trabajo limpio y ordenado.
- Disponer de manera ordenada las herramientas y equipos, colocando todo en su lugar.
- Mantener el área de trabajo libre de trapos, escombros, basura y cualquier tipo de desechos.
- Limpiar inmediatamente cualquier tipo de líquido que se haya derramado, es importante mantener las superficies completamente secas
- Usar cables a prueba de agua en el aire libre
- Proteger todos los cables eléctricos cuando se utilicen en o alrededor de los pasillos
- Evitar usar cables eléctricos cerca de calor, agua y materiales inflamables o explosivos.
- Nunca use un cable de extensión si el aislante presenta algún tipo de daño.
- Inspeccionar todos los cables eléctricos e interruptores para de esta manera verificar si tienen cortes, el aislante desgastado, terminales expuestos o conexiones sueltas.
- Asegurarse de que las herramientas se encuentren limpias, secas y libres de partículas grasosas o depósitos de cartón.
- No cargar, ni almacenar o colgar las herramientas eléctricas por el cable.
- No sobrecargar los enchufes en las paredes o los cables de extensión.
- Usar calzado de seguridad resistentes al aceite, con suelas anti resbalantes.
- Usar ropa adecuada, de tal manera que no sea una limitante para el movimiento.
- Usar cascos protectores clase B cuando trabaje cerca de cables eléctricos elevados.
- Evitar el uso de los cinturones con hebillas grandes y de metal [29].



**Figura 3.16.** Señalética de peligro de riesgo eléctrico [23].

### 3.11. PRUEBAS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA

#### 3.11.1. Prueba EMC

Se utiliza para determinar la habilidad de un equipo para tener un óptimo funcionamiento en su ambiente electromagnético sin producir perturbaciones electromagnéticas que afecten en el funcionamiento a otros objetos de ese ambiente. Para dar cumplimiento a la compatibilidad electromagnética (EMC), es de vital importancia conocer cuáles son estos límites de energía electromagnética para no generar perturbaciones o ser susceptible a ella. Para determinar dichos límites se realizaron diferentes pruebas e investigaciones por universidades, centros de investigaciones, laboratorios industriales. A partir de estos resultados se fijaron los límites para emisiones electromagnéticas por parte de comisiones internacionales. Actualmente estos límites se especifican en normas y estándares internacionales, los de mayor divulgación son: IEC, IEEE, ANSI, ETS, CENELEC, entre otras [30].

#### Normas aplicadas para las pruebas

- IEC-61000-4-2(Compatibilidad electromagnética técnicas de ensayo y medición)
- IEC-61000-4-3 (Inmunidad radiada)
- IEC-61000-4-4(Transitorios eléctricos rápidos/ transitorios de ráfaga)
- IEC-61000-4-5 (Inmunidad contra sobretensiones)
- IEC-61000-4-11(Pruebas de inmunidad de caídas de voltaje, interrupciones breves y variaciones de voltaje).

Se puede clasificar a los ensayos de EMC en los siguientes grupos:

- Ensayos de Emisión radiada y conducida (EMI).
- Ensayos de Inmunidad conducida.
- Ensayos de Inmunidad radiada.
- Campos electromagnéticos [31].

#### 3.11.1.1. Ensayo de Emisión radiada y conducida (EMI)

Es el ensayo más común y realizado de forma habitual, consiste en medir las emisiones emitidas al ambiente como a través de la red.

#### Instrumentación:

- Analizadores de espectros.
- Red artificial o LISN, accesorio que se conecta al analizador de espectros para la medida de las emisiones conducidas a través de la red.

- Generador seguidor, amplia la capacidad de medición [31].

#### **3.11.1.2. Ensayo de Inmunidad conducida**

Se lo realiza para determinar el deterioro del rendimiento que puede ocurrir con la inyección de perturbaciones al equipo y así de esta manera comprobar su nivel de inmunidad a través de los conductores o cableado [32] .

##### **Instrumentación:**

- Generador o simulador de descargas electrostáticas
- Generador de ráfagas o burst.
- Generador de huecos de tensión
- Generador de ondas de choque o Surge [31].

#### **3.11.1.3. Ensayo de Inmunidad radiada**

Pretende simular las interferencias que recibe un equipo puesto a prueba de otros elementos externos como radios, teléfonos móviles, radares, etc. Así de esta manera poder evaluar el funcionamiento del equipo bajo perturbaciones electromagnéticas. El medio que se utiliza para realizar esta prueba es una cámara anecoica.

##### **Instrumentación:**

- Cámara anecoica, recinto que absorbe la energía que incide sobre sus paredes.
- Antena Logo periódica.
- Antena Horn.
- Analizador de espectros [32].

#### **3.11.1.4. Ensayo de campos electromagnéticos.**

Establece un marco de restricciones básicas niveles de referencia para limitar la exposición a fuentes artificiales de CEM incluyendo los campos estáticos, los campos de frecuencia extraordinariamente baja (FEB) y los campos de radiofrecuencias (RF) incluidas las microondas.

La unidad de medida del campo eléctrico es el voltio por metro (V/m). Cualquier conductor eléctrico cargado genera un campo eléctrico asociado, que está presente, aún en ausencia de corriente eléctrica.

El movimiento de las cargas origina la aparición de campos magnéticos. La unidad de medida del campo magnético es el amperio por metro (A/m), sin embargo, en algunas investigaciones se utiliza con más frecuencia una magnitud relacionada, la densidad de flujo cuya unidad de medida son los micro teslas ( $\mu\text{T}$ ). De manera contraria que los campos eléctricos, los magnéticos solo aparecen en presencia de fluidez de corriente. Si la intensidad de la corriente es mayor, en consecuencia, la intensidad de campo magnético también será mayor [33].

En Ecuador se adoptó las recomendaciones Para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (Hasta 300 GHz) de la Comisión Internacional De Protección De Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), 1998.

En la tabla se muestra los niveles de referencia para la exposición a campos magnéticos.

**Tabla 3.2.** Niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz [34].

Tipo de exposición	Intensidad Campo Eléctrico (E) (V/m)	Intensidad Campo Magnético (H) (A/m)	Densidad de flujo Magnético (B) (Microteslas)
Público en General	4167	67	83
Personal ocupacionalmente expuesto	8333	333	417

La intensidad de campo eléctrico creado es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, dicho en otras palabras, el campo disminuye su valor cuando el valor de la distancia aumenta [35].

$$E \left( \frac{V}{m} \right) \approx \frac{1}{d^2} \quad (3.38)$$

De acuerdo a (3.12) para una intensidad de campo magnético de 8333 v/m:

$$d \approx 0.010 \text{ m} \quad (3.39)$$

### 3.11.2. Pruebas LVD

Son las iniciales de la Directiva de baja tensión. De acuerdo al reglamento es de vital importancia minimizar y en su gran medida eliminar estos riesgos antes que se comercialice cualquier equipo para evitar que cualquier dispositivo eléctrico cause problemas durante su uso y funcionamiento.



Los dispositivos que pasen las pruebas llevadas a cabo por laboratorios acreditados, reciben el informe de prueba de LVD, con esto se demuestra que los productos son estructuralmente seguros y cumplen con las normas y regulaciones.

Los informes de pruebas LVD también forman parte del historial técnico bajo la aplicación de marcado CE, indispensable para su libre circulación y comercialización con una validez de 10 años a menos que haya un cambio en el producto o en los estándares.

### **Normas aplicadas**

- TS 2127 EN 60065 (Reglas de seguridad- Sonido, visión y dispositivos electrónicos similares).
- TS EN 60950-1 (Dispositivos de tecnología de la información- Seguridad – Parte 1: requisitos generales).
- TS EN 60335-1 (Reglas de seguridad- para electrodomésticos y aparatos eléctricos similares).
- En60695 (Ensayo para Equipo Quemador de Aguja).
- IEC 60529 (Ensayos de Protección IP).

Los ensayos de LVD se pueden desglosar en los siguientes grupos:

- Prueba de corriente de fuga.
- Prueba de aislamiento.
- Prueba de alto voltaje.
- Prueba de llama de aguja.
- Pruebas IP (Protección contra ingreso de Objetos Líquidos y sólidos).
- Prueba de medida de potencia.

#### **3.11.2.1. Prueba de corriente de fuga**

Este tipo de prueba se la lleva a cabo para determinar escenarios donde se puede crear un peligro al existir una corriente de fuga en el artefacto. La mayoría de dispositivos que se manejan de manera eléctrica producen corrientes de fuga dentro de sí mismos. Las fugas de un voltaje muy pequeño no resultan muy peligrosas, por el contrario, las fugas mayores a 30 miliamperios generan un gran problema. Es por ello que se deben adquirir medidas para prevenir situaciones adversas en un futuro. Una de estas prevenciones es utilizar la protección contra sobrecorriente, otra medida es el RCD (relé de protección de corriente residual), los cuales son a menudo muy utilizados para salvaguardar la vida humana [36].

**Instrumentación:**

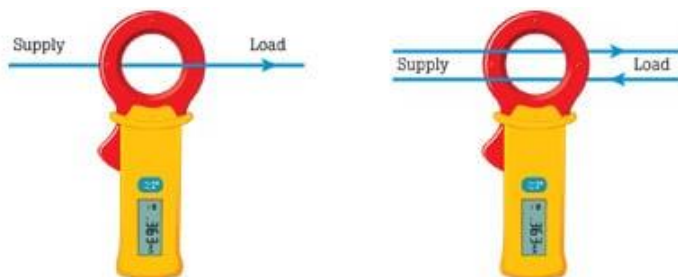
- Pinza amperimétrica para medida de corrientes de fuga.

**Procedimiento:**

Instalar la pinza amperimétrica alrededor de los conductores, pueden ser cables de un solo núcleo, blindados, etc.; o a la vez conductores de fase en pares o neutros de un circuito monofásico, o por el contrario todos los conductores vivos.

Cuando la medición se la realiza en varios conductores agrupados, los campos magnéticos de cada conductor se anulan debido a las corrientes de carga. Cualquier diferencial de corriente es originado por las fugas que se producen por los cables a tierra u otros caminos alternativos. Para estos casos el instrumento de medición (pinza amperimétrica) debe ser capaz de medir corrientes menores a 0.1 mA.

Para la medición exacta de corrientes pequeñas, es de vital importancia que los extremos de las tenazas no presenten ningún daño, que se mantengan limpios y ajusten perfectamente cuando se cierre la mordaza [37].



**Figura 3.17.** Pinza amperimétrica [37].

**3.11.2.2. Prueba de alto voltaje**

Cuando se realiza una inspección, la empresa de control de calidad realiza algunas pruebas especiales de control de calidad, dependiendo del tipo de producto. Una de estas pruebas es la prueba de alta tensión (Hi-pot test) que se realiza con la finalidad de inspeccionar productos eléctricos. Los resultados de esta prueba son de gran importancia para garantizar la calidad del producto y que éste alcance los estándares deseados.

La mencionada prueba verifica el aislamiento de un producto eléctrico, para que este sea capaz de proteger al usuario de un shock eléctrico y asegura la confiabilidad en accesorios terminados como cables, circuitos y motores. La prueba consiste básicamente en aplicar una elevada carga de alto voltaje, (dicha carga es mucha más alta que la carga de una operación normal) entre los

conductores y su aislamiento. La finalidad de la prueba es verificar si el producto es seguro para su posterior uso, incluso cuando es sometido a una gran carga de alto voltaje. Al evidenciar una fuga en el aislamiento, puede causar que el dieléctrico de un producto se rompa y esto es peligroso para cualquiera que entre en contacto con un producto eléctrico en dichas condiciones.

Esta prueba es de vital importancia para descubrir fallas de diseño, cables sueltos, conductores contaminados, defectos, pequeños espacios entre piezas conductoras y tierra, problemas de terminales, errores de tolerancia en cables IDC, entre otras.

Existen 3 tipos de pruebas de alta tensión:

- **Prueba de ruptura dieléctrica (Dielectric Breakdown Test):** consiste en incrementar el nivel de tensión hasta que el dieléctrico se rompa, esto con el fin de determinar la carga más alta de voltaje que el cable es capaz de soportar. Esta prueba es aleatoria debido a que el dieléctrico es destruido.
- **Prueba de tensión de voltaje de rigidez dieléctrica (Dielectric Withstanding Voltage Test):** el procedimiento de esta prueba consiste en aplicar una carga estándar de voltaje, la corriente de fuga debe de estar controlada por debajo de límite preestablecido, además de un tiempo determinado. En esta prueba el dieléctrico no es destruido permitiendo a un inspector revisar el producto en un 100%.

Al parecer estos tipos de pruebas resultan algo complicadas, pero en realidad es de suma importancia ya que con esto se garantiza productos eléctricos y electrónicos de calidad [38].

### **3.11.2.3. Prueba de aislamiento**

La razón principal por lo que se lleva a cabo esta prueba, es para garantizar la seguridad tanto de manera personal como pública. Además, es importante para proteger y prolongar la vida del equipo sometido a esta prueba, los instrumentos utilizados para este tipo de prueba, son los comprobadores de resistencia de aislamiento, los cuales determinan el grado de integridad de las bobinas.

Las pruebas de aislamiento periódicas proporcionan una valiosa información sobre el estado de deterioro y son de gran ayuda para predecir posibles fallos en el equipo.

Para esta prueba se emplea una tensión de valor alto en CC (Corriente continua), con el objetivo de volver más notoria la corriente de fuga. Los instrumentos diseñados para este ensayo están diseñados para proporcionar una tensión no destructiva y muy controlada.

#### **Instrumentación:**

- Comprobador de resistencia de aislamiento para alto voltaje (fluke 1507/1503)

En general, los aislantes que están en buenas condiciones mostrarán un índice de polarización “alto” mientras que los dañados no.

**Tabla 3.3.** Tensión de prueba y valores de aislamiento mínimos recomendados [39].

<b>Valor PI</b>	<b>Estado del material a prueba</b>	<b>Resistencia de aislamiento mínima recomendada en mega ohmios</b>
250	500	25
600	1000	100
1000	1000	100
5000	2500	1000
15000	2500	5000

#### **3.11.2.4. Pruebas IP (Protección contra ingreso de Objetos Líquidos y sólidos).**

Las pruebas IP se las realiza en la declaración del fabricante de acuerdo con el lugar de uso y el fin que se le va a dar al aparato eléctrico o electrónico, con esto se conoce si el producto cumple con el grado de protección requerido. Esta prueba se la lleva a efecto en laboratorios que cumplan con los estándares exigidos.

**Primera cifra característica:** Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, entre estos cuerpos extraños se encuentra el polvo.

**Tabla 3.4.** Significado de la primera cifra característica [40].

<b>Primera cifra</b>	<b>Significado</b>
IP 0X	Ninguna protección.
IP 1X	Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 50mm.
IP 2X	Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 12mm.
IP 3X	Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 2,5mm.
IP 4X	Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 1mm.
IP 5X	Aparatos protegidos contra el polvo.
IP 6X	Aparatos completamente protegidos contra el polvo.

**Segunda cifra característica:** Protección contra la penetración dañina del agua.

**Tabla 3.5.** Significado de la segunda cifra característica [40].

<b>Segunda cifra</b>	<b>Significado</b>
IP X0	Ninguna protección.
IP X1	Aparato protegido contra la caída vertical de gotas de agua.
IP X2	Aparato protegido contra la caída de gotas de agua con inclinación máxima de 15°.
IP X3	Aparato protegido contra la lluvia con caída hasta 60° de inclinación.
IP X4	Aparato protegido contra el rociado de agua.
IP X5	Aparato protegido contra los chorros de agua.
IP X6	Aparato protegido contra las olas y chorros de agua potentes.
IP X7	Aparato protegido contra los efectos de la inmersión temporal.
IP X8	Aparato protegido contra los efectos de la sumersión.

### 3.11.2.5. Prueba de medida de potencia

Con la ejecución de esta prueba se conoce la cantidad de energía consumida por unidad de tiempo. Al no existir un sistema eléctrico ideal siempre habrá pérdidas por el fenómeno de transferencia de energía, por lo general las pérdidas en un sistema eléctrico se manifiestan en forma de calor. Con esto solo lo que se logra es la disminución de la eficiencia del sistema eléctrico.

Para dichas pruebas se conectan cargas de diferente naturaleza (inductivas, resistivas, capacitivas, mixtas) variando su valor desde su mínimo a su máximo, a diferentes periodos de tiempo, para después analizar el comportamiento del aparato eléctrico mediante un analizador de potencia.

Medir la potencia con el mayor nivel de precisión posible es de vital importancia por varias razones, entre ellas están:

- Aumento de la eficiencia energética.
- Minimización del consumo de tiempo y costes.
- Cumplimiento de estándares nacionales e internacionales.
- Garantía en la seguridad de productos y operadores

#### **Instrumentación:**

- Analizador de potencia.

Para realizar las pruebas pertinentes en los diferentes circuitos y sistemas eléctricos, se utilizan los analizadores de potencia, con los cuales se llevan a efecto diferentes tipos de análisis que incluyen:

- **Análisis de flujo de carga:** se utiliza para establecer la magnitud de componentes como voltaje, corriente, ángulo de fase, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente y factor de potencia en condición de operación de estado estable. Por otro lado, no es necesario el análisis y la medición de potencia reactiva de distorsión y potencia reactiva armónica, en cargas no lineales.
- **Análisis de cortocircuito:** se lo lleva a efecto para recopilar información de posibles escenarios de operación del sistema eléctrico, con la finalidad de determinar la capacidad individual del sistema para interferir o soportar las corrientes presentes en el circuito.
- **Análisis de coordinación:** se pone en ejecución para la fundamentación del estudio en las protecciones contra sobrecorriente. Se debe tomar en consideración las características del dispositivo de protección, incluido la configuración, para de esta manera determinar el rango operativo ideal [41].

### **3.12. PRUEBAS ELÉCTRICAS EN AUTOTRANSFORMADORES**

Las pruebas eléctricas se llevan a cabo para controlar que los autotransformadores cumplan con una serie de requisitos de diseño. A continuación, se presentan los ensayos más comunes.

#### **3.12.1. Prueba de medición de resistencia**

Sirve para corroborar que la mayoría de conexiones internas realizadas en los devanados, están realizadas de manera firme y correcta. Para ejecutar esta prueba se utiliza como instrumento de medición el óhmetro. Un cambio en la medición de resistencia a corriente continua determinará la existencia o ausencia de espiras en condición de cortocircuito.

#### **Método de medición:**

Norma ANSI/IEEE C57.12.90-2006, NTE INEN 2118:98

Método de caída de tensión: esta prueba se la lleva a cabo cuando la corriente nominal del devanado que se va a realizar la prueba es superior a 1 amperio. Para la puesta en marcha de dicha prueba se hace circular una corriente directa que no exceda el 15% de la corriente nominal. El valor de la resistencia se obtiene por la ley de ohm por medio de los datos de voltaje y corriente obtenidos.

### **3.12.2. Prueba de relación de transformación**

Esta prueba indica si el autotransformador ha sido fabricado con la relación adecuada de espiras y si tiene un diferencial porcentual óptimo entre tomas.

#### **Método de medición:**

Norma ANSI/IEEE C57.12.90-2006, NTE INEN 2117:98

El método comúnmente más ejecutado, utiliza un equipo de pruebas de relación de transformación, que básicamente está compuesto de un generador interno, que cumple la función de suministrar un voltaje de ensayo a un transformador de referencia en el equipo y al devanado secundario del autotransformador puesto a prueba. Los fabricantes de autotransformadores sugieren que la tensión promedio utilizada sea un 10% del voltaje nominal, aunque en algunos casos no resulte del todo práctico.

### **3.12.3. Prueba de vacío.**

Este tipo de prueba tiene como finalidad determinar la pérdida de potencia en el hierro, por medio de las medidas de potencia, intensidad y control en el bobinado primario. En este caso el bobinado secundario queda abierto.

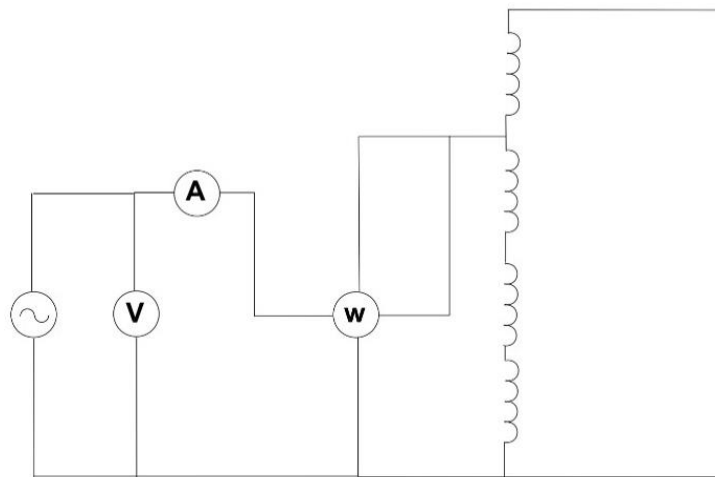
Las pérdidas pueden ser:

- Las pérdidas debido a corrientes parásitas que se presentan debido a que el flujo alterno induce en el núcleo de acero una F.E.M, el cual produce una circulación de corrientes de magnitud pequeña en la superficie del núcleo, dando como resultado un fenómeno de calentamiento del mismo.
- Pérdidas por histéresis debido a que, según su frecuencia, el fenómeno de flujo magnético se invierte varias veces por segundo [42].

#### **Método de medición:**

Norma ANSI/IEEE C57.12.90-2006, NTE INEN 2114:04 [42].

Para esta prueba se deja abierto el lado secundario, además se conecta el voltímetro, amperímetro y vatímetro tal como se muestra en la Figura 3.18. En el otro extremo se aplica una tensión nominal [42].



**Figura 3.18.** Configuración para la prueba en vacío en autotransformador [43].

**Tabla 3.6.** Valores aceptables de pérdidas de potencia en vacío en autotransformadores [42].

Potencia nominal en KVA	$P_0$ (W)
3	21
5	31
10	52
15	68
25	98
37.5	130
50	160
75	214
100	263
167	379

#### 3.12.4. Prueba de cortocircuito

Este tipo de prueba tiene como finalidad determinar la pérdida de potencia en el cobre o en los bobinados sometidos a una pequeña tensión y originando de manera voluntaria un cortocircuito en el lado secundario [42].

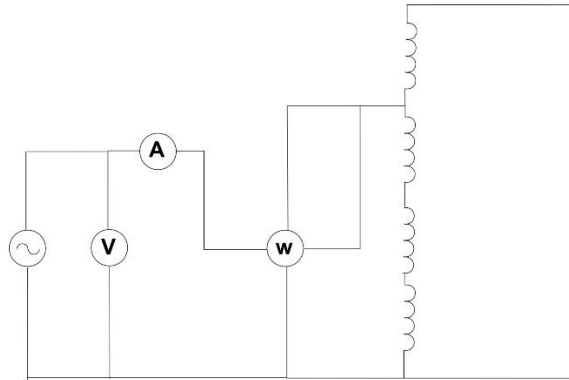
Esta pequeña tensión aplicada está en el rango del 3% al 10% del valor del voltaje nominal [44].

#### Método de medición:

Norma ANSI/IEEE C57.12.90-2006, NTE INEN 2114:04.

Para esta prueba se procede a cortocircuitar el lado secundario, además se conecta el voltímetro, amperímetro y vatímetro tal como lo muestra la Figura 3.19.





**Figura 3.19.** Configuración para la prueba de cortocircuito en autotransformador [43].

**Resistencia de cortocircuito**

$$R_{CC} = \frac{P_{CC}}{I^2} \tag{3.40}$$

**Reactancia de cortocircuito**

$$Z = \frac{V}{I} \tag{3.41}$$

$$X_{CC} = \sqrt{Z^2 - R^2} \tag{3.42}$$

**Tabla 3.7.** Valores aceptables de pérdidas de potencia en cortocircuito en autotransformadores [42].

Potencia nominal en KVA	$P_o$ (W)
3	70
5	91
10	142
15	192
25	289
37.5	403
50	512
75	713
100	897
167	1360

**3.12.5. Prueba de aumento de temperatura**

La mencionada prueba se la efectúa en fábrica con el fin de establecer aumentos de temperatura de todos los componentes.

### 3.12.6. Pruebas de impulso

Se llevan a cabo para simular diferentes escenarios en los que puede estar inmerso el autotransformador. Entre ellas están:

- Onda completa reducida, instaura el patrón de una onda.
- Onda cortada, crea un escenario de un colapso de la tensión o a su vez la descarga dada por una onda viajera por la superficie de un aislador.
- Ondas completas, aparenta una descarga de un rayo lejano
- Frente de onda, se simula el impacto directo de una descarga atmosférica (rayo).

### 3.12.7. Prueba de sonido audible

Los autotransformadores se deben construir de tal manera que el nivel de ruido, cuando este se energiza a frecuencia y tensión nominal, y sin carga no sobrepase los niveles mostrados en la tabla. De tal manera que no afecte al medio en donde va a ser instalado.

**Tabla 3.8.** Valores aceptables de ruido [42].

Capacidad (KVA)	Nivel (dB)
0-50	48
51-100	51
101-300	55

#### Método de medición:

Norma C57.12.90 [42].

Para ejecutar dicha prueba se coloca el instrumento de medida (sonómetro) a una distancia aproximada a la mitad de la altura del autotransformador [42].

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.1.1. Método analítico sintético.**

Se utilizará este método debido a que se estudiará de manera separada tanto las variables del prototipo como los diferentes tipos de cargas, tendrán un estudio separado detallado y profundo. Los distintos parámetros van a estar sujetos a diferentes tipos de mediciones por equipos eléctricos como amperímetros, para luego integrarlos y analizarlos en conjunto.

#### **4.1.2. Método inductivo.**

se utilizará el método inductivo debido a que se va a partir de hechos particulares para llegar a una conclusión general, es decir en el caso del prototipo una vez implementado, se realizará diferentes pruebas y mediciones de diferentes parámetros como voltaje, intensidad, para de esta manera determinar la importancia del suministro de un buen nivel de voltaje para el mejoramiento de ciertos tipos de parámetros en la cargas, como rendimiento, alargamiento de la vida útil y el nivel de presión sonora en el caso de algunos aparatos.

#### **4.1.3. Observación.**

Se utilizará esta técnica debido a que nos servirá como instrumento para corroborar el funcionamiento óptimo del prototipo después de ser implementado en las diferentes cargas

#### **4.1.4. Experimentación**

Se utilizará esta técnica debido a que realizará diferentes pruebas en el autotransformador y en el prototipo para verificar su desempeño y realizar los respectivos cambios o adecuaciones para cumplir con los objetivos planteados. En base a la normativa investigada y la disponibilidad equipos del laboratorio de alto voltaje de la universidad Técnica de Cotopaxi, las pruebas a ejecutarse son, en el autotransformador: prueba de cortocircuito, circuito abierto y sonido audible, en el prototipo: verificación de parámetros iniciales, prueba IP, campos electromagnéticos, ensayo de comportamiento del prototipo a voltaje mínimo, nominal y máximo con cargas inductivas, resistivas y capacitivas. Además, para darle el uso al cual fue diseñado principalmente el prototipo, se probará con equipos amplificadores de audio.

Para la prueba en cortocircuito se utilizará la norma ANSI/IEEE C57.12.90-2006, a partir de esta prueba se obtendrá parámetros como la potencia de pérdidas en el cobre además de la corriente resistencia y reactancia de cortocircuito.

En el caso de la prueba en vacío, se utilizará la norma ANSI/IEEE C57.12.90-2006, a partir de este ensayo se obtendrá la potencia de pérdidas en el entrehierro.

Para la prueba de sonido audible se utilizará el método de medición Norma C57.12.90, a partir de esta prueba se verificará si el nivel de ruido que genera el autotransformador está dentro del rango avalado en la mencionada norma.

Para la prueba de campos electromagnéticos se lo hará en base a la norma ANSI/IEEE 644-1994, adoptada en el Ecuador, para limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (Hasta 300 GHz) de la Comisión Internacional De Protección De Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), 1998.

En el caso de la prueba de protección IP se tomará como base la norma IEC 60529, además al no contar con instrumentos especializados para este tipo de pruebas, se lo desarrollará mediante estimación visual tomando en consideración las características de construcción del prototipo y en base a las tablas 3.4 y 3.5.

Las demás pruebas descritas anteriormente se las realizará para verificar el óptimo desempeño del prototipo en todos los posibles escenarios de funcionamiento.

## **4.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS**

### **4.2.1. Especificaciones y requisitos del prototipo**

El propósito de esta propuesta tecnológica es diseñar e implementar un prototipo automático que permita mantener un nivel de voltaje en el rango de 104 a 116 VAC en donde las condiciones no lo permitan, compensando con un voltaje de  $\pm 6$  V.

Existen tres rangos de control en función del voltaje de entrada:

- El primer rango (98 a 104 VAC), Existe una compensación de +6 V.
- El segundo rango (104 a 116 VAC), no existe ningún tipo de compensación.
- El tercer rango (116 a 122 VAC), Existe una descompensación de -6 V.

Por lo tanto, el prototipo debe cumplir con las siguientes especificaciones: tener configuración monofásica con alimentación en un rango de 98 a 122 VAC; proporcionar una capacidad en potencia aparente de 2.5KVA, proporcionar voltaje de salida en un rango de 104 a 116 V; disponer de un interruptor principal para energización de la misma; proveer de una pantalla

donde se visualicen datos como el voltaje de entrada, voltaje de salida, además de la corriente y la potencia de salida.

#### 4.2.2. Cálculo de potencia para el dimensionamiento del autotransformador

##### 4.2.2.1. Detalles generales de las cargas a alimentar

- 1 amplificador de audio de 950 watts
- 1 amplificador de audio de 660 watts
- 1 amplificador de audio de 330 watts
- 1 procesador de efectos 22 watts
- 1 crossover de audio 30 watts
- 1 procesador de audio de 22 watts
- 1 ecualizador de audio de 24 watts

**TOTAL= 2098WATTS=2.098KW**

Cálculo de los KVA:

$$KVA = \frac{KW}{Fp} \quad (4.1)$$

$$KVA = \frac{2.098}{0.96}$$

$$KVA = 2.18 \approx 2.5 KVA$$

#### 4.2.3. Dimensionamiento del autotransformador

##### 4.2.3.1. Sección del núcleo:

De acuerdo a (3.4):

$$S_n = 0.903\sqrt{2500}$$

$$S_n = 45.15 \text{ cm}^2$$

Teniendo la sección se calcula el espesor del núcleo

De acuerdo a (3.5):

$$L = 2 \text{ in} = 2 * 2.4 = 5.08 \text{ cm}$$

$$45.15 = 5.08 * \text{grueso}$$

$$\text{Grueso} = 8.88 \text{ cm}$$

##### 4.2.3.2. Cálculo de pérdidas

- **Por corrientes de Foucault**

De acuerdo a (3.36):

$$\frac{2.2 * 60^2 * 100^2 * 88.8^2}{10^{11}} = 0.6 \text{ W/Kg}$$

- **Por histéresis**

De acuerdo a (3.37)

$$0.0015 * 60 * 1^2 = 0.09 \text{ W/Kg}$$

Pérdidas totales:

$$(0.6 * 33) + (0.09 * 33) = 22.77 \text{ W}$$

#### 4.2.3.3. Número de espiras de la bobina común (Nebp)

De acuerdo a (3.7):

$$N = \frac{110 * 10^8}{4.44 * 60 * 45.15 * 10000}$$

$$N = 91.45 \approx 92 \text{ vueltas}$$

#### 4.2.3.4. Número de espiras de la bobina serie (NebS)

De acuerdo a (3.8):

- Para 116V (+6)

$$NebS = \frac{91.45 * 116}{110}$$

$$NebS = 96.43 \approx 97 \text{ vueltas}$$

- Para 104V (-6)

$$NebS = \frac{91.45 * 104}{110}$$

$$NebS = 86.46 \approx 87 \text{ vueltas}$$

#### 4.2.3.5. Cálculo de la relación de transformación

De acuerdo a (3.34):

- Para 116 V:

$$\frac{92 + 5}{92} = 1.05$$

- Para 104 V:

$$\frac{92 - 5}{92} = 0.945$$

**4.2.3.6. Cálculo de las intensidades**

De acuerdo a (3.10):

$$I = \frac{2500}{110} * \cos(0.96) = 22.724A$$

De acuerdo a (3.24):

$$I_H = 22.74 \frac{92}{5 + 92} = 21.56 A$$

De acuerdo a (3.25):

$$I_L = 21.56 \frac{5 + 87}{87} = 22.79 A$$

**4.2.3.7. Cálculo de la sección del conductor**

Para este caso se asume una densidad de  $2.5 \frac{\text{amperes}}{\text{mm}^2}$

De acuerdo a (3.35):

$$A_{\text{conductor}} = \frac{22.79}{2.5} = 9.116 \text{ mm}^2$$

Con la sección del conductor, de acuerdo a la tabla 3.1 el conductor idóneo, es el # 8.

**4.2.3.8. Cálculo de protecciones**

$$I = I_{\text{max}} * 1.25 \quad (4.2)$$

$$I = 22.79 * 1.25$$

$$I = 28.487 A$$

De acuerdo al resultado obtenido el más idóneo es un interruptor termomagnético unipolar tipo C de 30 A.

**4.2.4. Selección del autotransformador**

La selección del autotransformador se realiza de una variedad de autotransformadores encontrados en el mercado (ver Tabla 4.1), se elegirá el que mejor se asimile de acuerdo a los requerimientos mínimos establecidos en el dimensionamiento, además del costo. En base a este análisis y conforme a los disponibles en el mercado, se ha determinado como el más idóneo a aquel que presente las siguientes características:

- **Potencia:** 2.5 KVA
- **Fase:** Monofásico
- **Voltaje entrada:** 98-122 VAC
- **Voltaje salida:** 104-116 VAC

- **Corriente:** 23 A
- **Frecuencia:** 60 Hz

Dada la potencia, los niveles de voltaje de entrada y salida, la corriente y la frecuencia, además que el autotransformador va a ser utilizado mayormente en ambientes cubiertos, se ha elegido el autotransformador señalado en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Características de diferentes modelos de autotransformadores [45], [46].

Modelo	Corriente (A)	Capacidad	Frecuencia (Hz)	Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)	Tipo	Fase	Costo (\$)
RA1F250.100	10	2 KVA	50	230	5-230	seco	monofásico	827
Autotransformador tipo seco	1.5	300 VA	50/60	127	115-400	seco	Monofásico	90
RA1F250.200	30	4 KVA	50	230	5-230	seco	monofásico	1086
TR 24	1.2	200 VA	50/60	127	115-400	encapsulado	monofásico	82
JESIVA, S.L	1.2	200 VA	50/60	0.5-1000	0.5-1000	seco	monofásico	105
Autotransformador de potencia Zonmex	5-25A	25 VA-100KVA	50/60	personalizado	personalizado	seco/aceite	monofásico	957

Posterior a la adquisición del autotransformador con las características indicadas, se realizará la adaptación del mismo de acuerdo al uso que se le va a dar y con ello, cumplir con los objetivos del presente proyecto.

#### 4.2.5. Selección del sistema de control para la regulación de voltaje automático

Para realizar la regulación automática del nivel de voltaje se precisa los siguientes requisitos descritos a continuación:

- Se necesita una unidad de monitoreo que realice el control mediante la adquisición de señales digitales y analógicas, además que permita visualizar parámetros previamente programados como voltaje de entrada/salida, corriente y potencia de salida.
- Voltaje de alimentación: +12 VDC-GND.
- Entradas analógicas:
  - Dos entradas analógicas para medición de voltaje (monitoreo y control).
  - Una entrada analógica para medición de corriente (monitoreo y control).
- Salidas digitales:



Se requieren cuatro salidas digitales de 5 V para el accionamiento de los elementos de potencia.

- De bajo costo pero que cumpla con todas las especificaciones descritas anteriormente.

### **Opciones de sistemas de control:**

- **PLC LOGO**

La terminología PLC proviene de las siglas en inglés Programmable Logic Controller, que traducido al idioma español se entiende como “Controlador Lógico Programable”. Se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha fabricado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. De manera en general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

### **Características:**

Para que un PLC cumpla con su función de controlar, es necesario realizar la programación con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. La información es recibida por captadores, que, gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación.

Un PLC es posible de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control. Dentro de las funciones que un PLC cumple se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los preaccionadores y accionadores. Además, cumplen la función vital de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.

Para abarcar las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Además, son de tamaño reducido, adicional a esto permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Sin embargo, y como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLCs, presentan ciertas desventajas como su costo de adquisición además de la necesidad de contar con técnicos calificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.

### **Componentes principales**

- Unidad central de procesamiento.
- Grupo de entradas (I).

- Grupo de salidas (O).



**Figura 4.1.** Partes de PLC Logo [47].

**Entradas:** Las entradas pueden recibir señales de tipo digital, por citar un ejemplo, interruptores, o de tipo analógico como sensores de temperatura. Estas señales internamente sufren un proceso de transformación en señales compatibles con los microprocesadores y demás circuitos integrados de procesamiento interno.

Dispone de 8 entradas, las cuales 3 son analógicas.

**Salidas:** El PLC modifica las salidas, inicialmente con señales de formato digital y posteriormente a otro formato de acuerdo a los actuadores que se vayan a utilizar, ya sean digitales o analógicos.

Dispone de 4 salidas.

**Módulos de adaptación:** a las entradas se pueden conectar sensores, pulsadores interruptores barreras fotoeléctricas, reguladores de luz naturales [47].

Las propiedades que deben cumplir los sensores para PLC logo se detallan en el Anexo D.

### **Funciones para programación en bloques**

Posee las siguientes funciones:

- Constantes (digitales y analógicos)
- Funciones básicas
- Funciones especiales (Temporizadores, contadores, analógicos y otros).

### **Programación bloques de entrada**

Se puede usar hasta 12 entradas. Su numeración depende en gran medida del orden en que hayan sido añadidos, si se borra alguna entrada, las demás entradas no se remuneran permanecen con su numeración de orden asignado. Algunos PLC permiten procesar señales

analógicas. Es decir, se pueden aplicar hasta 2 entradas. Mediante parámetro de bloque, se puede asignar entradas diferentes.

### **Programación bloques de salida**

Los bloques de salida representan los bloques de salida de Logo, se puede aplicar hasta 8 salidas. A la numeración de las salidas tiene la opción de variar sus parámetros mediante asignación expresa. Así por citar un ejemplo, los bloques marcadores devuelven, a su salida, la señal que se solicita a su entrada. El programa permite hasta 8 marcadores. La asignación de numeración puede ser alterada mediante nuevos parámetros.

### **Módulo de ampliación analógico**

Cuando el número de entradas analógicas no son suficientes, es necesario adquirir un módulo expensor. Un ejemplo de módulo expensor es: módulo expensor analógico GED1055-1MM00-0BA2, el cual el precio está alrededor de \$151.

### **Vida útil**

La vida de servicio aproximada está relacionada al uso real del volumen de escritura es decir a la relación del número de procedimientos de borrado entre la escritura mínima, además de un mantenimiento periódico.

En la tabla siguiente se proporcionan especificaciones de algunos modelos [48].

**Tabla 4.2.** Vida útil de algunos modelos de PLC [48].

<b>Producto</b>	<b>Número de procedimientos de borrado / escritura mínima</b>	<b>Vida útil</b>
PLC SIMATIC S7-1200, 24 MB	500000	10 años
PLC SIMATIC S7-1200, 256 MB	200000	10 años
PLC SIMATIC S7-1200, 2 GB	100000	10 años

Algunas de sus ventajas:

- Mejor monitoreo de sus funciones.
- Diseñado para ambientes de trabajo robusto.
- Circuitos certificados.
- Facilidad de gobernar varios actuadores con el mismo autómata.

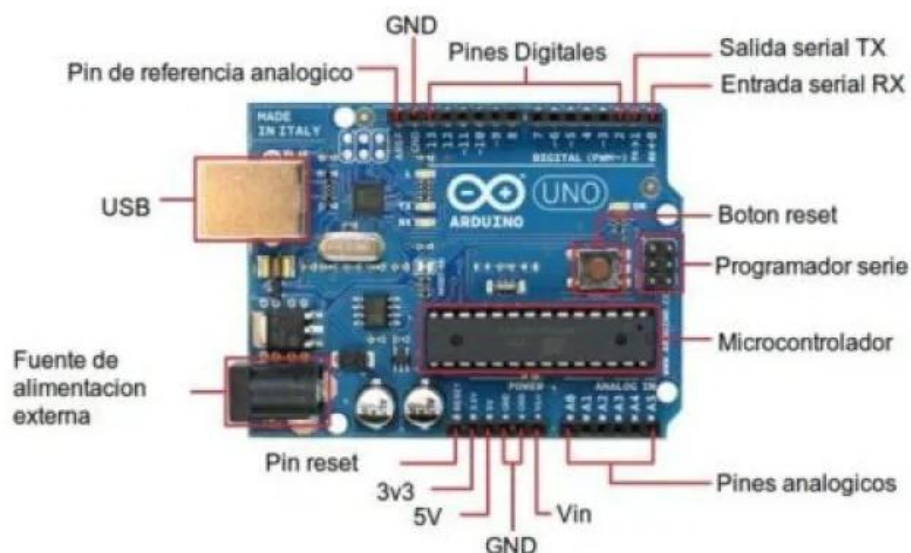
Algunas de sus desventajas:

- Escases y precio alto de módulos prediseñados (sensores).
- Documentación exacta de ejemplos de guía para proyectos futuros.
- Cada marca tiene su propio diseño de bloques es decir no es estandarizado
- Costo elevado para controlar tareas muy pequeñas o sencillas.
- Mano de obra especializada.

Los precios de PLC de gamas bajas y medias con software se detallan en el Anexo E.

### • Arduino UNO

La placa Arduino Uno es una placa electrónica de uso genérico y de bajo costo, para la cual existen diversos ambientes públicos de programación. Diseñada originalmente por el Interaction Design Institute (Ivrea, Italia), se ha propagado en diferentes versiones y ha sido utilizada en diversos proyectos. Para las placas de la familia Arduino existen varias extensiones llamadas 'shields', que amplían la funcionalidad del dispositivo mediante sensores y/u otros. En este trabajo se utiliza el ambiente de programación estándar Arduino IDE (utiliza lenguaje similar a C++) [49].



**Figura 4.2.** Placa Arduino uno [21].

### Características:

Dispone de 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. Tiene

toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador opere, simplemente hay que conectarlo a la energía por el puerto USB o con un transformador AC-DC [20].

Arduino ha surgido rápidamente como una opción atractiva para el manejo de sensores, incluyendo la opción de incluir importantes prestaciones para la adquisición de datos, no implican una inversión económica importante para el usuario. El costo promedio de una tarjeta Arduino es de 25 USD; considerando la versión Estándar, y 45 USD para una versión más completa. Ambas opciones poseen entradas digitales y analógicas, así como conectividad con el computador. Además, el entorno de desarrollo de Arduino es de libre acceso y puede ser descargado de su sitio web [50].

Es un elemento de fácil conectividad a una red y adicionalmente permite implementar un servidor de protocolos de alto nivel, como el Hypertext Transfer Protocol (HTTP); tiene memoria, capacidad de procesamiento autónomo, compiladores de lenguajes de programación como C y puertos físicos para interconectar con dispositivos [51].

Las especificaciones técnicas de Arduino UNO están detalladas en el Anexo B.

**Entradas:** Las entradas pueden recibir señales de tipo digital como analógicas, en el caso de señales analógicas, las señales pueden provenir de sensores de corriente, voltaje, temperatura. Estas señales son transformadas para ser compatibles con el procesador interno.

Dispone de 6 entradas analógicas y digitales.

**Salidas:** Arduino uno tiene la opción de configurar las salidas tanto en digital como en analógico, además posee 6 salidas PWM.

Dispone de 14 salidas (6 proporcionan salida PWM)

**Módulos de adaptación:** A las entradas se pueden conectar sensores, pulsadores interruptores barreras fotoeléctricas, reguladores de luz naturales.

**Funciones para programación en bloques:** Las funciones para la programación en bloques son de carácter estandarizado. Se puede encontrar las siguientes:

- Funciones de entrada/salida digital (I/O: Input/Output).
- Funciones de entrada/salidas analógicas.
- Funciones avanzadas de entrada/salida.
- Funciones de entrada/salida del Arduino Due.
- Funciones temporales.

- Funciones matemáticas.
- Funciones trigonométricas.
- Funciones aleatorias.
- Funciones de manipulación de bits y bytes.
- Funciones de gestión de interrupciones.
- Funciones de gestión de comunicaciones.
- Funciones de gestión del puerto USB (Leonardo y Due solamente).
- Funciones de conversión de tipos.
- Otras funciones.
- Programación bloques de entrada
- Programación bloques de salida

### **Programación:**

Se utiliza el marco de trabajo de programación de código abierto para microcontroladores Wiring, que se basa en el lenguaje de programación Processing que fue desarrollado en Java con sintaxis y semántica similares a C y C++.

Un programa Arduino consta básicamente de dos funciones esenciales, tal como la función principal (main) en C y Java, pero esta vez con estructuras con un grado de diferencia: la función setup y la función loop. La función setup tiene su ocurrencia al inicio de funcionamiento de sistema Arduino (sólo al inicio), con el objetivo de establecer valores y/o condiciones iniciales de funcionamiento, mientras que la función loop es ejecutada de manera cíclica durante el funcionamiento del sistema Arduino (similar a un ciclo infinito). La velocidad de re-ejecución de la función loop se determina por la velocidad de la placa base Arduino, junto con la velocidad de trabajo e interacción entre los componentes que se usan en cada ejecución de dicha función.

### **Vida útil**

La vida útil está ligado a las veces que se van a borrar y grabar los sketches. Para Arduino UNO tiene esta especificación:

Write/ Erase Cycles: 10000 Flash/100000 EEPROM.

Por citar un ejemplo, si al día se graban y borran un total de 5 veces en Arduino UNO, se tendría  $10000/5=2000$  días, 5.5 años aproximadamente [52].

Algunas de sus ventajas:

- Documentación de ejemplos y aplicaciones para el uso en futuros proyectos.
- Módulos prediseñados económicos y de uso adaptable (sensores).
- Electrónica adecuada para el control de procesos automatizados.

Algunas de sus desventajas:

- Diseñado para su uso en aplicaciones en ambientes estándar.
- Plataforma no estandarizada.

El precio de los microcontroladores Arduino UNO y sensores de diferentes gamas se detallan de una mejor manera en el Anexo F.

Por otro lado, la elección del sistema de control ha sido argumentada en base a trabajos aplicativos ya realizados con el uso de PLC logo versus Arduino UNO, lo cual se describe a continuación.

En [53], realizan el proyecto denominado “Análisis y Diseño de interfaz para conexión de PLC basado en Arduino con PLC Allen bradley a través de Ethernet”, donde resaltan el uso de Arduino Uno en proyectos de micro control frente al uso de PLC. En este estudio se señala que para la conexión se debe seguir un proceso, el cual consiste como parte inicial monitorizar los cambios de los valores por el M-Duino, a fin de que si este detecta un cambio que supere límites establecidos, reaccione con cierto tipo de alerta o mensaje y gestione este problema ofreciendo de manera rápida, el instante de muestreo (timestamp) y la calidad a los datos enviados, además de la calidad específica es decir si el dato es correcto (bueno), no disponible (malo) o desconocido (dudoso), para tal tarea el microcontrolador Arduino cumplió satisfactoriamente con dicho proceso al igual que PLC. Sin embargo, se indica también, los costos de adquisición de ambos controladores, donde Arduino UNO es mucho más asequible que PLC debido a los requerimientos de licencia y costos.

En el estudio realizado por Tapia & Manzano, denominado: “Evaluación de la plataforma Arduino e implementación de un sistema de control de posición horizontal”, se evaluó el comportamiento y cumplimiento de tareas de Arduino como controlador al enlazar mecánicamente un eje transversal a un servomotor, dando como resultado de control satisfactorio con el uso de varias funciones y ejecución de varias órdenes enlazadas a la vez. Enfatizan también el uso de tarjetas Arduino por ser piezas muy asequibles y con gran versatilidad para el desarrollo de proyectos de control automático en el campo robótico como industrial [54].

Por su parte, en el estudio realizado por [50], denominado: “Construcción de un sistema de bajo costo para el uso y evaluación de sensores semiconductores para gases”, donde se destaca el uso de Arduino como una opción atractiva para el manejo de diferentes sensores al no aplicar una inversión monetaria importante, además se señala su seguridad para el control de funciones asignadas frente al uso de otros controladores con el mismo fin.

Asimismo, hay que enfatizar que debido a la seguridad de control que presenta Arduino, diversas empresas han empezado a comercializar sistemas de control programables aptos para entornos industriales basados en Arduino [55].

Fundamentándose en los estudios citados, y en las características como, número de salidas y corriente de salida, se ha encontrado que ambos sistemas de control son aptos para su aplicación, sin embargo, se requieren tres entradas analógicas para el funcionamiento del sistema de control del prototipo. Ambas versiones de PLC disponen de dos entradas, por lo que es necesario adquirir un módulo expensor de entradas, lo que implica un costo adicional. Por lo tanto, se ha elegido Arduino UNO como unidad de control para el prototipo.

**Tabla 4.3.** Características de Arduino UNO VS PLC logo [20], [47], [49], [50], [51] [56].

<b>Características</b>	<b>Arduino UNO</b>	<b>PLC logo! 24</b>	<b>PLC SIMATIC S7-1200</b>
Voltaje de alimentación	12 V	24 V	24 V
Número de entradas	(6 analógicas) (14 digitales)	(2 analógicas) (8 digitales)	(2 analógicas) (6 digitales)
Número de salidas	(14 digitales)	2 analógicas/ 4 digitales	4 digitales
Robustez	menos robusto	robusto	robusto
Costo	\$ 16	\$ 240	\$ 605.23
Voltaje de entrada/salida	5 v	0- 24 v	0-24 V
Corriente de salida	200 mA	0 -300 mA	0-300 mA
Alimentación para módulos (sensores)	5 V	24 V	24 V

#### **4.2.5.1. Selección del software de control**

En base a la elección del sistema de control Arduino UNO, el software a utilizar es:

- ✓ Arduino 1.8.13.

#### **4.2.5.2. Selección de la fuente de alimentación para el sistema de control**

Se necesita una fuente de alimentación que cumpla con los requisitos descritos a continuación:

- Voltaje de entrada: 100-240 VAC



- Tensión de salida: 12VDC
- Corriente: 1 A

Por tanto, se elige el siguiente modelo de fuente.

- ✓ Modelo:1210

#### **4.2.5.3. Selección del sistema para la visualización de parámetros**

Para la visualización de los parámetros descritos anteriormente, se ha seleccionado la siguiente unidad:

- ✓ Display LCD color azul 4x20.

#### **4.2.5.4. Selección del sistema para el censo de voltaje de entrada y salida**

Para realizar el censo de nivel de voltaje tanto de entrada como de salida se precisa los siguientes requisitos descritos a continuación:

- Voltaje de alimentación de 5 VDC.
- Voltaje alterno de entrada: 130 VAC.
- Precisión de 0.2%.

Por lo expuesto anteriormente se elige la siguiente unidad:

- ✓ Modelo: AC ZMPT101B.

#### **4.2.5.5. Selección del sistema para el censo de corriente de salida**

Para realizar el censo de corriente de salida se precisa los siguientes requisitos descritos a continuación:

- Voltaje de operación de 5 VDC.
- Corriente máxima: 20 A.
- Señal analógica de bajo ruido.

Por lo expuesto anteriormente se elige la siguiente unidad:

- ✓ Modelo: ACS712 20 A DC.

#### **4.2.5.6. Selección del interruptor de potencia**

Se necesita una unidad que permita tener una conmutación rápida, este elemento sea activado mediante una señal de 5 VDC, lo cual permita activar o desactivar un voltaje de hasta 130 VAC y 40 A, además que cumpla con otros parámetros como:

- Alta confiabilidad.
- Conmutación rápida.
- Larga vida útil.

Por lo expuesto anteriormente se elige la siguiente unidad:

- ✓ Modelo: Relé de Estado sólido Fotek SSR-40 DA 380V (3-32VDC).

#### **4.2.5.7. Selección del sistema de alarma**

Para el sistema de alarma se elige un dispositivo audible denominado:

- ✓ Mini Buzzer AC 120v 50/60 Hz.

Se elige este dispositivo debido a la señal moderada de sonido que genera, lo cual nos servirá como sistema de alarma ante cambios eventuales de voltaje.

#### **4.2.5.8. Diagrama de flujo para el control automático del voltaje**

El programa para la regulación se compone de una serie de comparaciones como se muestra a continuación en el diagrama de flujo detallado en el Anexo G, además su programación en el software Arduino UNO se la presenta en el Anexo H.

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Para implementación del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas se partió de los planos constructivos detallados en el Anexo. Además, se tomó como base para su construcción los lineamientos del manual de normas para compatibilidad electromagnética “CEM” [57] .

Se separa lo más distante posible los elementos que constituyen la parte de potencia (autotransformador, relés de estado sólido) con los elementos de la parte de control (módulo de control, sensores de voltaje y corriente) para evitar cualquier tipo de interferencia y funcionamiento erróneo del prototipo regulador de voltaje.

Adicional a esto se separa el cableado de control y las líneas de voltaje y se coloca por canaletas de aluminio de (2.5 · 1) cm separadas para minimizar cualquier tipo de interferencia externa.

En la Figura 5.1 se puede apreciar la ubicación de los elementos de la parte de potencia, así como también los elementos de la parte de control dentro del gabinete.

El prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas se opta por construirlo con un diseño compacto en un gabinete tipo caja metálica de acero galvanizado de (36 · 36 · 46) cm, previamente aislado para mayor seguridad, cubierto para protegerlo del agua, con una tapa superior de acero de (36 · 36 · 52) cm de acero galvanizado previamente cubierta con pintura aislante y con orificios de un diámetro de 22 milímetros a los laterales con el objetivo de darle una ventilación adecuada al autotransformador de potencia.

El esquema de conexión del autotransformador y los relés de estado sólido (Anexo C), se lo realizó en el software AutoCAD, indicando los relés de estado sólido (R3, R2, R1) Los cuales se activan para entregar diferentes voltajes adaptados y generados en el autotransformador, devanado 2 (116 V) el cual entrega un voltaje con una compensación de +6 voltios, devanado común (110 V) el cual entrega un voltaje idéntico a la fuente de alimentación, es decir sin ningún tipo de compensación y el devanado 1 (104 v) con una descompensación de -6 voltios respectivamente. También se indica cual es el devanado común, y los devanados 1 y 2; los cuales van a alimentar a la carga, que puede ser de tipo inductivo, capacitivo, resistivo o ya de

tipo más específico (amplificadores de audio). Adicional a esto por motivos de seguridad cada nivel de voltaje está conectado un fusible de 30 amperios.

### 5.1.1. Montaje del autotransformador con los elementos constitutivos de la parte de potencia.

En la etapa de montaje se procede a instalar el autotransformador en la caja metálica de acero galvanizado y sujetarlo con los tornillos de media pulgada.

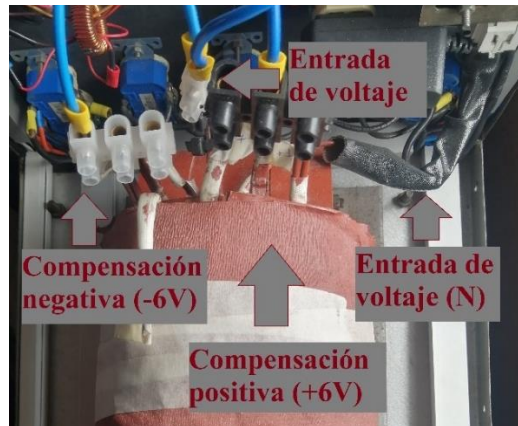
Como se puede observar en el diagrama de conexión (Anexo I), la manera correcta de conexión del autotransformador es a continuación del interruptor termomagnético. El interruptor termomagnético protege al autotransformador y por ende a todo el prototipo, sus especificaciones son las siguientes:

- Interruptor miniatura modelo YCB1-125, 1Px30A /127 VAC.

Para la conexión del autotransformador se utiliza un alambre tipo flexible #12 AWG previamente conectadas al conector de tipo industrial de 4 polos 30 A, el cual su fase denominada R, Viene a la entrada de interruptor termomagnético, el cual ingresa como I1. En la Figura 5.2 se muestra de manera gráfica su conexión.



**Figura 5.1.** Ubicación de los elementos de la parte de potencia y control.



**Figura 5.2.** Conexión del autotransformador.

De acuerdo al diagrama de montaje del autotransformador con los demás elementos de la parte de potencia (anexo I), en la salida del interruptor termomagnético, denominada I2, se conecta la alimentación de la fuente de control denominada C1, con un interruptor para su encendido denominado S1A, de la misma salida del interruptor termomagnético se conecta la luz indicadora de voltaje denominada V1, el resto de conexiones se conecta directamente al neutro de la alimentación primaria. En la Figura 5.3 se muestra de manera gráfica la ubicación de sus diferentes partes.



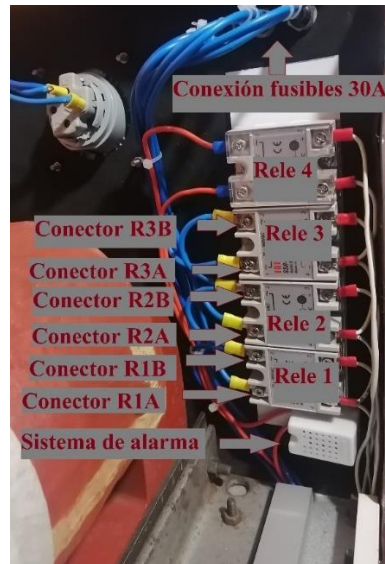
**Figura 5.3.** Conexión de los interruptores y alimentación de la unidad de control.

A continuación, en las salidas del autotransformador se va a conectar los relés de estado sólido, en la denominada R1A se conecta el devanado 1, en R2A se conecta el devanado común, y en R3A se realiza la conexión del devanado 2. Para finalmente R1B, R2B R3B conectar a la bornera de salida.

La conexión de los fusibles de 30 amperios por cada nivel de voltaje se conecta antes de los relés de estado sólido respectivamente, con el fin de proteger al prototipo en el caso de que haya

un exceso de corriente por cualquier anomalía en el funcionamiento. Los relés de estado sólido se instalarán previamente en una plancha de aluminio, con el objetivo a que puedan disipar el calor en los casos que lo ameriten.

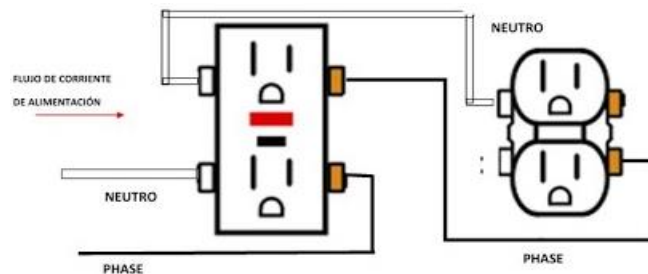
En la Figura 5.4, se muestra de manera gráfica la posición de sus distintos elementos.



**Figura 5.4.** Conexión de los relés con las salidas del autotransformador.

Los elementos utilizados para el montaje de la parte de potencia se detallan en el Anexo J.

Para la conexión de salidas para las diferentes cargas a alimentar, se muestra el diagrama de conexión ver Figura 5.5, se coloca en total 5 tomacorrientes en paralelo con alambre sólido #12 AWG.



**Figura 5.5.** Guía de conexión de los tomacorrientes dúplex [58].

A continuación, en la Figura 5.6 se muestra la conexión de las salidas de alimentación implementadas en el prototipo.



**Figura 5.6.** Conexión de los tomacorrientes dúplex.

### **5.1.2. Montaje del sistema de control**

El diagrama de conexión de todos los elementos que constituyen la parte de control se lo realizó en el software Fritzing.

Como se muestra en el Anexo K los diferentes puertos utilizados como entrada analógica de datos son:

- A0= Sensor para el voltaje de entrada.
- A1= Sensor para el voltaje de salida.
- A3= Sensor para la corriente de salida.

Puertos utilizados como salida digital de datos:

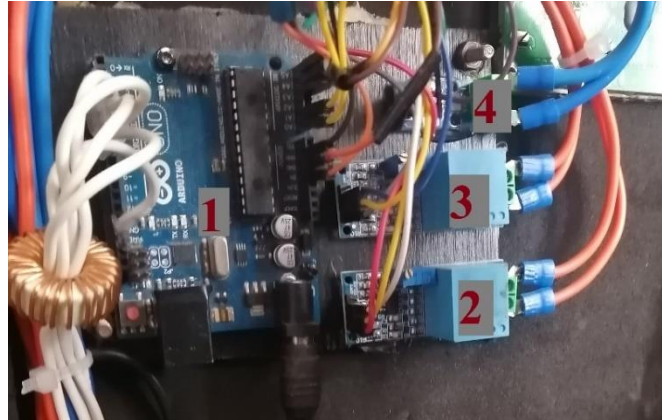
- A4= Conexión en la entrada SDA del circuito PCF8574T para el display LCD 4X20.
- A5= Conexión en la entrada SCL del circuito PCF8574T para el display LCD 4X20.

Puertos utilizados como salida

- 3= Puerto para controlar el relé 2 (110 V).
- 4= Puerto para controlar el relé 3 (116V).
- 5= Puerto para controlar el relé 1 (104 V).
- 6= Puerto para controlar el relé 4 (alarma).

El sensor uno de voltaje de entrada debe de ser energizado previamente con un voltaje de 5 VCC, su salida debe conectarse al puerto A0 de Arduino UNO. El mismo proceso se realiza para el sensor dos de voltaje de salida, con la diferencia que su salida debe conectarse al puerto A1. Se energiza con un voltaje de 5 VCC al sensor de corriente y su salida se conecta al puerto A3. Para la conexión de Arduino UNO al display LCD 4x20 se usan los puertos A4 directamente a la entrada SDA, y el puerto A5 a la entrada SCL del circuito PCF8574 el cual es utilizado para la conexión del display y así hacer uso de la librería del display mencionado.

Los puertos configurados como salidas se conectan en las entradas de los relés de estado sólido, es decir el puerto 3 al relé 2, el puerto 4 al relé 3, el puerto 5 al relé 1, y el puerto 6 al relé 4, tal y como indica su esquema de conexión (Anexo K). En la Figura 5.7, se muestra de manera gráfica sus diferentes partes.



**Figura 5.7.** Partes del sistema de control.

- 1.- Arduino UNO.
- 2.- Sensor de voltaje de entrada AC ZMPT101B.
- 3.- Sensor de voltaje de salida AC ZMPT101B.
- 4.- Sensor de corriente ACS712.

Los puertos configurados como salidas de control se conectan a los relés de estado sólido con alambre flexible #22 AWG. Se utilizan anillos de ferrita en los cables de control con el objetivo de que no ingrese ruido al sistema y no exista un funcionamiento erróneo del prototipo, como se puede ver en la Figura 5.8.



**Figura 5.8.** Disposición de los anillos de ferrita.

### 5.1.3. Montaje de la fuente de alimentación AC/DC

La fuente de alimentación elegida anteriormente (modelo 1210, 12 VDC/1 A) se la puede



visualizar en la Figura 5.9. Su alimentación primaria se la adquiere de en un tomacorriente de 110 VAC instalado previamente en el gabinete del prototipo señalado como V1 (Fase) y V2 (neutro) en su esquema de conexión (Anexo K).



**Figura 5.9.** Fuente de alimentación para la unidad de control.

Todos los elementos utilizados para el montaje de los elementos constitutivos de la parte de potencia se detallan en el Anexo L.

#### **5.1.4. Montaje del sistema para la regulación de voltaje automática conjuntamente con el autotransformador**

En el Anexo M se indica una referencia de la conexión de todo el prototipo, así como también de las diferentes partes que lo componen. El sistema para la regulación está compuesto de un sistema de control (Arduino UNO), el cual controlará, las activación o desactivación del relé 1 (R1), relé 2 (R2), relé 3 (R3) y adicional a este un relé (R4)4 el cual activará un sistema de alarma cuando el voltaje sea mayor a 122 V y menor a 98 V, R4A está conectado al voltaje de alimentación de entrada, R4B tiene conexión a la entrada del sistema de alarma denominado ZA. También está compuesto de un sensor de voltaje que cumple la función de tomar los valores de voltaje de entrada y en base a esto activar o desactivar los relés con los diferentes niveles de voltaje. El sensor de voltaje se conecta en la entrada de voltaje mediante las conexiones VIN 1 Y VIN 2, en la fase y neutro respectivamente. Dispone además de otro sensor de voltaje conectado en los puntos VOUT 1 y VOUT 2, en la fase y el neutro de salida respetivamente; y un sensor de corriente conectado en los puntos IOOUT 1 y IOOUT 2 en la fase de salida, todo esto para monitorear parámetros de potencia corriente y voltaje.

En un contexto general, la parte frontal posee los elementos a maniobrar como interruptores de energización y en la parte posterior posee los portafusibles de 30 amperios y el conector tipo industrial para energizar el prototipo. La ilustración del prototipo se lo indica en el Anexo N y su ilustración de montaje en el Anexo Y.

## **5.2. VALIDACION DEL PROTOTIPO**

### **5.2.1. CONDICIONES GENERALES**

El prototipo automático regulador de voltaje es capaz de mantener un rango de voltaje de salida desde los 104 VAC hasta los 116 VAC, siempre y cuando el voltaje de entrada esté dentro del rango desde los 98 V hasta 122 VAC, o cuando la carga conectada al prototipo no genere una caída de voltaje o un aumento dentro del rango establecido. Adicional a esto, existe un mecanismo de activación de un sistema de alarma y una desenergización en la salida cuando el valor del voltaje de entrada sea menor a 98 y mayor a 122 V.

Existen tres rangos de control en función del voltaje de entrada:

- El primer rango (98 a 104 VAC), Existe una compensación de +6 V.
- El segundo rango (104 a 116 VAC), no existe ningún tipo de compensación.
- El tercer rango (116 a 122 VAC), Existe una descompensación de -6 V.

Se utiliza el sistema de control Arduino UNO debido a que es un controlador que cumple con ciertos parámetros como exigencias y seguridades para el correcto control de procesos. Todo esto está basado en resultados positivos obtenidos en investigaciones y proyectos puestos en marcha anteriormente, además de otras características como bajo costo, una interfaz de fácil interpretación y manejo, todos estos detalles desglosados de mejor manera en el apartado 4.2.5.

Se utiliza el autotransformador descrito anteriormente debido a que cumple con los requerimientos necesarios, por ejemplo, una potencia de 2.5 KVA que es la necesaria para alimentar a los diferentes tipos de cargas. Además, cumple idóneamente con los rangos de voltaje preestablecidos anteriormente.

Debido a que la construcción de este prototipo se presenta como una propuesta de un equipo regulador de voltaje, se ha seleccionado aquellas pruebas posibles a ser aplicadas de acuerdo a la disponibilidad de equipos de prueba dentro del laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi, no obstante bajo un escenario de producción masiva y lanzamiento al mercado se requiere de pruebas en laboratorios certificados equipados con la instrumentación exigida de acuerdo a las normas indicadas anteriormente en la sección 3 (IEC-61000-4-2, TS EN 60335-1, entre otras).

A continuación, se presenta un protocolo con los lineamientos bajo los cuales se realizaron las diferentes pruebas seleccionadas para el prototipo automático regulador de voltaje.

## 5.2.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS

### 5.2.2.1. Pruebas en el autotransformador

#### ➤ Prueba de cortocircuito

**Tabla 5.1.** Datos iniciales de prueba

<b>Estándar de la prueba</b>	ANSI/IEEE C57.12.90-2006, NTE INEN 2114:04
<b>Objetivo de la prueba</b>	Encontrar las pérdidas en el cobre además de los valores de voltaje, corriente, resistencia y reactancia de cortocircuito del autotransformador.
<b>Fecha de prueba</b>	11/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	10:00
<b>Datos de entrada</b>	0.5 V, 1 V, 1.5 V, 1.9 V / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

#### • Equipo de prueba utilizado

**Tabla 5.2.** Equipo utilizado para la prueba

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Corriente</b>
Autotransformador		2.5 KVA	2.4 KW	0.96	23 A Max
Variac	TSGC2	2.5KVA	-	-	15 A Max
Amperímetro	Truper CAT II	-	-	-	400 A
Voltímetro	FLUKE 117	-	-	-	-
Vatímetro	AMPROBE ACD-41 PQ	-	-	-	-

#### • Precauciones:

Revisar que el equipo de pruebas este apagado y con un voltaje de 0 V para evitar algún accidente o daño en el autotransformador.

#### • Configuración y procedimiento de la prueba

- Cortocircuitar el lado secundario del autotransformador tal como lo muestra la Figura 3.19.
- Conectar el amperímetro, voltímetro y vatímetro tal como lo muestra la Figura 3.19.
- En el lado primario aplicar una tensión de 0.5 V
- Anotar los valores de potencia, factor de potencia, corriente y voltaje obtenidos.
- En el lado primario aplicar una tensión de 1 V
- Anotar los valores de potencia, factor de potencia, corriente y voltaje obtenidos.
- En el lado primario aplicar una tensión de 1.5 V
- Anotar los valores de potencia, factor de potencia, corriente y voltaje obtenidos.
- En el lado primario aplicar una tensión de 1.9 V

- Anotar los valores de potencia, factor de potencia, corriente y voltaje obtenidos en la tabla.
- Verificar si los valores obtenidos de potencia cumplen con la Tabla 3.7

- **Resumen de prueba**

Los valores obtenidos al realizar la prueba de cortocircuito muestran las pérdidas en el cobre, los valores de potencia muestra dichas pérdidas, se puede observar un aumento hasta llegar a un valor de 14 Watts con un valor de entrada de 2 Voltios aproximadamente y una corriente de 13.7 amperios, además se observa un factor de potencia bajo (0.79) a un voltaje mínimo de 0.5 Voltios. Dicho valor sigue incrementándose conforme se aumenta el valor del voltaje de entrada hasta llegar a un factor de potencia de 0.9. Los valores cumplen con la Tabla 3.7.

**Tabla 5.3.** Resumen de la prueba realizada.

Voltaje de entrada (V)	Corriente(A)	Potencia (W)	Factor de potencia	Voltaje de salida(V)
0.5	4.0	1.4	0.79	0.32
1	8.1	4.8	0.90	0.50
1.5	11.2	9.9	0.90	0.85
1.9	13.7	14	0.90	1.10

- **Resistencia de cortocircuito**

De acuerdo a (3.38):

$$R_{CC} = \frac{14}{13.7^2} = 0.0745 \Omega$$

- **Reactancia de cortocircuito**

De acuerdo a (3.39):

$$Z = \frac{1.9}{13.7} = 0.1386 \Omega$$

De acuerdo a (3.40):

$$X_{CC} = \sqrt{0.1386^2 - 0.0745^2} = 0.1168 H$$

➤ **Prueba en vacío**

**Tabla 5.4.** Datos iniciales de prueba

<b>Estándar de la prueba</b>	ANSI/IEEE C57.12.90-2006, NTE INEN 2114:04
<b>Objetivo de la prueba</b>	Encontrar las pérdidas en el hierro además del voltaje, corriente y factor de potencia del autotransformador.
<b>Fecha de prueba</b>	11/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	11:00
<b>Datos de entrada</b>	100 V, 110 V, 120 V / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo utilizado**

**Tabla 5.5.** Equipo utilizado para la prueba

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia aparente	Potencia activa	Factor de potencia	Corriente
Autotransformador		2.5 KVA	2.4 KW	0.96	23 A Max
Variac	TSGC2	2.5KVA	-	-	15 A Max
Amperímetro	Truper CAT II	-	-	-	400
Voltímetro	FLUKE 117	-	-	-	-
Vatímetro	AMPROBE ACD-41 PQ	-	-	-	-

- **Precauciones:**

Revisar que el equipo de pruebas este apagado y con un voltaje de 0 V para evitar algún accidente o daño en el autotransformador.

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Dejar abierto el lado de alta tensión tal como se muestra en la Figura 3.18.
- Conectar el voltímetro, amperímetro y vatímetro tal como la muestra la Figura 3.18.
- En el otro extremo aplicar una tensión de 100 V
- Anotar los valores de potencia corriente y voltaje.
- En el otro extremo aplicar una tensión de 110 V
- Anotar los valores de potencia corriente y voltaje.
- En el otro extremo aplicar una tensión de 120 V
- Anotar los valores de potencia corriente y voltaje en la tabla.
- Verificar si los valores obtenidos de potencia cumplen con la Tabla 3.6.

- **Resumen de prueba**

Los valores obtenidos al realizar la prueba de cortocircuito muestran las pérdidas que se presenta en la rama de magnetización que está directamente relacionado con el material ferromagnético, los valores de potencia muestra dichas perdidas, se puede observar que a un voltaje nominal (110 V) se tiene un valor de 20.30 watts. Los valores obtenidos cumplen según la tabla 3.6.

**Tabla 5.6.** Resumen de la prueba realizada.

Voltaje de entrada (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Factor de potencia
100	0.70	18.30	0.25
110	0.8	20.30	0.24
120	0.90	25.10	0.23

➤ **Prueba de sonido audible****Tabla 5.7.** Datos iniciales de prueba

<b>Estándar de la prueba</b>	C57.12.90
<b>Objetivo de la prueba</b>	Determinar el nivel de ruido que posee el prototipo automático regulador de voltaje.
<b>Fecha de prueba</b>	11/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	12:00
<b>Temperatura ambiente</b>	16°C

• **Equipo de prueba utilizado****Tabla 5.8.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001
Sonómetro	SDL600

• **Advertencia**

Antes de realizar la prueba verificar que no exista ningún ruido externo que afecte a los valores de medida a tomar en el prototipo.

• **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Colocar el dispositivo de medida (sonómetro) a distancias mayores a la mitad de la altura del prototipo (0.17 m, 0.25 m)
- Anotar en la tabla la medida registrada en el dispositivo de medida
- Comprobar si el nivel de ruido del prototipo cumple con la norma según la tabla 3.8.

• **Resumen de prueba**

El nivel de ruido registrado del prototipo, evidencia que cumple con la norma en todas las distancias tomadas según la Tabla 3.8.

**Tabla 5.9.** Resumen de la prueba realizada.

<b>Distancia (m)</b>	<b>Nivel de ruido (dB)</b>	<b>Cumple con norma</b>
0.17	43.6	SI
0.25	41.9	SI

### 5.2.2.2. Pruebas en el prototipo

#### ➤ Ensayo de campo electromagnético

**Tabla 5.10.** Datos iniciales de prueba

<b>Estándar de la prueba</b>	ANSI/IEEE 644-1994
<b>Objetivo de la prueba</b>	Medir la intensidad de campo eléctrico y la densidad de flujo magnético procedente del prototipo.
<b>Fecha de prueba</b>	14/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	08:30
<b>Datos de entrada</b>	110 VAC/60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	16°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.11.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Corriente</b>
Variac	TSGC2	2.5 KVA	15 A Max
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	-
Medidor de campo magnético	EXTECH- EMF450	-	-

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 110 VAC.
- Tomar la lectura de la intensidad de campo eléctrico y la densidad de flujo magnético procedente del prototipo a una distancia de 0.01 m de acuerdo a (Ecuación 3.13).
- Anotar los valores obtenidos en la tabla
- Tomar la lectura de la intensidad de campo eléctrico y la densidad de flujo magnético procedente del prototipo a una distancia de 0.05 m.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla
- Tomar la lectura de la intensidad de campo eléctrico y la densidad de flujo magnético procedente del prototipo a una distancia de 0.100 m.
- Anotar los valores obtenidos tabla
- Tomar la lectura de la intensidad de campo eléctrico y la densidad de flujo magnético procedente del prototipo a una distancia de 0.150 cm.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla
- Verificar si los valores obtenidos de campo magnético y campo eléctrico cumplen con la Tabla 3.2.

- **Resumen de prueba**

De acuerdo a los valores obtenidos, a la distancia mínima, los valores de campo eléctrico y magnético cumplen con la norma para niveles de referencia para la exposición a campos magnéticos según la Tabla 3.2.

**Tabla 5.12.** Resumen de la prueba realizada.

Distancia (m)	Angulo	Campo magnético ( $\mu T$ )	Campo eléctrico ( $v/m$ )	Cumple con la Norma
0.010	0°	182.90	479	SI
0.050	0°	116.10	237	SI
0.100	0°	33.00	115	SI
0.150	0°	18.32	71	SI

➤ **Prueba IP**

**Tabla 5.13.** Datos iniciales de prueba.

<b>Estándar de la prueba</b>	IEC 60529
<b>Objetivo de la prueba</b>	Determinar la protección IP que posee el prototipo automático regulador de voltaje.
<b>Fecha de prueba</b>	11/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	09:00
<b>Temperatura ambiente</b>	16°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.14.** Equipo utilizado para las pruebas.

Equipo Utilizado	Modelo
Prototipo automático regulador de voltaje	0001

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Con los antecedentes de construcción del prototipo verificar el grado de protección que posee de acuerdo a las Tablas 3.4 y 3.5 respectivamente.

- **Resumen de prueba**

Al no contar con instrumentos especializados para llevar a cabo este tipo de pruebas, se lo desarrolló mediante estimación visual, medición de los orificios presentes en el equipo y en base a las tablas 3.4 y 3.5. El prototipo está construido con un diseño compacto en un gabinete tipo caja metálica de acero galvanizado cubierta con una tapa superior con orificios de un diámetro de 22 milímetros a los laterales, esto con el objetivo de darle una ventilación adecuada al autotransformador de potencia. De acuerdo a estas características de construcción, el prototipo presenta un grado de protección IP-21.



➤ **Prueba de verificación de parámetros iniciales****Tabla 5.15.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Comprobar los valores entregados por el prototipo frente a equipos de medición.
<b>Fecha de prueba</b>	11/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	09:30
<b>Datos de entrada</b>	110 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	16°C

• **Equipo de prueba utilizado****Tabla 5.16.** Equipo utilizado para las pruebas.

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>
Variac	CIRELEC TSGC2
Prototipo automático regulador de voltaje	0001
Amperímetro	AIOSUN EM306B
Voltímetro	FLUKE 117
Voltímetro	DT832
Vatímetro	AMPROBE ACD-41 PQ

• **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac), a continuación, alimentar con un valor de 110 VAC, tomar valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida con el voltímetro, amperímetro, vatímetro.
- Anotar los valores obtenidos en las tablas respectivamente.

• **Resumen de prueba**

En los resultados obtenidos se puede observar un margen de error máximo de 0.67, considerándolos niveles aceptables.

**Tabla 5.17.** Resumen de la prueba de medición de voltaje de entrada realizada.

<b>Voltaje de entrada medido con voltímetro (V)</b>	<b>Voltaje de entrada medido en el prototipo (V)</b>	<b>Error de medición (%)</b>
113	113.390	0.340

**Tabla 5.18.** Resumen de la prueba de medición de voltaje de salida realizada.

<b>Voltaje de salida medido con voltímetro (V)</b>	<b>Voltaje de salida medido en el prototipo (V)</b>	<b>Error de medición (%)</b>
114.1	113.330	0.670

**Tabla 5.19.** Resumen de la prueba de medición de corriente de salida realizada.

<b>Voltaje de salida (V)</b>	<b>Corriente de salida medido con amperímetro (A)</b>	<b>Corriente de salida medido en el prototipo (A)</b>
113	0	0.010

**Tabla 5.20.** Resumen de la prueba de medición de potencia de salida realizada.

<b>Voltaje de salida (V)</b>	<b>Potencia de salida medido con vatímetro (W)</b>	<b>Potencia de salida medido en el prototipo (W)</b>
113	0	1.204

➤ **Carga resistiva**

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo a carga resistiva mínima, nivel de voltaje nominal de entrada**

**Tabla 5.21.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje nominal de entrada que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen resistivo.
<b>Fecha de prueba</b>	16/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	10:00
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	110 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.22.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Corriente</b>	<b>Factor de potencia</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	15 A	-
Carga Resistiva		100W	-	60 A	1

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 110 VAC.
- Conectar la carga de origen resistivo de valor 100 W

- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores presentados en la tabla muestran que al alimentar con un voltaje nominal de entrada (110.82 V), y un valor de carga resistiva mínima (100 watts), presentan valores de corriente y potencia de salida acordes al valor de la carga.

En la prueba número 1 todavía no se da ningún cambio automático del valor de voltaje de salida (110.51 V) debido a que se encuentra dentro del rango (104 V a 116 V).

En la prueba numero 2 al conectar un valor mínimo de carga resistiva al prototipo (100 W), presenta un valor de corriente (1.27 A) y un valor de potencia de salida de (138.93 W) aproximadamente, el prototipo no ha realizado ningún cambio automático en el valor de voltaje. Los valores se mantienen por el periodo de tiempo asignado para dicha prueba, lo cual indica el funcionamiento adecuado del prototipo.

**Tabla 5.23.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (W)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
10:00	1	110.82	0	0.00	0.4741	110.51	NO	SI
10:01	2	109.68	100	1.27	138.93	109.64	NO	SI
10:11	3	109.26	100	1.27	138.26	108.50	NO	SI
10:21	4	109.56	100	1.27	138.02	109.05	NO	SI
10:31	5	109.29	100	1.24	134.92	108.90	NO	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga resistiva máxima, nivel de voltaje nominal de entrada**

**Tabla 5.24.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje nominal de entrada que maneja el regulador automático ante un fenómeno de variación de carga de origen resistivo, hasta llegar a un valor de carga máxima.
<b>Fecha de prueba</b>	16/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	10:35
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	110 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.25.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Corriente</b>	<b>Factor de potencia</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	15 A Max	-
Carga Resistiva	-	(500, 100) W		60 A Max	1

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 110VAC.
- Conectar las cargas resistivas progresivamente hasta conseguir un valor nominal de 2.5 KW
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores presentados en la tabla muestran que al alimentar con un voltaje de entrada (114.05 V), y un valor de carga resistiva máxima (2400 watts), presentan un incremento de la corriente y potencia de salida a medida que se va aumentando el valor de la carga resistiva.

En la prueba número 1 todavía no se da ningún cambio automático del valor de voltaje de salida (114.90 V) debido a que el voltaje de entrada se encuentra dentro del rango (104 V a 116 V). A medida que se aumenta el valor de la carga resistiva el prototipo presenta un incremento de la corriente y potencia de salida además el nivel de voltaje disminuye aproximadamente 1 voltio hasta la prueba número 6.

En la prueba número 7 el nivel de voltaje de entrada disminuye 2 voltios (108.65 V) debido al valor de la carga (1000 W), además los valores de corriente (9.97 A) y la potencia (1115 W) de salida son acordes al valor de la carga conectada.

En la prueba número 13 el prototipo llega hasta el umbral del rango de voltaje (104.54 V), pero todavía no ha realizado ningún cambio automático en el nivel de voltaje de salida. Los valores se mantienen por el tiempo asignado para este tipo de prueba lo que indica un funcionamiento

correcto del prototipo.

**Tabla 5.26.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (W)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
10:35	1	114.05	0	0.01	1.444	114.90	NO	SI
10:36	2	113.26	100	1.371	155.84	114.03	NO	SI
10:37	3	112.86	200	2.790	316.46	113.61	NO	SI
10:38	4	111.63	300	4.121	467.21	113.40	NO	SI
10:39	5	110.95	400	5.411	610.94	113.01	NO	SI
10:40	6	110.16	500	6.681	754.02	112.81	NO	SI
10:41	7	108.65	1000	9.973	1115.60	111.89	NO	SI
10:42	8	107.61	1500	14.50	1602.60	110.50	NO	SI
10:43	9	106.38	2000	15.39	1672.40	108.69	NO	SI
10:44	10	104.94	2400	15.34	1639.80	106.92	NO	SI
10:54	11	104.90	2400	15.62	1667.80	106.76	NO	SI
11:04	12	104.64	2400	15.81	1688.00	106.72	NO	SI
11:14	13	104.54	2400	15.87	1687.20	106.34	NO	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga resistiva mínima, nivel de voltaje máximo de entrada**

**Tabla 5.27.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje máximo de entrada que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen resistivo.
<b>Fecha de prueba</b>	16/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	14:00
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	122 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.28.** Equipo utilizado para las pruebas

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia activa	Potencia aparente	Corriente	Factor de potencia
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	-	-	-
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	15 A max	-
Carga Resistiva	-	100W		60 A	1

- **Configuración y procedimiento de la prueba**
  - Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 122 VAC.

- Conectar la carga de origen resistivo de valor 100 W
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

• **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje máximo de entrada (121.64 V) y al conectar un valor mínimo de carga resistiva (100 Watts) al prototipo, presenta un valor de corriente y potencia de salida acorde al valor de la carga resistiva.

En la prueba número 1 se presenta un cambio automático de voltaje de salida (115.95 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V).

En la prueba número 2 el valor de voltaje de entrada disminuye aproximadamente 1 voltio (120.30 V) además la corriente (1.34 A) y la potencia de salida (153.37 W) son acordes al valor de la carga conectada. Los valores se mantienen por el periodo asignado para esta prueba, lo que indica que el prototipo funciona correctamente.

**Tabla 5.29.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (W)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio automático de voltaje	Cumple prototipo con función reguladora
14:00	1	121.64	0	0.01	1.4845	115.95	SI	SI
14:01	2	120.30	100	1.34	153.37	114.26	NO	SI
14:11	3	120.48	100	1.32	151.46	114.46	NO	SI
14:21	4	120.31	100	1.32	150.82	114.24	NO	SI
14:31	5	120.52	100	1.32	150.55	114.45	NO	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga resistiva máxima, nivel de voltaje máximo de entrada**

**Tabla 5.30.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje máximo de entrada que maneja el regulador automático ante un fenómeno de variación de carga de origen resistivo, hasta llegar a un valor de carga máxima.
<b>Fecha de prueba</b>	16/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	14:35
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	122 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.31.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Corriente</b>	<b>Factor de potencia</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	15 A Max	-
Carga Resistiva	-	(500, 100) W		60 A Max	1

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 122 VAC.
- Conectar las cargas resistivas progresivamente hasta conseguir un valor nominal de 2.5 KW
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje máximo de entrada al prototipo (121.71 V) y al ir aumentando el valor de la carga resistiva hasta su valor máximo (2400 W), los valores de corriente y potencia de salida van aumentando acorde al valor de la carga.

En la prueba número 1 se ha dado el cambio automático de voltaje de salida (115.74 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V). Los valores de voltaje de entrada van disminuyendo aproximadamente 1 voltio hasta la prueba número 4 (118.24 V) además los valores de corriente y potencia de salida aumentan aproximadamente 1.3 amperios y 156.85 watts respectivamente.

A partir de la prueba número 5 el nivel de voltaje de entrada disminuye 2 voltios (115.61 V) debido al valor de carga (800 W), los valores de corriente (7,32 A) y de potencia (802.59 W) son acordes al valor de la carga conectada.

Los valores se mantienen por el periodo de prueba asignado lo que indica que el prototipo funciona correctamente.

**Tabla 5.32.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de Prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (W)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
14:35	1	121.71	0	0.13	14.79	115.74	SI	SI
14:36	2	120.68	100	1.31	149.81	114.66	NO	SI
14:37	3	119.29	200	2.70	306.66	113.61	NO	SI
14:38	4	118.24	300	4.05	454.39	112.29	NO	SI
14:39	5	115.61	800	7.32	802.59	109.58	NO	SI
14:40	6	114.15	1300	13.27	1502.10	113.24	NO	SI
14:50	7	114.96	1300	13.28	1526.90	114.58	NO	SI
15:00	8	114.07	1300	13.25	1503.80	113.52	NO	SI
15:10	9	114.15	1300	13.27	1502.10	113.24	NO	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga resistiva mínima, nivel de voltaje mínimo de entrada**

**Tabla 5.33.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje mínimo de entrada que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen resistivo.
<b>Fecha de prueba</b>	16/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	15:15
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	98 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.34.** Equipo utilizado para las pruebas

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia activa	Potencia aparente	Corriente	Factor de potencia
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	15 A Max	-
Carga Resistiva	-	100 W		60 A Max	1

- **Configuración y procedimiento de la prueba**
  - Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 98 VAC.
  - Conectar la carga de origen resistivo de valor 100 W
  - Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
  - Anotar los valores obtenidos en la tabla.



- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje mínimo de entrada (98.89 V) y un valor de carga resistiva mínima (100 watts), se presenta una desenergización del prototipo en la mayoría de pruebas realizadas.

En la prueba número 1 se presenta un cambio automático de voltaje de salida (104.84 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V).

En la prueba número 2, al conectar una carga resistiva mínima (100 W) presenta una caída de voltaje de la entrada de 1 voltio aproximadamente (97.45 V), además se da como resultado una desenergización de la salida (23.20 V) y la activación del sistema de alarma, este estado se mantiene por el periodo de prueba establecido lo que indica que el prototipo funciona correctamente.

**Tabla 5.35.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (W)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
15:15	1	98.89	0	0.08	8.86	104.84	SI	SI
15:16	2	97.45	100	0.05	1.20	23.20	SI	SI
15:26	3	97.54	100	0.04	0.96	22.93	SI	SI
15:36	4	97.49	100	0.05	1.15	23.13	SI	SI
15:46	5	97.49	100	0.05	1.05	22.92	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga resistiva máxima, nivel de voltaje mínimo de entrada**

**Tabla 5.36.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje mínimo de entrada que maneja el regulador automático ante una variación de carga de origen resistivo, hasta llegar a un valor de carga máxima.
<b>Fecha de prueba</b>	16/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	15:50
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	98 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.37.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Corriente</b>	<b>Factor de potencia</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	15 A Max	-
Carga Resistiva	-	(100,500) W		60 A Max	1

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 98 VAC.
- Conectar las cargas resistivas progresivamente hasta conseguir un valor nominal de 2.5 KW
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje mínimo de entrada al prototipo (98.94 V) y un valor de carga resistiva máxima (2400 watts) se presenta una desenergización del prototipo en la mayoría de pruebas realizadas.

En la prueba número 1 se ha realizado el cambio automático de voltaje de salida (104.90 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V). Desde la prueba numero 2 al conectar un valor de carga resistiva de 100 W el prototipo se mantiene desenergizado y activado el sistema de alarma debido a la caída de voltaje.

Los valores de voltaje de entrada van disminuyendo aproximadamente 1 voltio hasta la prueba 5 donde disminuye aproximadamente 2 voltios (93.07 V) debido al valor de la carga (800 W).

El prototipo se mantiene desenergizado por el periodo de prueba asignado, lo que indica que el prototipo funciona correctamente.

**Tabla 5.38.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (W)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
15:50	1	98.94	0	0.08	8.658	104.90	SI	SI
15:51	2	97.32	100	0.09	2.191	23.25	SI	SI
15:52	3	96.50	200	0.09	2.061	23.26	SI	SI
15:53	4	95.48	300	0.07	1.681	23.09	SI	SI
15:54	5	93.07	800	0.07	1.691	23.09	SI	SI
15:55	6	91.19	1300	0.05	22.757	22.75	SI	SI
15:56	7	89.29	1800	0.05	1.041	22.55	SI	SI
15:57	8	87.76	2400	0.07	1.571	22.40	SI	SI
16:07	9	87.54	2400	0.06	1.441	22.39	SI	SI
16:17	10	87.53	2400	0.06	1.361	22.11	SI	SI
16:27	11	87.54	2400	0.07	1.491	22.29	SI	SI

❖ **Resumen general de las pruebas con cargas resistivas**

De un total de 6 pruebas realizadas, el prototipo fue capaz de realizar la regulación de voltaje automático en un 100%.

➤ **Cargas capacitivas**

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo a carga capacitiva mínima, nivel de voltaje nominal de entrada**

**Tabla 5.39.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje nominal de entrada que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen capacitivo.
<b>Fecha de prueba</b>	14/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	15:10
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	110 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	16°C

• **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.40.** Equipo utilizado para las pruebas

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia activa	Potencia aparente	Corriente	Tolerancia	Capacidad	Tensión de trabajo (V)
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-	-	-
Variac	TSGC 2	-	2.5KVA	15 A Max	-	-	-
capacitor (carga capacitiva)	-	-	-	-	±5%	60μF	400

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 110 VAC.
- Conectar la carga de origen capacitivo de valor  $60\mu F$ .
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores presentados en la tabla muestran que al alimentar con un voltaje nominal de entrada (109.78 V) y al conectar un valor mínimo de carga capacitiva al prototipo ( $60\mu F$ ), presenta un incremento del valor de corriente, voltaje y potencia de salida acorde al valor de la carga capacitiva.

En la prueba número 1 el prototipo todavía no ha realizado ningún cambio automático en el valor de voltaje de salida (109.32 V) debido a que se encuentra dentro del rango (104 V a 116 V).

A partir de la prueba 2, al conectar una carga de  $60\mu F$  presenta un valor de corriente de aproximadamente 3.40 amperios y un valor de potencia de salida de 385.79 W además presenta un cambio automático del nivel de voltaje de salida (113.48 V). Los valores se mantienen por el periodo de tiempo asignado para dicha prueba, lo cual indica el funcionamiento adecuado del prototipo. Este fenómeno de aumento de voltaje se da debido al efecto capacitivo de la carga conectada al prototipo.

**Tabla 5.41.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada ( $\mu F$ )	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
15:10	1	109.78	0	0.38	41.996	109.32	NO	SI
15:10	2	118.64	$60\mu F$	3.40	385.79	113.48	SI	SI
15:20	3	117.91	$60\mu F$	3.43	383.74	111.92	SI	SI
15:30	4	118.53	$60\mu F$	3.42	384.46	112.42	SI	SI
15:40	5	119.58	$60\mu F$	3.42	390.88	114.13	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga capacitiva máxima, nivel de voltaje nominal de entrada**

**Tabla 5.42.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje nominal de entrada que maneja el regulador automático ante un fenómeno de variación de carga de origen capacitivo, hasta llegar a un valor de carga nominal.
<b>Fecha de prueba</b>	14/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	15:35
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	110 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	16°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.43.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Corriente</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Tensión de trabajo (V)</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-	-	-
Variac	TSGC2	-	2.5KVA	15 A Max	-	-	-
Capacitor (carga capacitiva)	-	-	-	-	±5%	60μF	400

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 110VAC.
- Conectar las cargas capacitivas progresivamente hasta conseguir un valor nominal de 180 μF.
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores presentados en la tabla muestran que al alimentar con un voltaje nominal de entrada (109.97 V) y al conectar un valor máximo de carga capacitiva al prototipo (180 μF) presenta un incremento de la corriente, voltaje y potencia de salida a medida que se va aumentando el

valor de la carga capacitiva además de una des energización de la salida y la activación del sistema de alarma.

En la prueba número 1 no presenta ningún cambio automático del nivel de voltaje de salida (109.24 V) debido a que se encuentra dentro del rango (104 V a 116 V). A partir de la prueba número 2 debido al efecto capacitivo de la carga conectada ( $60 \mu F$ ), se presenta un cambio automático del nivel de voltaje de salida (113.30 V) para mantenerlo dentro del rango, además los valores mostrados de corriente (3.55 A) y potencia de salida (402.03 W) son acordes al valor de la carga.

En la prueba 3 el nivel de voltaje de entrada se sitúa por encima del voltaje de entrada de trabajo del prototipo (129.38 V).

A partir de la prueba número cinco el prototipo es capaz de des energizar la salida (27.44 V) y activar el sistema de alarma.

**Tabla 5.44.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada ( $\mu F$ )	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
15:35	1	109.97	0	0.05	5.82	109.24	NO	SI
15:35	2	118.01	60	3.55	402.03	113.30	SI	SI
15:36	3	129.38	120	7.94	984.78	123.99	NO	NO
15:37	4	140.42	180	13.16	1851.20	140.71	NO	NO
15:47	5	139.95	180	0.00	0.12	27.44	SI	SI
15:57	6	140.19	180	0.041	1.10	27.36	SI	SI
16:07	7	140.06	180	0.02	0.65	27.44	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga capacitiva mínima, nivel de voltaje máximo de entrada**

**Tabla 5.45.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje máximo de entrada que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen capacitivo.
<b>Fecha de prueba</b>	14/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	17:10
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	122 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	16°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.46.** Equipo utilizado para las pruebas.

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia activa	Potencia aparente	Corriente	Tolerancia	capacidad	Tensión de trabajo (V)
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	24 A	-	-	--
Variac	TSGC2	-	2.5KVA	15 A Max	-	-	-
Capacitor (carga capacitiva)	-	-	-	-	$\pm 5\%$	$60\mu F$	400

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 122 VAC.
- Conectar la carga de origen capacitivo de valor  $60\mu F$ .
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje máximo de entrada (121.29 V), y al conectar un valor mínimo de carga capacitiva ( $60\mu F$ ) al prototipo, presenta un incremento de la corriente, voltaje y potencia de salida acorde al valor de la carga capacitiva además de una des energización de la salida y la activación del sistema de alarma.

En la prueba número 1 se da el cambio automático de voltaje de salida (115.34 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V).

En la prueba número 2, al conectar una carga de  $60\mu F$  se da un incremento de voltaje tanto en la entrada como en la salida (129.90 V), el valor de la corriente (3.93 amperios) y la potencia (489.05 watts) de salida son acordes a la carga conectada.

A partir de la prueba número 3 el prototipo es capaz de des energizar la salida (27.64 V) y

activar el sistema de alarma.

**Tabla 5.47.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada ( $\mu F$ )	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
17:10	1	121.29	0	0.001	0.265	115.34	SI	SI
17:10	2	129.90	60	3.93	489.05	124.36	NO	NO
17:20	3	129.44	60	0.00	0.018	27.69	SI	SI
17:30	4	129.05	60	0.00	0.033	27.69	SI	SI
17:40	5	129.41	60	0.01	0.36	27.64	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga capacitiva máxima, nivel de voltaje máximo de entrada**

**Tabla 5.48.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje máximo de entrada que maneja el regulador automático ante un fenómeno de variación de carga de origen capacitivo, hasta llegar a un valor de carga máxima.
<b>Fecha de prueba</b>	14/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	17:55
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	122 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	16°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.49.** Equipo utilizado para las pruebas

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia activa	Potencia aparente	Corriente	Tolerancia	capacidad	Tensión de trabajo (V)
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-	-	-
Variac	TSGC2	-	2.5KVA	15 A Max	-	-	-
Capacitor (carga capacitiva)	-	-	-	-	$\pm 5\%$	$60\mu F$	400

- **Configuración y procedimiento de la prueba**
  - Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 122 VAC.



- Conectar las cargas capacitivas progresivamente hasta conseguir un valor máximo de  $180\mu F$ .
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla

• **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje máximo de entrada (121.29 V) y al conectar un valor máximo de carga capacitiva ( $180\mu F$ ) al prototipo, presenta un incremento de la corriente el voltaje y potencia de salida a medida que se va aumentando el valor de la carga capacitiva además de una desenergización de la salida y la activación del sistema de alarma.

En la prueba número 1 se da el cambio automático de voltaje de salida (115.34 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104 V a 116 V).

Al aumentar el valor de la carga capacitiva (a partir de  $60\mu F$  hasta  $180\mu F$ ), Desde la prueba número dos hasta la prueba número cuatro, los valores de corriente (3.92A) y potencia (489.78 W) de salida aumentan acorde al valor de la carga, además el valor de voltaje tanto de salida como de entrada aumenta alrededor de 10 voltios debido al efecto capacitivo.

A partir de la prueba número cinco el prototipo es capaz de desenergizar la salida (1.2 V) y activar el sistema de alarma al encontrarse fuera del rango de voltaje que maneja el prototipo.

**Tabla 5.50.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada ( $\mu F$ )	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
17:55	1	121.29	0	0.001	0.265	115.34	SI	SI
17:56	2	130.37	60	3.92	489.78	124.95	NO	NO
17:57	3	134.27	120	8.64	1160.3	134.32	NO	NO
17:57	4	145.28	180	13.43	1917.5	142.81	NO	NO
18:07	5	145.43	180	0.21	5.756	27.82	SI	SI
18:17	6	145.23	180	0.05	0.065	27.82	SI	SI
18:27	7	145.09	180	0.17	4.706	27.85	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga capacitiva mínima, nivel de voltaje mínimo de entrada**

**Tabla 5.51.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje mínimo de entrada que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen capacitivo.
<b>Fecha de prueba</b>	15/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	11:15
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	98 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	11°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.52.** Equipo utilizado para las pruebas.

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Corriente</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>capacidad</b>	<b>Tensión de trabajo (V)</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	2.4 KW	2.5 KVA	23 A	-	-	-
Variac	TSGC2	-	2.5KVA	15 A Max	-	-	-
Capacitor (carga capacitiva)	-	-	-	-	±5%	60μF	400

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 98 VAC.
- Conectar la carga de origen capacitivo de valor 60μF.
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje mínimo de entrada (98.27 V) y al conectar un valor mínimo de carga capacitiva (60μF) al prototipo, presentan un incremento de la corriente, voltaje y la potencia de salida acorde al valor de la carga capacitiva.

En la prueba número 1 se presenta un cambio automático de voltaje de salida (104.68 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V). Al conectar la carga resistiva mínima ( $60\mu F$ ) se tiene un aumento de voltaje de entrada de 9 voltios (107.54 V) aproximadamente debido al efecto capacitivo, el nivel de voltaje del prototipo se mantiene dentro del rango por lo que no se da ningún cambio automático, se da un valor de corriente de (3.38 A) y una potencia de (365.85 W) aproximadamente. Este estado se mantiene con valores aproximados por el periodo de prueba establecido, lo que indica que el prototipo funciona correctamente.

**Tabla 5.53.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada ( $\mu F$ )	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio automático de voltaje	Cumple prototipo con función reguladora
11:15	1	98.91	0	0.02	1.62	104.68	SI	SI
11:15	2	107.54	60	3.38	365.85	108.24	SI	SI
11:30	3	107.90	60	3.28	355.05	108.38	SI	SI
11:45	4	107.56	60	3.28	354.32	108.09	SI	SI
12:00	5	107.61	60	3.34	362.17	108.32	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga capacitiva máxima, nivel de voltaje mínimo de entrada**

**Tabla 5.54.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje mínimo de entrada que maneja el regulador automático ante una variación de carga de origen resistivo, hasta llegar a un valor de carga máxima.
<b>Fecha de prueba</b>	15/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	12:10
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	98 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	11°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.55.** Equipo utilizado para las pruebas.

Equipo Utilizado	Modelo	Fecha de calibración	Tolerancia	Capacidad	Tensión de trabajo (V)
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	-	-	-
Variac	TSGC2	-	2.5KVA	15 A Max	-
Capacitor (carga capacitiva)	-	-	$\pm 5\%$	$60\mu F$	400

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 98 VAC.
- Conectar las cargas capacitivas progresivamente hasta conseguir un valor máximo de  $180\mu F$ .
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje mínimo de entrada (98.670 V) y al conectar un valor máximo de carga capacitiva ( $60\mu F$ ) al prototipo, presentan un incremento de la corriente y potencia de salida a medida que se va aumentando el valor de la carga capacitiva además de una desenergización de la salida y la activación del sistema de alarma. En la prueba 1 se presenta un cambio automático de voltaje de salida (104.52 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V).

Desde la prueba numero 2 hasta la prueba número 4, los valores de corriente y potencia de salida van aumentando acorde al valor de la carga, es decir para una carga de  $60\mu F$  presenta una corriente de (3.47 A) y una potencia de (374.10 W), además el valor de voltaje tanto de salida como de entrada aumenta alrededor de 10 voltios debido al efecto capacitivo. A partir de la prueba número cinco el prototipo es capaz de desenergizar la salida (24.90 V) al encontrarse fuera del rango de voltaje que maneja el prototipo.

**Tabla 5.56.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada ( $\mu F$ )	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
12:10	1	98.670	0	0.02	1.720	104.52	SI	SI
12:11	2	106.99	60	3.47	374.10	107.71	SI	SI
12:12	3	116.37	120	7.23	804.76	111.31	SI	SI
12:13	4	128.20	180	13.30	1834.20	137.88	SI	SI
12:23	5	128.25	180	0.39	9.41	24.29	SI	SI
12:33	6	128.41	180	0.4	9.67	24.16	SI	SI
12:43	7	128.23	180	0.37	9.05	24.38	SI	SI

❖ **Resumen general de las pruebas con cargas capacitivas**

**Tabla 5.57.** Resumen de la prueba realizada.

Tipo de carga	Número de pruebas realizadas	Cumple prototipo con función reguladora
Capacitiva	3	SI
Capacitiva	3	NO
<b>Total</b>		6



**Figura 5.10.** Resumen de pruebas en cargas capacitivas.

➤ **Cargas inductivas**

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo a carga inductiva mínima, nivel de voltaje nominal de entrada**

**Tabla 5.58.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje nominal de entrada que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen inductivo.
<b>Fecha de prueba</b>	15/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	14:00
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	110 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	11°C

• **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.59.** Equipo utilizado para las pruebas.

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia reactiva	Potencia aparente	Potencia activa	Factor de potencia	Corriente
Prototipo automático regulador de voltaje	0001		2.5 KVA	2.4 KW		23 A
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	-	-	15 A Max
Balasto reactor (carga inductiva)	-	240 VAR	107.8 VA	70 W	0.67	0.9 A

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 110 VAC.
- Conectar la carga de origen inductivo de valor 240 VAR.
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores presentados en la tabla muestran que al alimentar con un voltaje nominal de entrada (110.56 V) y al conectar un valor mínimo de carga inductiva (240 VAR) al prototipo, presenta un incremento de la corriente y potencia de salida a medida que se va aumentando el valor de la carga inductiva.

En la prueba numero 1 el prototipo no ha realizado ningún cambio automático en el valor de voltaje de salida (110.44 V) debido a que se encuentra dentro del rango (104 V a 116 V).

En la prueba número 2, al conectar una carga de (240 VAR) presenta un valor de corriente de aproximadamente (0.70 A) y un valor de potencia de salida de (76.91 W), además no presenta un cambio automático del nivel de voltaje de salida. Los valores se mantienen por el periodo de tiempo asignado para dicha prueba, lo cual indica el funcionamiento adecuado del prototipo.

**Tabla 5.60.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (VAR)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
14:00	1	110.56	0	0.14	15.39	110.44	NO	SI
14:01	2	108.75	240	0.70	75.91	109.20	NO	SI
14:11	3	108.76	240	0.70	76.73	109.29	NO	SI
14:21	4	109.29	240	0.65	71.00	109.32	NO	SI
14:31	5	108.72	240	0.69	75.55	109.34	NO	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga inductiva máxima, nivel de voltaje nominal de entrada**

**Tabla 5.61.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje nominal de entrada que maneja el regulador automático ante un fenómeno de variación de carga de origen inductivo, hasta llegar a un valor de carga máxima.
<b>Fecha de prueba</b>	15/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	14:37
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	14:37
<b>Temperatura ambiente</b>	11°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.62.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia reactiva</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Corriente</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	2.5 KVA	2.4 KW	-	23 A
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	-	-	15 A Max
Balasto reactor (carga inductiva)	-	240 VAR	107.8 VA	70 W	0.67	0.9 A

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 110VAC.
- Conectar las cargas inductivas progresivamente hasta conseguir un valor nominal de 720 VAR.
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla

- **Resumen de prueba**

Los valores presentados en la tabla muestran que al alimentar con un voltaje nominal de entrada (110.20 V) y al conectar un valor máximo de carga inductiva (720 VAR) al prototipo, presenta un incremento de la corriente y potencia de salida a medida que se va aumentando el valor de la carga inductiva.

En la prueba número uno no presenta ningún cambio automático del nivel de voltaje de salida (110.12 V) debido a que se encuentra dentro del rango de voltaje (104 V a 116 V). En la prueba número 2 al conectar una carga de 240 VAR existe una caída de voltaje de 2 voltios aproximadamente (108.63 V), añadiendo también que los valores de corriente (0.70 A) y potencia (76.294 W) son acordes a la carga conectada. En las pruebas posteriores hay un promedio de caída de voltaje de dos voltios además de una corriente y potencia de salida coherentes a la carga conectada.

En la prueba número 4 existe una caída de voltaje de entrada (103.95 V), por lo que se da un cambio automático del nivel de salida (109.30 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104 V a 116 V).

En la prueba número 5 existe un aumento de voltaje de entrada (104.78V), por lo muestra un nuevo cambio automático del nivel de salida (106.31 V) para que se mantenga dentro del rango establecido. Los valores se mantienen por el periodo de tiempo asignado para dicha prueba, lo cual indica el funcionamiento adecuado del prototipo.

**Tabla 5.63.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (VAR)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
14:37	1	110.20	0	0.15	16.074	110.12	NO	SI
14:38	2	108.63	240	0.70	76.294	109.04	NO	SI
14:39	3	106.83	480	1.23	132.45	107.36	NO	SI
14:40	4	103.95	720	2.01	220.05	109.30	SI	SI
14:50	5	104.78	720	1.940	206.72	106.31	SI	SI
15:00	6	104.97	720	1.910	202.21	106.07	SI	SI
15:10	7	105.19	720	1.870	198.82	106.13	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga inductiva mínima, nivel de voltaje máximo de entrada**

**Tabla 5.64.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje máximo que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen inductivo.
<b>Fecha de prueba</b>	15/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	15:15
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	122 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	11°C



- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.65.** Equipo utilizado para las pruebas.

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia reactiva	Potencia aparente	Potencia activa	Factor de potencia	Corriente
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	2.5 KVA	2.4 KW	-	23 A
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	-	-	15 A Max
Balasto reactor (carga inductiva)	-	240 VAR	107.8 VA	70 W	0.67	0.9 A

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 122 VAC.
- Conectar la carga de origen inductivo de valor 240 VAR.
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje máximo de entrada (121.32 V) y al conectar un valor mínimo de carga inductiva (240 VAR) al prototipo presenta valores de corriente y potencia de salida acorde a el valor de la carga inductiva.

En la prueba número 1 se presenta un cambio automático de voltaje de salida (115 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V).

En la prueba número 2 el valor de voltaje de entrada disminuye aproximadamente 2 voltios (119.85 V) además la corriente (0.74 A) y la potencia de salida (85.26 W) son acordes a la carga conectada. Los valores se mantienen por el periodo asignado para esta prueba, lo que indica que el prototipo funciona correctamente.

**Tabla 5.66.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (VAR)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
15:15	1	121.32	0	0.12	14.31	115.00	SI	SI
15:16	2	119.85	240	0.74	85.26	114.93	SI	SI
15:26	3	119.73	240	0.72	82.49	114.66	SI	SI
15:36	4	119.77	240	0.73	84.01	114.67	SI	SI
15:46	5	119.68	240	0.61	81.94	114.70	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga inductiva máxima, nivel de voltaje máximo de entrada**

**Tabla 5.67.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje máximo de entrada que maneja el regulador automático ante un fenómeno de variación de carga de origen inductivo, hasta llegar a un valor de carga máxima.
<b>Fecha de prueba</b>	15/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	16:35
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	122 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	11°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.68.** Equipo utilizado para las pruebas

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia reactiva</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Corriente</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	2.5 KVA	2.4 KW	-	23 A
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	-	-	15 A Max
Balasto reactor (carga inductiva)	-	240 VAR	107.8 VA	70 W	0.67	0.9 A

- **Configuración y procedimiento de la prueba**
  - Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 122 VAC.
  - Conectar las cargas inductivas progresivamente hasta conseguir un valor máximo de 720 VAR.
  - Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
  - Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje máximo de entrada al prototipo (121.35 V) y al conectar un valor máximo de carga inductiva (720 VAR) al prototipo presenta un incremento de corriente y potencia de salida acorde a el valor de la carga inductiva.

En la prueba número 1 se ha dado el cambio automático de voltaje de salida (115.49 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V).

A partir de la prueba numero 2 los valores de potencia (81.49 W) y corriente de salida (0.71 A) muestran valores acordes a la carga conectada y los valores de voltaje de entrada va disminuyendo aproximadamente 2 voltios (119.65 V).

En la prueba número 7 se da un nuevo cambio automático de voltaje de salida (116.67 V) debido a que el voltaje de entrada esta fuera del rango asignado (104 V a 116 V).

**Tabla 5.69.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Numero de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (VAR)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
16:35	1	121.35	0	0.10	11.36	115.49	SI	SI
16:36	2	119.65	240	0.71	81.49	114.66	SI	SI
16:37	3	117.99	480	1.39	157.35	113.02	SI	SI
16:38	4	116.82	720	2.10	235.28	112.12	SI	SI
16:48	5	116.69	720	2.09	233.75	111.63	SI	SI
16:58	6	116.59	720	2.09	232.97	111.69	SI	SI
17:08	7	115.83	720	2.19	255.15	116.67	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga inductiva mínima, nivel de voltaje mínimo de entrada**

**Tabla 5.70.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje mínimo de entrada que maneja el regulador automático al conectar un valor de carga mínima de origen inductivo.
<b>Fecha de prueba</b>	15/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	15:57
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	98 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	11°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.71.** Equipo utilizado para las pruebas.

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia reactiva</b>	<b>Potencia aparente</b>	<b>Potencia activa</b>	<b>Factor de potencia</b>	<b>Corriente</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	2.5 KVA	2.4 KW	-	23 A
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	-	-	15 A Max
Balasto reactor (carga inductiva)	-	240 VAR	107.8 VA	70 W	0.67	0.9 A

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 98 VAC.
- Conectar la carga de origen inductivo de valor 240 VAR.
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje mínimo de entrada (98.02 V) y al conectar un valor mínimo de carga inductiva (240 VAR) al prototipo presenta un valor de corriente y potencia de salida acorde al valor de la carga inductiva.

En la prueba número 1 se presenta un cambio automático de voltaje de salida (104.32 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V).

En la prueba número 2, al conectar una carga inductiva mínima (240 VAR) se tiene una caída de voltaje de 1 voltio aproximadamente (97.97 V), además se da como resultado una desenergización de la salida y la activación del sistema de alarma. Éste estado se mantiene por el periodo de prueba establecido lo que indica que el prototipo funciona correctamente.

**Tabla 5.72.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de prueba	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (VAR)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
15:57	1	98.02	0	0.01	1.44	104.32	SI	SI
15:58	2	97.97	240	0.12	0.22	1.91	SI	SI
16:08	3	97.36	240	0.13	0.253	1.97	SI	SI
16:18	4	97.29	240	0.13	0.253	1.92	SI	SI
16:28	5	97.35	240	0.13	0.283	2.17	SI	SI

- ✓ **Ensayo de comportamiento del prototipo con carga inductiva máxima, nivel de voltaje mínimo de entrada**

**Tabla 5.73.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo con un valor de voltaje mínimo de entrada que maneja el regulador automático ante una variación de carga de origen inductivo, hasta llegar a un valor de carga máxima.
<b>Fecha de prueba</b>	15/06/2021
<b>Hora de prueba</b>	17:15
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	30 minutos
<b>Datos de entrada</b>	98 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	11°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.74.** Equipo utilizado para las pruebas.

Equipo Utilizado	Modelo	Potencia reactiva	Potencia aparente	Potencia activa	Factor de potencia	Corriente
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	2.5 KVA	2.4 KW	-	23 A
Variac	TSGC2	-	2.5 KVA	-	-	15 A Max
Balasto reactor (carga inductiva)	-	240 VAR	107.8 VA	70 W	0.67	0.9 A

- **Configuración y procedimiento de la prueba**
  - Conectar el prototipo regulador de voltaje a la fuente variable de corriente alterna (Variac) y alimentar con un voltaje de 98 VAC.
  - Conectar las cargas inductivas progresivamente hasta conseguir un valor máximo de 720 VAR.

- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 10 minutos.
- Anotar los valores obtenidos en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en la tabla indican que al alimentar con un voltaje mínimo de entrada al prototipo (98.40 V), y al conectar un valor máximo de carga inductiva (720 VAR) al prototipo presenta un incremento de corriente y potencia de salida acorde al valor de la carga inductiva.

En la prueba número 1 se ha realizado el cambio automático de voltaje de salida (104.10 V) para que se mantenga dentro del rango establecido (104V a 116 V).

Desde la prueba número 2 al conectar la carga de 240 VAR el prototipo se mantiene desenergizado y activado el sistema de alarma debido a que el voltaje de entrada está fuera de rango (97.14 V).

Los valores de voltaje van disminuyendo aproximadamente 1 voltio hasta la prueba 4 donde disminuye aproximadamente 2 voltios (93.53 V) debido al valor de la carga (720 VAR).

El prototipo se mantiene desenergizado y activado el sistema de alarma por el periodo de tiempo de prueba asignado lo que indica que el prototipo funciona correctamente.

**Tabla 5.75.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Número de pruebas	Voltaje de entrada (V)	Valor de carga conectada (VAR)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje de salida (V)	Cambio de voltaje automático	Cumple prototipo con función reguladora
17:15	1	98.40	0	0.01	1.21	104.10	SI	SI
17:16	2	97.14	240	0.11	0.20	1.84	SI	SI
17:17	3	96.81	480	0.15	0.24	1.57	SI	SI
17:18	4	93.53	720	0.09	0.12	1.36	SI	SI
17:28	5	93.43	720	0.10	0.11	1.13	SI	SI
17:38	6	93.90	720	0.11	2.42	22.90	SI	SI
17:48	7	93.68	720	0.10	2.34	23.06	SI	SI

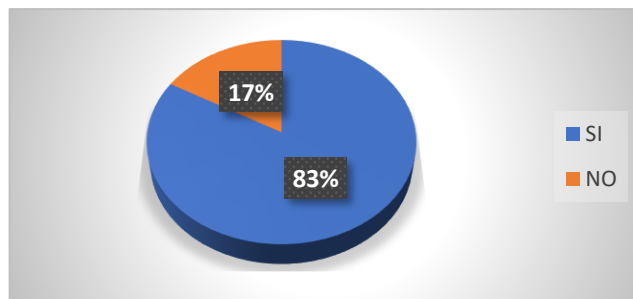
❖ **Resumen general de las pruebas con cargas inductivas**

De un total de 6 pruebas realizadas, el prototipo fue capaz de realizar la regulación de voltaje automático en un 100%.

**Resumen general de las pruebas inductivas, capacitivas y resistivas**

**Tabla 5.76.** Resumen general de las pruebas inductivas, capacitivas y resistivas

Tipo de carga	Número de pruebas	Cumple prototipo con función reguladora
Capacitiva, inductiva, resistiva	15	SI
Capacitiva	3	NO
<b>Total</b>		18



**Figura 5.11.** Resumen general de las pruebas inductivas, capacitivas y resistivas.

**5.2.3. PRUEBAS CON AMPLIFICADORES DE AUDIO**

- Prueba 1**

**Tabla 5.77.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo mediante la conexión de amplificadores de audio con un valor de valor de voltaje que maneja el prototipo.
<b>Fecha de prueba</b>	08/07/2021
<b>Hora de prueba</b>	17:45
<b>Periodo de funcionamiento del equipo</b>	60 minutos
<b>Datos de entrada</b>	Voltaje de red/ 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.78.** Equipo utilizado para las pruebas.

Equipo Utilizado	Modelo	Marca	Potencia activa
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	2.4 KW
Procesador de efectos	Microverb	Alesis	22
Crossover	JBL	JBL	30
Driver Rack	PA+	Dbx	22
Ecuador gráfico	GQX-3102exp	ASHLY	24
Amplificador profesional	MX 1500 <sup>a</sup>	QSC	330
Amplificador profesional	CP2200	Electrovoice	660
Amplificador profesional	MP 2800	Wharfedale Pro	950
Mezclador de audio	SPIRITLX7	Soundcraft	60

- **Consideraciones generales:**

- Todas las cargas descritas anteriormente se conectarán a una distancia de 1 metro del prototipo.
- Para mayores detalles de las cargas puestas a prueba ver el Anexo P.

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Alimentar el prototipo con un voltaje directo de la cometa de la red de energía eléctrica.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar el mezclador de audio marca Soundcraft al prototipo.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar el driver rack marca Dbx al prototipo.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar el procesador de efectos marca Alesis al prototipo.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar el crossover marca JBL al prototipo.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar el ecualizador grafico marca ASHLY al prototipo.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar el amplificador de audio marca QSC al prototipo.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.



- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar el amplificador de audio marca EV al prototipo.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar el amplificador de audio marca Wharfedale Pro al prototipo.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Sonorizar el equipo de audio completo con una ganancia de 20 dB
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Realizar mediciones de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida en intervalos de 15 minutos.
- Anotar los valores en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Los valores mostrados en el prototipo al conectar cargas en un escenario real como también laboral (amplificadores de audio) demuestran el funcionamiento óptimo del prototipo. Los valores mostrados en la tabla, al conectar cada una de las cargas al prototipo son acordes al nivel de potencia de carga además se puede evidenciar el aumento del nivel potencia al momento de subir la ganancia de sonorización del sistema de audio completo manteniéndose el voltaje dentro del rango para un valor nominal de (110 V) con una tolerancia de +/- 8 %.

Los valores se mantuvieron por el periodo de prueba estipulado (60 minutos), cumpliendo así con los objetivos de la presente propuesta tecnológica.

**Tabla 5.79.** Resumen de la prueba realizada.

Hora	Aparato conectado	Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Nivel de sonorización (dB)	Cambio automático de nivel de voltaje de salida	Cumple con objetivo el prototipo
17:35	Sin carga	114.64	114.35	0.15	17.34	20	NO	SI
17:36	Mezclador marca Soundcraft	114.48	114.54	0.62	70.74	20	NO	SI
17:37	Driver Rack marca Dbx	113.93	113.39	0.82	93.15	20	NO	SI
17:38	Procesador de efectos marca Alesis	113.84	113.86	0.88	100.36	20	NO	SI
17:39	Crossover marca JBL	113.76	113.65	1.01	115.03	20	NO	SI
17:40	Ecuador grafico marca ASHLY	113.66	113.28	1.27	144.32	20	NO	SI
17:41	Amplificador de audio marca QSC	113.18	113.39	2.58	292.89	20	NO	SI
17:42	amplificador de audio marca EV	113.12	113.36	3.49	393.18	20	NO	SI
17:43	Amplificador de audio Wharfedale Pro	112.66	112.31	4.36	484.63	20	NO	SI
17:44	Amplificador Wharfedale Pro, amplificador de audio marca EV, Amplificador de audio marca QSC, Mezclador marca Soundcraft, Procesador de efectos marca Alesis, Crossover marca JBL, Driver Rack marca Dbx, Ecuador grafico marca ASHLY	111.94	111.83	6.04	675.21	20	NO	SI
17:45	“	111.21	111.38	6.268	696.88	20	NO	SI
18:00	“	113.46	113.46	6.88	779.33	20	NO	SI
18:15	“	113.66	113.74	6.768	768.41	20	NO	SI
18:30	“	113.18	113.06	6.92	782.88	20	NO	SI
18:45		112.15	111.98	6.978	780.61	20	NO	SI

**Prueba 2****Tabla 5.80.** Datos iniciales de prueba.

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo mediante la conexión de un amplificador de audio ante una variación del voltaje de entrada.
<b>Fecha de prueba</b>	19/07/2021
<b>Hora de prueba</b>	14:00
<b>Datos de entrada</b>	113 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.81.** Equipo utilizado para las pruebas.

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>Potencia activa</b>
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	2.4 KW
Variac	-	-	900 W
Amplificador profesional	MX 1500 <sup>a</sup>	QSC	330 W

- **Consideraciones generales:**

- Todas las cargas descritas anteriormente se conectarán a una distancia de 1 metro del prototipo.
- Para mayores detalles de las cargas puestas a prueba ver el Anexo P.

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Alimentar el prototipo con un voltaje de 113 V con ayuda del variac.
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la Tabla
- Conectar el amplificador de audio marca QSC 1200a.
- Sonorizar con una ganancia de 20 dB
- Verificar los valores de valores de voltaje de entrada y salida, corriente y potencia de salida mostrados en el prototipo.
- Anotar los valores en la tabla.
- Variar el voltaje de entrada fuera de los rangos de funcionamiento.
- Anotar los resultados en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Al conectar la carga de (330 W), con un voltaje de entrada (113 V), se puede observar valores de corriente de (1.37 A) y potencia de (155 W) aproximadamente. Al variar el voltaje de entrada, con un valor de 102.36 V el prototipo compensa con 5 V aproximadamente, al

encontrarse fuera de los rangos (104 - 116) V. Al dar un valor de voltaje de entrada de (96.03 V) se presenta una ausencia de voltaje de salida y la activación del sistema de alarma cumpliendo así con el objetivo del prototipo.

**Tabla 5.82.** Resumen de la prueba realizada.

Aparato conectado	Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Nivel de sonorización (dB)	Funcionamiento de la carga	Cambio automático de nivel de voltaje de salida	Cumple con objetivo el prototipo
Sin carga	113.52	113.24	0.05	5.68	0	NO	NO	SI
Amplificador de audio marca QSC	112.90	113.87	1.37	155.02	20	SI	NO	SI
Amplificador de audio marca QSC	104.54	104.21	1.22	127.50	20	SI	NO	SI
Amplificador de audio marca QSC	102.36	107.61	1.34	143.80	20	SI	SI	SI
Amplificador de audio marca QSC	100.28	104.91	1.22	128.23	20	SI	SI	SI
Amplificador de audio marca QSC	96.03	1.67	0.01	0.02	20	NO	SI	SI

- **Prueba 3**

**Tabla 5.83.** Datos iniciales de prueba

<b>Objetivo de la prueba</b>	Verificar el desempeño del prototipo mediante la conexión de un amplificador de audio a diferentes distancias.
<b>Fecha de prueba</b>	19/07/2021
<b>Hora de prueba</b>	15:00
<b>Datos de entrada</b>	112 VAC / 60 Hz
<b>Temperatura ambiente</b>	15°C

- **Equipo de prueba utilizado**

**Tabla 5.84.** Equipo utilizado para las pruebas.

Equipo Utilizado	Modelo	Marca	Potencia activa
Prototipo automático regulador de voltaje	0001	-	2.4 KW
Variac	-	-	900 W
Amplificador profesional	MX 1500 <sup>a</sup>	QSC	330 W
Voltímetro	MUT-830	Truper	-
Alambre # 12 AWG			

- **Consideraciones generales:**

- La carga descrita anteriormente se conectará a distancias de (1, 5, 10, 15, 20) metros del prototipo.
- Para mayores detalles de la carga puesta a prueba ver el Anexo P.

- **Configuración y procedimiento de la prueba**

- Alimentar el prototipo con un voltaje de 108 V con ayuda del variac.
- Conectar el amplificador de audio marca QSC 1200 a 1 metro de distancia del prototipo con alambre #12 AWG.
- Sonorizar con una ganancia de 20 dB.
- Con ayuda de un multímetro medir el voltaje a la distancia descrita anteriormente
- Anotar los valores en la tabla.
- Repetir el mismo procedimiento para distancias de (5, 10, 15, 20) metros de distancia del prototipo.
- Conectar amplificador de audio marca QSC 1200 a 1 metro de distancia del prototipo y variar el nivel de voltaje de entrada a 104V.
- Anotar los valores en la tabla.
- Conectar amplificador de audio marca QSC 1200 a 1 metro de distancia del prototipo y variar el nivel de voltaje de entrada a 104V.
- Anotar los valores en la tabla.

- **Resumen de prueba**

Al conectar la carga de (330 W), con un voltaje de entrada (112 V) con un cable de calibre #12 AWG, a diferentes distancias del prototipo muestra caídas de voltaje acordes a la carga conectada. A una distancia de 1 metro presenta una caída de voltaje de (0.1 V). Por otra parte, a una distancia de 20 metros presenta una caída de tensión de 0.55 V (111.30 V).

Con una distancia de 20 metros, con un valor de carga de (330 W) y un alambre #12 AWG, al variar el voltaje de entrada al nivel mínimo del rango del cambio automático de voltaje (104 V) se observa que el valor medido en el punto de carga es de (103.40 V) debido a la caída de voltaje, el cual se encuentra dentro de los rangos admitidos en la norma (+/- 8 %). Para un nivel de voltaje de entrada inferior al primer rango que se maneja (102.87 V), el prototipo es capaz de regular el voltaje para la carga conectada a esta distancia, con valores de voltaje en el punto de carga (107.00 V), el cual está dentro de los rangos admitidos en la norma, cumpliendo así con el objetivo del prototipo automático de regulación de voltaje.

**Tabla 5.85.** Resumen de la prueba realizada.

Valores con variación del nivel de voltaje de entrada sin compensación								
Potencia (W)	Longitud (m)	Conductor AWG	Sección (mm <sup>2</sup> )	Voltaje (V)	Conductividad a 20° (S/m)	Caída de tensión (V)	Voltaje con caída de tensión calculada en el punto de la carga (V)	Voltaje con caída de tensión medido en el punto de la carga (V)
350	1	12	4	112	56	0.02	111.97	111.80
350	5	12	4	112	56	0.13	111.86	111.80
350	10	12	4	112	56	0.27	111.72	111.60
350	15	12	4	112	56	0.41	111.58	111.40
350	20	12	4	112	56	0.55	111.44	111.30
350	20	12	4	104	56	0.60	103.39	103.40
Valores con variación del nivel de voltaje de entrada con compensación de voltaje								
Potencia (W)	Longitud (m)	Conductor AWG	Sección (mm <sup>2</sup> )	Voltaje (V)	Conductividad a 20° (Siemens/metro)	Caída de tensión (V)	Voltaje con caída de tensión + compensación calculada	Voltaje con caída de tensión + compensación medida (V)
350	20	12	4	102.87	56	0.603	107.26	107.00

#### 5.2.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La inversión monetaria para el diseño y construcción del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas, consta de dos componentes las cuales son: gastos directos e indirectos, los mismos se encuentran detallados en la tabla y con sus respectivos valores correspondientes.

##### Gastos Directos

Estos gastos se encuentran relacionados con la adquisición de elementos para la construcción del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas, en la tabla se detallan los elementos utilizados.

**Tabla 5.86.** Detalle de precios de los elementos utilizados para la construcción del prototipo.

DETALLE	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	VALOR TOTAL (\$)
Autotransformador de potencia de 2.5KVA	957	1	957
Tornillos y pernos de ½ pulgada	0.08	12	0.96
Cable flexible #12 AWG	0.48	10	4.80
Luz indicadora de encendido de CA 127V	2.50	1	2.50
Interruptor termomagnético unipolar de 30 A	10.52	1	10.52
Conector industrial macho 30 A	9.75	1	9.75
Conector industrial hembra 30 A	9.75	1	9.75
Interruptor 125VAC 19 A	0.60	1	0.60
Portafusibles	0.15	3	0.45
Fusible de 30 Amperios	0.20	3	0.60
Tomacorriente doble polarizado 15 A-125 V	2.99	5	14.95
Relé de estado sólido Fotek SSR-40 A DA	15	4	60
Sistema de control Arduino UNO	10	1	10
Fuente de alimentación modelo:1210	7.50	1	7.50
Sensor de voltaje AC ZMPT101B	7.1	2	14.20
Sensor de corriente ACS712 DC y AC	4	1	4
Display LCD 1602 AZUL	10	1	10
Circuito integrado PCF8574	5	1	5
Tomacorriente doble sobrepuesto 125 v/15 A	2.45	1	2.45
Cable flexible #16 AWG	0.27	3	0.81
Cable flexible #22 AWG	0.20	8	1.60
Terminales para cable flexible #12 AWG	0.05	26	1.30
Terminales para cable flexible #16 AWG	0.05	8	0.40
Terminales para cable flexible #22 AWG	0.05	8	0.40
Mini Buzzer AC 120V 50/60 Hz	2.5	1	2.50
Anillos de ferrita 25x9 mm	1.50	2	3
Caja de metal en acero galvanizado (36 · 36 · 46)	20	1	20
Tapa superior de acero galvanizado (36 · 36 · 52)	15	1	15
Ruedas de acero	4.24	4	16.96
		<b>VALOR TOTAL</b>	1,187

### Gastos Indirectos

Estos gastos están relacionados con el proyecto de una manera indirecta, pero que son necesarios para el diseño y construcción del prototipo automático para la regulación en cargas.

Los mencionados gastos se detallan en la tabla

**Tabla 5.87.** Detalle de precios de los elementos utilizados para la construcción del prototipo.

DETALLE	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	VALOR TOTAL (\$)
Alimentación	2.25	20.00	45.00
Transporte	10.00	20.00	200.00
Varios	15.00	2.00	30.00
		<b>VALOR TOTAL</b>	275.00

Gastos Directos + Gastos Indirectos= \$ (1,187+275.00) = \$ 1,462

10% de imprevistos= \$ 1,462 \*10%= \$ 146.20

Gastos totales= \$ 1,462 + \$ 146.20 = **\$1,608.20**

**Valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), periodo de recuperación de la inversión (PRI), relación beneficio costo (B/C)**

**Tabla 5.88.** Datos para el cálculo del VAN, TIR, PRI, B/C.

Datos	Nombre del proyecto:	Prototipo automático para elevar el nivel de tensión en cargas			
	Inversión inicial	\$1,608.20			
	Tasa de descuento	8.68%			
Periodo	Ingresos	Egresos	Flujos de efectivo neto	Valor presente	Preliminares PRI
0	-	-	-\$1,608.20	-\$1,608.20	-
1	\$960.00	\$144.00	\$816.00	\$750.83	-\$857.37
2	\$1,104.00	\$165.60	\$938.40	\$794.49	-\$62.88
3	\$1,269.60	\$190.44	\$1,079.16	\$840.69	\$777.81
4	\$1,460.04	\$219.01	\$1,241.03	\$889.58	\$1,667.39
5	\$1,679.05	\$251.86	\$1,427.19	\$941.31	\$2,608.70

**Tabla 5.89.** Cálculo del VAN, TIR, PRI, B/C.

Valor presente de la suma de flujos actualizados	\$4,216.90
Valor actual neto (VAN)	\$2,608.70
Tasa interna de retorno (TIR)	54%
Índice de rentabilidad o razón beneficio costo(B/C)	\$2.62
Periodo de último Valor presente negativo	2
Absoluto de último valor presente negativo	62.88132395
Flujo del valor presente del periodo siguiente	\$840.69
Periodo de recuperación de la inversión (PRI)	2.07480
	2 años
	1 mes
	27 días



Considerando una inversión inicial de \$1,608.20 y valor total del flujo de ingresos y egresos en valor presente de \$4,216.90 durante un periodo de 5 años resulta una ganancia o valor actual neto de \$2,608.70 (VAN) lo que indica que el proyecto es viable.

La tasa interna de retorno (TIR) de 54%, es mayor la tasa de descuento (9.68 %) lo que indica que es un proyecto de inversión rentable.

Al realizar el análisis costo - beneficio del presente proyecto (B/C), presenta un valor de \$2.62, es decir por cada \$2 invertidos presenta una ganancia de \$ 0.62, lo que indica que el proyecto es factible para su puesta en marcha.

El tiempo de recuperación de la inversión inicial (PRI) del presente proyecto es de 2 años 1 mes 27 días lo que indica que es un tiempo aceptable para la recuperación del capital invertido.

### 5.2.5. ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTROS REGULADORES DE VOLTAJE

Para este análisis se considera las características de algunos reguladores de voltaje existentes en el mercado presentado en la siguiente tabla.

**Tabla 5.90.** Tabla comparativa con diferentes reguladores de voltaje [59] [60] [61].

	<b>Regulador automático electromecánico New line (3KVA-500 KVA)</b>	<b>Regulador automático ferro resonante SOLA BASIC CVH -VA (250 VA-10 KVA)</b>	<b>UPS (Sistema de energía ininterrumpida) UPS IND 1222 (3KVA-10 KVA)</b>	<b>Prototipo automático para regulación de tensión Modelo 0001- 2.5KVA</b>
<b>Elemento compensador</b>	Autotransformador	Transformador	Transformador	Autotransformador
<b>Tipo de regulación</b>	Servomotor	Elementos electrónicos (triacs)	Electrónico	Sistema de control Arduino UNO
<b>Sistema de almacenamiento de energía</b>	No	No	Si	No
<b>Tiempo de duración del respaldo de energía</b>	-	-	7-8 min (depende modelo)	-
<b>Tipo de uso</b>	Industrial	Doméstico	Industrial / doméstico	Industrial
<b>Rango de las correcciones de Variación de voltaje</b>	+/- 5%	+/- 3%	+/- 1	+/- 8 %
<b>Pantalla incorporada</b>	Si	No	Si	Si
<b>Número de fases</b>	Monofásico	Monofásico	Bifásico	Monofásico
<b>Protección contra sobre voltaje y bajo voltaje</b>	Si	Si	Si	Si (des energización de la salida y activación del sistema de alarma)
<b>Entrada de tensión</b>	127 V +/- 30 %	127 V +/- 20%	(165 V-300 V) +/- 25%	98-122 V
<b>Precio</b>	Desde \$1,800	Desde \$350	Desde \$ 1,950	1,608.20

De acuerdo a las características presentadas en la tabla se puede ver que los reguladores de voltaje de uso industrial (regulador electromecánico, prototipo automático), utilizan como elemento compensador al autotransformador debido a su resistencia a sobrecargas y picos de corriente durante el arranque de ciertas cargas. Mientras que ciertos reguladores diseñados para ambientes domésticos (regulador ferro resonante, UPS), utilizan un transformador debido a la limitada sobrecarga.

Se puede observar que ciertos reguladores presentan mayor precisión en lo respecta al rango de corrección de variación de voltaje (UPS), nivel de voltaje de entrada, además en cuanto a los costos de adquisición, tienen relación directa a la capacidad y a la tecnología adicional utilizada (sistema almacenador de energía-UPS). Debido a esto coloca al prototipo en un término medio.

Por lo expuesto y por otras características presentadas en la tabla, además considerando que el presente proyecto tecnológico es un prototipo al cual se le puede añadir mejoras en futuras versiones de construcción, se puede decir que es equipo de regulación de voltaje aceptable.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

- El principio de funcionamiento del prototipo está basado en un control de voltaje automático en tres rangos diferentes, (98 V a 104 V), (104 V a 116 V) y (116 V a 122 V) con una compensación de +/- 6 voltios, para mantenerlo en un voltaje de 110 V con una tolerancia de +/- 8%, siempre y cuando el voltaje de entrada este dentro del rango de 98 V a 122 V.
- En la prueba de campos electromagnéticos realizada al autotransformador a una distancia de 0.010 m mostró valores de campo magnético de 182.9  $\mu T$  y campo eléctrico de 479 v/m, estos valores se encuentran permitidos dentro de la norma ANSI/IEEE 644-1994.
- En la prueba de sonido audible sometida al autotransformador presentó un valor de 43.1 dB, este valor se encuentra dentro del rango de tolerancia de la norma C57.12.90
- En la prueba ejecutada de cortocircuito, al inyectar un voltaje de 2 V en el primario, presento valores de corriente (13.7 A), potencia (14 W), y factor de potencia (0.9).
- En la prueba de circuito abierto al inyectar un voltaje nominal de 110 V, el valor de potencia obtenida fue de 20.4 W, este valor nos muestra las pérdidas que se presentan en la rama de magnetización que está directamente relacionado con el material ferromagnético, el cual es aproximado al valor de pérdidas calculado (22.77 W).

- Al realizar las diferentes pruebas tanto con carga inductiva y resistiva se pudo observar que el prototipo pudo mantener un voltaje nominal de salida de 110 V con una tolerancia de +/- 8%. No obstante, en pruebas con cargas capacitivas, se presentó algunos casos en los que el prototipo no pudo realizar el control de voltaje automático, debido al efecto capacitivo presentado. En este sentido se debe tener en cuenta que las cargas puramente capacitivas no son usadas muy a menudo en escenarios cotidianos en el ámbito laboral.
- La unidad de control utilizada (Arduino UNO) demostró la capacidad de operación adecuada para las funciones asignadas a la parte de regulación automática del voltaje en el prototipo, es por ello que se lo considera como una unidad aceptable para el control de variables eléctricas analizadas en el presente proyecto.
- El Prototipo está diseñado para que sea usado lo más cercano posible a las cargas, sin embargo al realizar un estudio de caídas de voltaje, a una distancia de 20 metros, con un valor de carga de 330 W y un calibre de cable # 12 AWG, al variar el voltaje de entrada al nivel mínimo del rango del cambio automático de voltaje (104 V) se observa que el valor medido en el punto de carga es de 103.4 V debido a la caída de voltaje, el cual se encuentra dentro de los rangos admitidos en la norma (+/- 8 %). Para un nivel de voltaje de entrada inferior al primer rango que se maneja (102.87 V), el prototipo es capaz de regular el voltaje para la carga, con valores de voltaje en el punto de carga (107.00 V), el cual está dentro de los rangos admitidos en la norma, cumpliendo así con el objetivo del presente trabajo.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Colocar el prototipo lo más cercano posible a la carga con el fin de evitar caídas de tensión adicionales.
- Las normas IEC-61000-4-2, TS EN 60335-1, entre otras, vigentes para productos eléctricos y electrónicos exigen la utilización de equipos especiales y laboratorios certificados para la realización de las diferentes pruebas de verificación de su funcionamiento. Bajo el supuesto de una producción masiva y lanzamiento al mercado del prototipo desarrollado en la presente propuesta tecnológica, se recomienda llevar a cabo todas estas pruebas.
- Se debe aislar eléctricamente la parte de control de la parte de potencia, con el fin de evitar interferencias en su correcto funcionamiento.

- Dimensionar adecuadamente el autotransformador de forma que no llegue a sobrecargarse.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Camacho, «Diseño y construcción de una fuente variable de voltaje monofásica de 5 KVA-220V, de 0 a 440 V con mando local y remoto,» Latacunga, 2010.
- [2] L. Rengifo y D. Guanoluisa, «Construcción e Implementación De Un Autotransformador De Hasta 600 Voltios Para Prueba De Transformadores Hasta 15 Kv,» Latacunga, 2011.
- [3] D. Aquino y C. Zúñiga, «“Diseño y construcción de un transformador monofásico de distribución 15 Kva tipo tanque para el laboratorio de alta tensión de la UPS - GYE,» Guayaquil, 2018.
- [4] J. Gabino, «Academia,» 19 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://www.academia.edu/17832101/AUTOTRANSFORMADORES?auto=download>. [Último acceso: 23 Diciembre 2020].
- [5] J. García-Villalón, F. Sellschopp-Sánchez y R. Vargas-Salas1, «Impacto de Sags de Tensión en Transformadores Trifásicos  $\Delta$ -Y ante Diferentes Tipos de Cargas Trifásicas Balanceadas,» Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, vol. 1, n° 2, pp. 29,30, 2016.
- [6] M. Rodríguez, «Transformadores,» de Transformadores, España, 2012.
- [7] H. Enriquez, El Libro Práctico de los Generadores, Transformadores y Motores Eléctricos, México: Limusa, 2004.
- [8] D. E., «Sección de máquinas eléctricas,» de Sección de máquinas eléctricas, Caracas, 2003.
- [9] W. Brokering, R. Palma y L. Vargas, «Los sistemas eléctricos de potencia,» 2008.
- [10] M. Rodríguez, «UNICAN - Universidad de Cantabria,» 2010. [En línea]. Available: <https://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/autotrafos.pdf>. [Último acceso: 2020].
- [11] ECURED, «Autotransformador,» Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Autotransformador&action=info>. [Último acceso: Agosto 2020].
- [12] M. Á. Pulido, Transformadores, Barcelona: MARCOMBO,S.A., 2009, pp. 127-128.
- [13] NormaRomero, «Calculo para la construcción del autotransformador,» de Calculo para

la construcción del autotransformador, España, 2014.

- [14] H. Mendez, «Electrónica Circuitos electrónicos e informacion técnica,» 20 01 2020. [En línea]. Available: <http://www.electronica2000.com/disenio-de-transformadores-elevadores-y-reductores-de-tension/>. [Último acceso: 13 02 2021].
- [15] S. J. Champan, Máquinas eléctricas, Quinta ed., México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V, 2012.
- [16] V. H. Y. Salazar, «Elaborar un manual de procedimientos para el diseño y construcción de transformadores,» Quito, 2010.
- [17] g4-886, «Ensayo de transformadores,» España, 2004.
- [18] J. López, «Protecciones Eléctricas,» Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, 2003.
- [19] microjpm, «SSR40DA,» 2009.
- [20] G. B. E. Aguirre Jesús Francisco, «Proyectos ARDUINO con estrategias de enseñanza soportadas en blended learning,» de Proyectos ARDUINO con estrategias de enseñanza soportadas en blended learning, San Luis, 2017.
- [21] D. Nuñez, «Partes de la placa de Arduino y funciones,» Madrid, 2019.
- [22] A. Electronics, «avelectronics,» 2021. [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-voltaje-zmpt101b/>. [Último acceso: 05 02 2021].
- [23] Dualtronica, «Dualtronica,» 2021. [En línea]. Available: <https://dualtronica.com/inicio/510-sensor-de-voltaje-ac-max-250v-con-salida-analogica.html>. [Último acceso: 05 02 2021].
- [24] Nanjing Zeming Electronic Co.- Ltd, «ZMT107 potential transformer,» Qom, 2012.
- [25] J. Ñ. M. C. Jose Lucero, «Diseño e Implementación de un sistema de control de voltaje y frecuencia de un sistema eléctrico de potencia a escala para la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca,» Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, nº 17, pp. 60-67, 2017.
- [26] P. E. C. F. Asipuela González Angel Gabriel, «Diseño e implementación de un sistema de control de velocidad y voltaje para la unidad 4 de generación de la central termoeléctrica Guangopolo,» de Diseño e implementación de un sistema de control de velocidad y voltaje para la unidad 4 de generación de la central termoeléctrica

Guangopolo, Sangolquí, 2013.

- [27] G. J. D. P. J. Álvarez M., «Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Frecuencia y Voltaje,» Revista Tecnológica ESPOL, vol. 20, nº 1, pp. 47-55, 2007.
- [28] S. M. M. M. Bernal Iñiguez Juan Diego, «Construcción de un sistema de control de voltaje y frecuencia del generador síncrono SIEMENS DM-SN/DG2240 Q4-R3 del laboratorio de máquinas eléctricas de la UPS Sede Cuenca,» de Construcción de un sistema de control de voltaje y frecuencia del generador síncrono SIEMENS DM-SN/DG2240 Q4-R3 del laboratorio de máquinas eléctricas de la UPS Sede Cuenca, Cuenca, 2010.
- [29] O. Gómez, «La electricidad riesgos y prevención,» Cali, 1984.
- [30] J. L. L. Roberto Linares y Miranda, «Compatibilidad electromagnética,» Revista chilena de ingeniería, vol. 20, nº 1, pp. 5-7, 2012.
- [31] ISOTEST, «ISOTEST,» ISOTEST S.L, 1 Enero 1995. [En línea]. Available: <https://isotest.net/empresa/>. [Último acceso: 08 07 2021].
- [32] S. M. Sánchez, «Acreditación de la normativa FMC 1278 (FORD) para laboratorio de EMC,» de Trabajo Final de grado, Barcelona, 2020.
- [33] E. V. R. O. Alonso Fustel, «Campos electromagnéticos y efectos en la salud,» de Campos electromagnéticos y efectos en la salud, Bizkaia, 2011.
- [34] M. d. ambiente, «Norma de radiaciones no ionizantes de campos electromagnéticos,» de Registro Oficial N 41, Quito, 2007.
- [35] I. N. d. S. y. S. e. e. T. (INSST), O.A. y M.P, «Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos en lugares de trabajo,» España, 2019.
- [36] TURCET, «sertifikasyon.net,» TURCET, 01 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.sertifikasyon.net/es/hizmet/lvd-alcak-gerilim-testi/>. [Último acceso: 09 Julio 2021].
- [37] Fluke, «Fluke,» 29 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.fluke.com/es-es/informacion/blog/sonda-tipo-pinzas/medida-de-corrientes-de-fuga-conceptos-basicos>. [Último acceso: 09 Julio 2021].
- [38] A. blog, «MYG Inc Motores Eléctricos,» 01 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://motoresygeneradores.com/prueba-de-alta-tension-hi-pot-test-y-control-de->

- calidad/. [Último acceso: 09 Julio 2021].
- [39] F. CONNECT, «Comprobación de resistencia de aislamiento,» de Comprobación de resistencia de aislamiento , 2015.
- [40] I. S. -. icos.com.br, «Sensores ICOS: Protección IP,» de ICOS: Automatización de Bombas, Control de Nivel y Control de Caudal de Líquidos , Soracaba, 2012.
- [41] DEWESoft, «DEWESoft,» 18 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-analisis-de-potencia>. [Último acceso: 9 Julio 2021].
- [42] J. P. C. Aleaga, «Diseño de un laboratorio de pruebas para transformadores de distribución para la empresa regional del sur S.A.-Loja,» Cuenca, 2010.
- [43] B. M. Jhon y H. R. D. F. T. Alejandro, «Informe Práctica 6 pruebas de autotransformadores en vacío y cortocircuito,» 2021.
- [44] I. F. P. Chiriboga, «Análisis y procedimiento para el mantenimiento preventivo y correctivo en una subestación de transmisión para un autotransformador de potencia de 33.3 MVA de 138/69kv mediante pruebas eléctricas químicas y teóricas,» Guayaquil, 2019.
- [45] Alibaba.com, «Alibaba.com,» 2017. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/bk-single-phase-copper-wire-winding-autotransformer-480v-to-415v-10kva-60806038946.html?spm=a2700.8699010.29.31.68217ef3GNBgcS>. [Último acceso: 26 02 2021].
- [46] D. INDUSTRY, «ced,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/ced/product-201126-2161965.html>. [Último acceso: 26 02 2021].
- [47] J. H. C. Huanca, «Prácticas de simulación y programación del mini PLC LOGO con fines didácticos,» de Prácticas de simulación y programación del mini PLC LOGO con fines didácticos, Loja, 2012.
- [48] Siemens, «¿Cómo se calcula la vida de servicio de una tarjeta de memoria del S7-1500/57-1200 y ET 200 ?,» de ¿Cómo se calcula la vida de servicio de una tarjeta de memoria del S7-1500/57-1200 y ET 200 ?, Costa Rica, 2017.
- [49] E. Buksman, A. L. F. d. Oliveira, LBarbieri y C. Ferreira, «Experimentando con Arduino y Scilab: propagación de calor en una barra metálica,» Revista Brasileira de Física, vol.

4, n° 41, p. 1, 27 06 2019.

- [50] A. D. Castro y O. R. Bolaños, «Construcción de un sistema de bajo costo para el uso y evaluación de sensores semiconductores para gases,» Educación Química, n° 26, pp. 299-306, 2015.
- [51] A. M. V. E., F. S. P. y E. R. T., «Internet de los objetos empleando arduino para la gestión eléctrica domiciliaria,» Revista Escuela de Administración de Negocios, n° 77, p. 6, 2014.
- [52] Arduino, «Vida útil de arduino,» de Vida útil de arduino, España, 2016.
- [53] J. M. Valencia-Henao, G. R. Solarte-Martinez y L. E. M.-. Guerrero, «Análisis y diseño de Interfaz para conexión de PLC basado en arduino con PLC Allen Bradley a travez de Ethernet,» Scientia Et Technica, vol. 24, n° 3, pp. 504-511, 2019.
- [54] H. M. M. Y. Carlos Hipólito Tapia Ayala, «Evaluación de la plataforma Arduino e implementación de un sistema de control de posición horizontal,» Guayaquil, 2013.
- [55] D. R. Corres, «Estudio sobre la implantación de la herramienta ARDUINO en centro de Formación Profesional,» de Estudio sobre la implantación de la herramienta ARDUINO en centro de Formación Profesional, Vitoria-Gasteiz, 2016.
- [56] SIEMENS, «SIMATIC S7-1200 Programmable controller,» de SIMATIC S7-1200 Programmable controller, Alemania, 2012.
- [57] S. Electric, «Compatibilidad electromagnética,» Barcelona, 1996.
- [58] M. d. D. U. y. Vivienda, «Norma Ecuatoriana de la Construcción para Instalaciones Eléctricas,» de Norma Ecuatoriana de la Construcción para Instalaciones Eléctricas, Quito, 2018.
- [59] N. Line, «Reguladores de voltaje y transformadores variables,» México, 2015.
- [60] I. S. Basic, «Protección para equipos electronicos y computación,» México, 2012.
- [61] I. Industronic, «Sistema Ininterrumpible de Energía (UPS),» de Sistema Ininterrumpible de Energía (UPS), México, 2015.
- [62] L. J. S. Díaz, «Sistemas Embebidos:Una alternativa para la automatizacion de la agroindustria,» de Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, San Jose de las Lajas, 2019.
- [63] A. R. J. Antony y C. R. J. Francisco, «Creación de Prototipo de Sensor de Aire con Conexión a Base de Datos basado en Arduino,» Milagro, 2019.
- [64] BIRTLH, «ikastaroak,» 2016. [En línea]. Available:



[https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI06/es\\_IEA\\_IEI06\\_Contenidos/website\\_321\\_clculo\\_de\\_la\\_seccin\\_por\\_cada\\_de\\_tensin.html#](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI06/es_IEA_IEI06_Contenidos/website_321_clculo_de_la_seccin_por_cada_de_tensin.html#). [Último acceso: 03 03 2021].

- [65] ALESIS CORP, «ALESIS Microverb 4. Reference Manual,» 2002.
- [66] JBL Incorporated, «Owner's Manual M553 Variable Crossover,» 2016.
- [67] QCS Audio, «MXa Owner's Manual,» 2000.
- [68] Ashly Audio Inc., «GQX-3102 Graphic Equalizer. Operating Manual,» 2012.
- [69] JBL Custom Tunings, «DriveRack PA+ Completo sistema de ecualización y control de altavoces,» 2009.
- [70] A Harman International Company, «Users Guide. SPIRIT LX7,» 2001.
- [71] Yerxaj, «Sx250-EDS-11\_26,» 2003.
- [72] IAG Group Ltd., 2010. [En línea]. Available: <https://www.wharfedalepro.com/product-detail.php?pid=208>. [Último acceso: 2021].
- [73] F. Mora, Maquinas Electricas, Madrid: McGraw-Will, 2008.
- [74] E. Ras, Transformadores de Potencia de medida y de Protección, Barcelona: Marcombo Boixareu, 1994.
- [75] UTSTESTER, «UTSTESTER,» 04 Diciembre 2018. [En línea]. Available: [https://es.utstesters.com/needle-flame-tester-simulates-and-evaluates-flame-conditions-and-hazards\\_n64](https://es.utstesters.com/needle-flame-tester-simulates-and-evaluates-flame-conditions-and-hazards_n64). [Último acceso: 09 Julio 2021].
- [76] G. P. Oscar, «La Electricidad Riesgos y Prevención,» Cali, 1984.

## 8. ANEXOS

### Anexo A: Especificaciones del relé de estado sólido SSR-40 DA

Type	Terminal Type					PCB Type
Model	SSR-10DA	SSR-25DA	SSR-40DA	SSR-25DA-H	SSR-40DA-H	SSR-P03DA
Rated Load Current	10A	25A	40A	25A	40A	3A
<b>Input Data</b>						
Operating Voltage	3-32VDC					
Min. ON / OFF Voltage	ON > 2.4V , OFF < 1.0V					
Trigger Current	7.5mA / 12V					
Control Method	Zero Cross Trigger					
<b>Output Data</b>						
Operating Voltage	24-380VAC		90-480VAC		24-380VAC	
Min. Black Voltage	600 VAC < Repetive >					
Voltage Drop	1.6 V / 25 C					
Max. Durated Current	135A	275A	410A	275A	410A	135A
Leakage Current	3.0mA	3.0mA	3.0mA	5.0mA	5.0mA	3.0mA
Response Time	ON < 10ms , OFF < 10ms					
<b>General Data</b>						
Dielectric Strength	Over 2.5KVAC / 1min.					
Isolation Strength	Over 50M $\Omega$ / 500VDC					
Operating Temperature	-20 C ~+80 C					
Housing Material	Intensive ABS					
Weight	Appr. 105g					Appr. 15g
<b>Connection Diagram</b>						

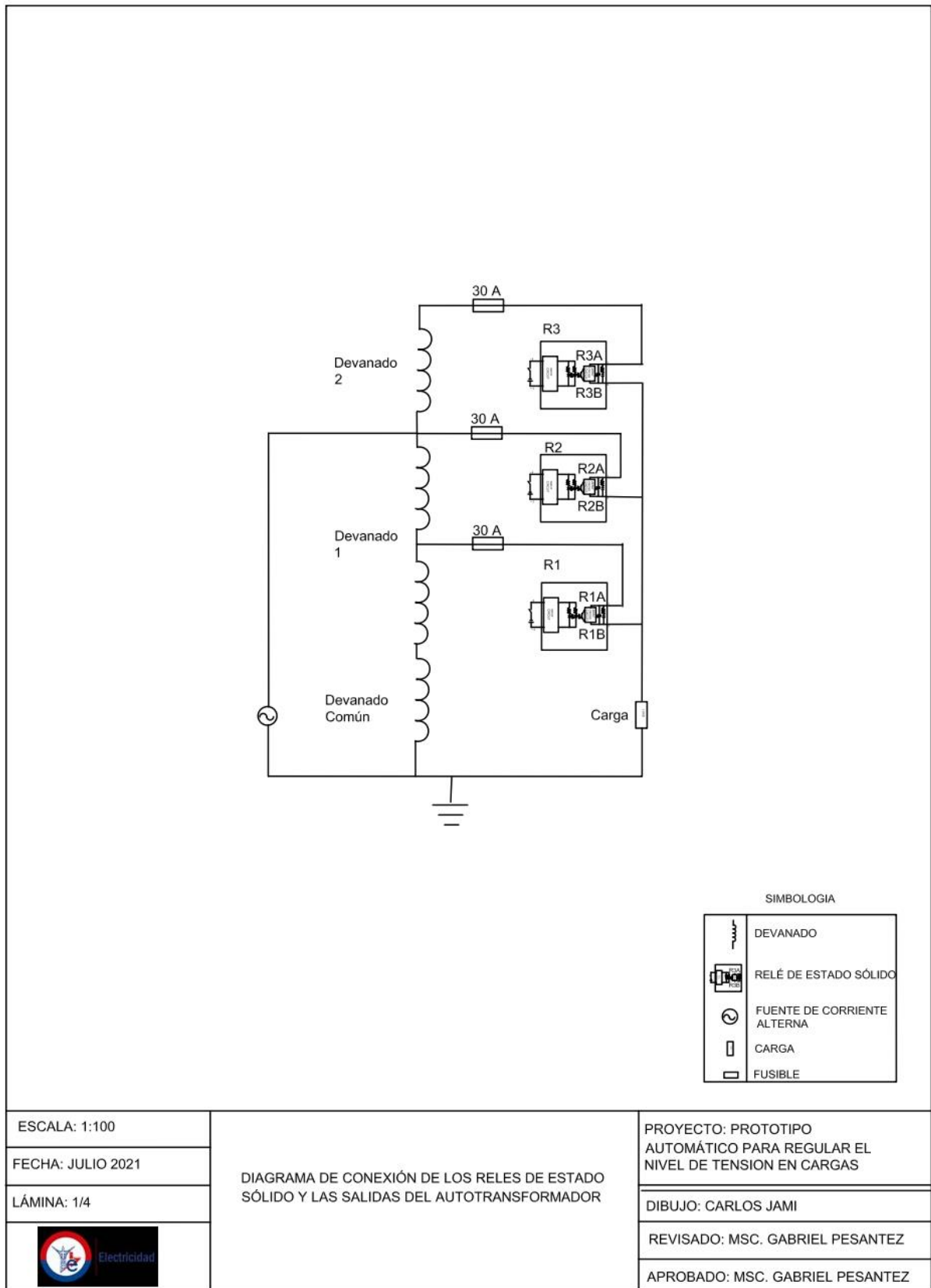
Figura A.1. Especificaciones del relé de estado sólido SSR-40 DA [19].

**Anexo B:** Especificaciones técnicas de Arduino UNO

Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (límite)	6-20 V
Pines de E / S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de E / S digitales PWM	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente CC por pin de E / S	20 mA
Corriente CC para pin de 3.3V	50 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utiliza el gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	68,6 milímetros
Anchura	53,4 milímetros
Peso	25 g

**Figura B.1.** Especificaciones técnicas de Arduino UNO [21].

**Anexo C:** Diagrama de conexión de los relés de estado sólido conjuntamente con las salidas del autotransformador)



**Figura C.1.** Diagrama de conexión de los relés de estado sólido y las salidas del autotransformador.

**Anexo D:** Propiedades de los sensores para PLC logo

	LOGO! 12/24 RC/RCo LOGO! DM8 12/24 R		LOGO! 24/24o LOGO! DM8 24	
	I1 ... I6	I7,I8	I1 ... I6	I7,I8
<b>Estado de conexión 0</b>	< 5 V CC	< 5 V CC	< 5 V CC	< 5 V CC
Intensidad de entrada	< 1,0 mA	< 0,05 mA	< 1,0 mA	< 0,05 mA
<b>Estado de conexión 1</b>	> 8 V CC	> 8 V CC	> 8 V CC	> 8 V CC
Intensidad de entrada	> 1,5 mA	> 0,1 mA	> 1,5 mA	> 0,1 mA

	LOGO! 24 RC/RCo (AC) LOGO! DM8 24 R (CA)	LOGO! 24 RC/RCo (DC) LOGO! DM8 24 R (CC)	LOGO! 230 RC/RCo (CA) LOGO! DM8 230 R (CA)	LOGO! 230 RC/RCo (CC) LOGO! DM8 230 R (CC)
	<b>Estado de conexión 0</b>	< 5 V CA	< 5 V CC	< 40 V CA
Intensidad de entrada	< 1,0 mA	< 1,0 mA	< 0,03 mA	< 0,03 mA
<b>Estado de conexión 1</b>	> 12 V CA	> 12 V CC	> 79 V CA	> 79 V CC
Intensidad de entrada	> 2,5 mA	> 2,5 mA	> 0,08 mA	> 0,08 mA

**Figura D.1.** Propiedades que deben cumplir los sensores para PLC logo [47].

**Anexo E:** Precios de PLC de gamas bajas y medias con software

**Tabla E.1.** Tabla de precios de diferentes PLC logo [62].

PLC	Características	Precio
LOGO! 12/24RCE	8 - Modulo lógico simple - LOGO! 8 12/24 RCE. - LOGO! Soft Comfort V8. - WinCC Basic V13	241.66 USD
SIMATIC S7-1200 + KTP300 Basic	- CPU 1212C AC/DC/RLY. - KP300 Basic Mono PN. - SIMATIC STEP 7 Basic V13 en el TIA Portal.	605.23 USD
SIMATIC S7-1200 + KTP700 Basic	- CPU 1212C AC/DC/RLY. - HMI KTP700 Basic Color PN. - Step7 Basic	1128.38 USD
SIMATIC 1511-1PN Compacto	S7- - SIMATIC S7-1500C, CPU compacta 1511C-1PN. Módulo central que Integra: Memoria central 175 KB para programa y 1 MB para datos, 16 entradas digitales, 16 SD, 5 entradas analógicas, 2 salidas analógicas, 6 contadores de alta velocidad, 1 Interfaz: PROFINET IRT. - SIMATIC S7 - STEP 7 Professional V13 - Licencia flotante para TIA Portal	2281.25 USD

**Anexo F:** Precio de microcontroladores Arduino UNO y sensores de diferentes gamas**Tabla F.1.** Tabla de precios de diferentes microcontroladores y sensores [63].

<b>Microcontrolador</b>	<b>Características</b>	<b>Precio</b>
Arduino UNO	-14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM). -6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0)	16.00 USD
Arduino MEGA 2560	-La placa de 8 bits con 54 pines digitales. -16 entradas analógicas y 4 puertos seriales.	40.30 USD
Arduino Leonardo	-20 pines de entrada / salida digital (de los cuales 7 se pueden usar como salidas PWM y 12 como entradas analógicas) -Un oscilador de cristal de 16 MHz	20.70 USD
Arduino Nano	Carece de un conector de alimentación de CC y funciona con un cable USB Mini-B en lugar de uno estándar.	20.70 USD
Módulo Sensor de corriente acs712-30	-Tecnología de efecto hall. -30 A en corriente alterna y corriente directa.	4.00 USD
SENSOR DE VOLTAJE AC ZMPT101B	-Voltaje de alimentación: 5VDC -Señal de salida: analógica -Precisión 0.2	7.81 USD

Anexo G: Diagrama de flujo para el control automático de voltaje

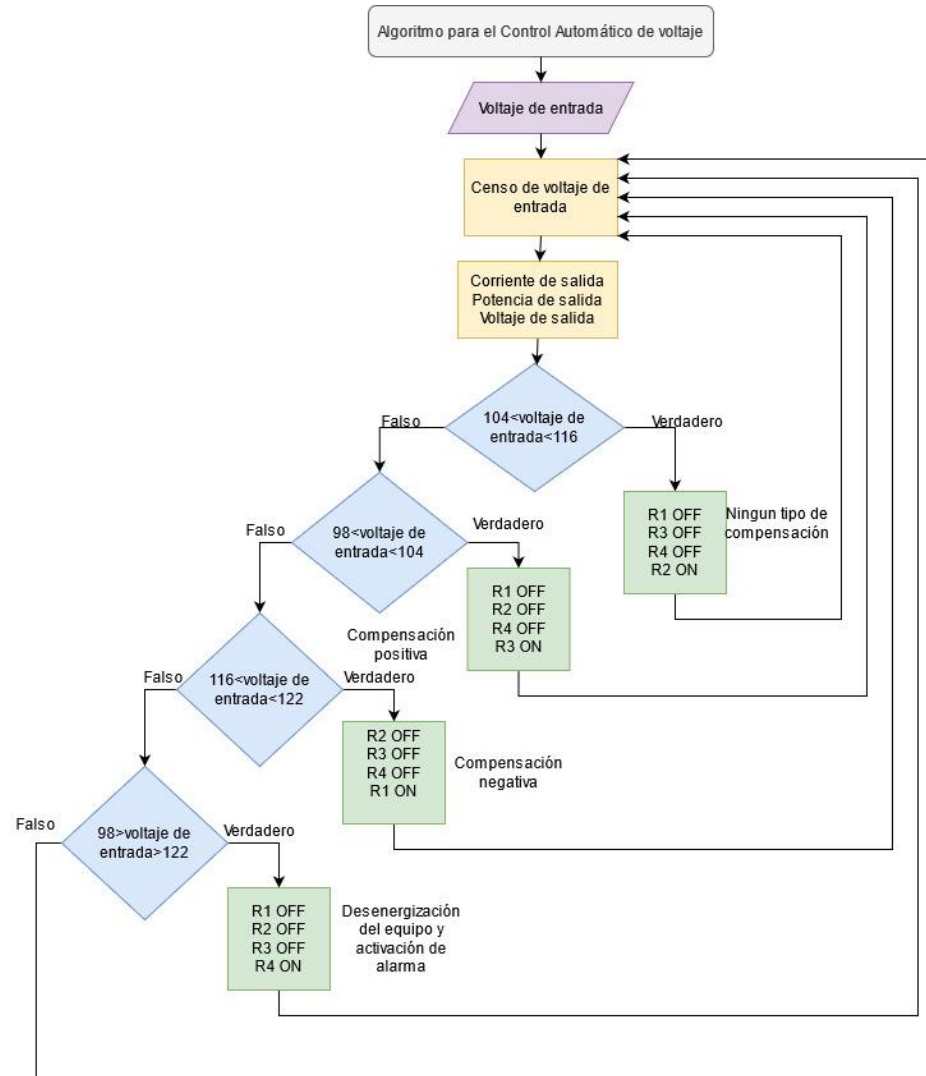


Figura G.1. Diagrama de flujo para el control automático de voltaje.



**Anexo H:** Código para el control automático del voltaje en el software Arduino UNO

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emon1;
EnergyMonitor emon2;
const int R2=3;
const int R3=4;
const int R1=5;
const int R4=6;
int C1,C2,C3,C4;

float Sensibilidad=0.139;
float offset=0.100;
void setup()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();

  Serial.begin(9600);
  emon1.voltage(0, 325.7, 1.7);
  emon2.voltage(1, 325.7, 1.7);
  pinMode(R2, OUTPUT);
  digitalWrite(R2,LOW);
  pinMode(R3, OUTPUT);
  digitalWrite(R3,LOW);
  pinMode(R1, OUTPUT);
  digitalWrite(R1,LOW);
  pinMode(R4, OUTPUT);
  digitalWrite(R4,LOW);
}
```

```
void loop()
```

```

{
  lcd.setCursor(7,0);
  lcd.print("U.T.C.");

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Vi=");

  lcd.setCursor(11,1);
  lcd.print("Vo=");

  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Io=");

  lcd.setCursor(11,2);
  lcd.print("Po=");

  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print(emon1.Vrms );
  lcd.setCursor(14,1);//14
  lcd.print(emon2.Vrms );

  emon1.calcVI(20,2000);
  emon2.calcVI(20,2000);
  float supplyVoltage = emon1.Vrms;
  float supplyVoltage2 = emon2.Vrms;
  float Ip=get_corriente();
  float Irms=Ip*0.707;
  lcd.setCursor(3,2);
  lcd.print(Irms);
  lcd.setCursor(14,2);
  lcd.print((emon2.Vrms)*Irms);

```

```

//////////COMPARACIONES//////////

```

```
if (emon1.Vrms > 104 && emon1.Vrms < 116)
{
    digitalWrite (R1,LOW);
    digitalWrite (R3,LOW);
    digitalWrite (R4,LOW);
    digitalWrite (R2,HIGH);
}
if (emon1.Vrms > 98 && emon1.Vrms <= 104)
{
    digitalWrite (R1,LOW);
    digitalWrite (R2,LOW);
    digitalWrite (R4,LOW);
    digitalWrite (R3,HIGH);

}
if ( emon1.Vrms >= 116 && emon1.Vrms <122)
{
    digitalWrite (R2,LOW);
    digitalWrite (R3,LOW);
    digitalWrite (R4,LOW);
    digitalWrite (R1,HIGH);

}

if (!(emon1.Vrms>=98 && emon1.Vrms<=122))
{
    digitalWrite (R1,LOW);
    digitalWrite (R2,LOW);
    digitalWrite (R3,LOW);
    digitalWrite (R4,HIGH);

}
```

```
//////////////////////////////////FIN DE COMPARACIONES//////////////////////////////////  
}  
  
float get_corriente()  
{  
  float voltajeSensor;  
  float corriente=0;  
  long tiempo=millis();  
  float Imax=0;  
  float Imin=0;  
  while(millis()-tiempo<300)  
  {  
    voltajeSensor = analogRead(A3) * (5.0 / 1023.0);  
    corriente=0.94*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)/Sensibilidad);  
    if(corriente>Imax)Imax=corriente;  
    if(corriente<Imin)Imin=corriente;  
  }  
  return(((Imax-Imin)/2)-offset);  
}
```

**Anexo I:** Montaje previo del autotransformador con los elementos constitutivos de la parte de potencia

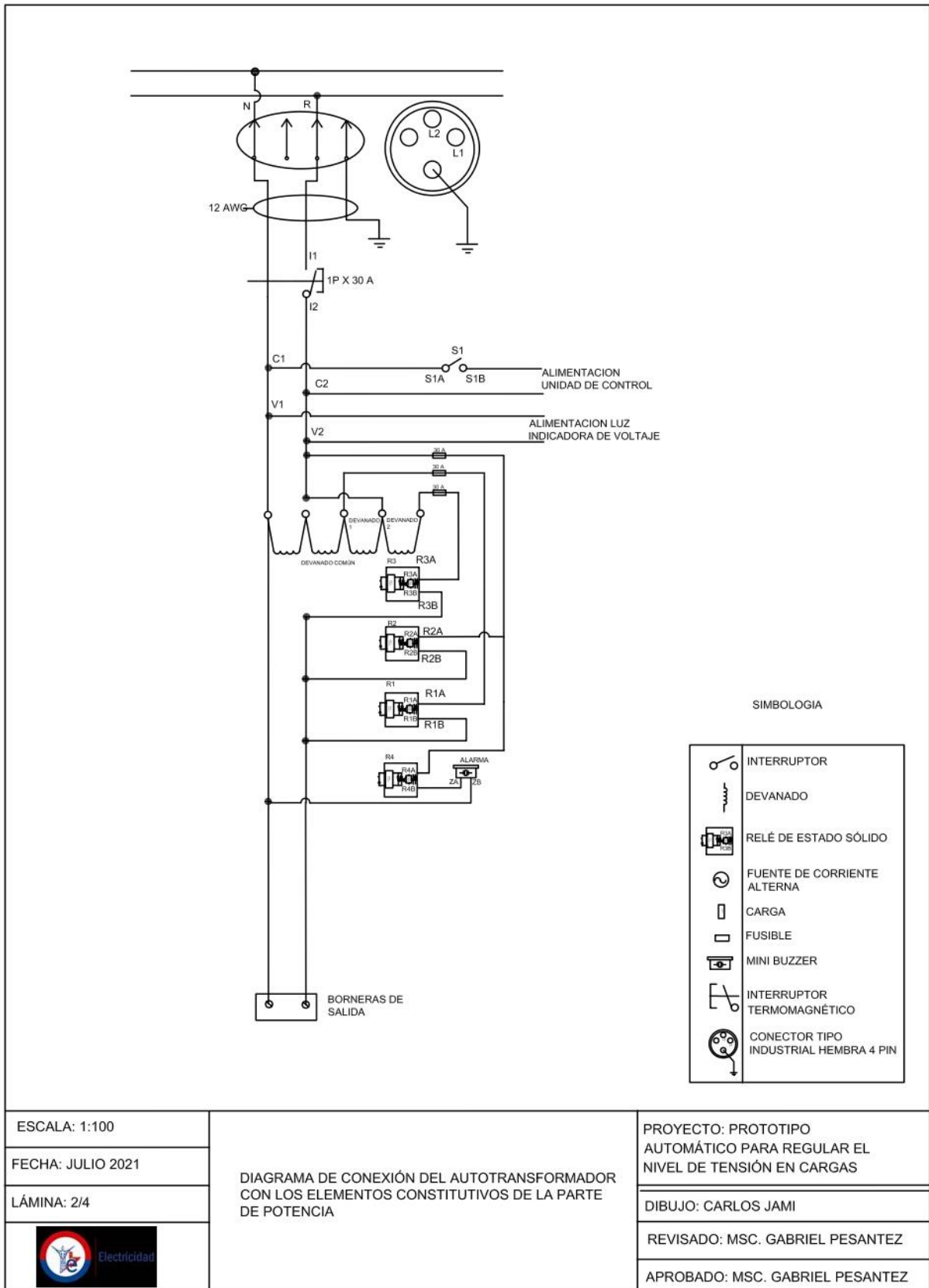
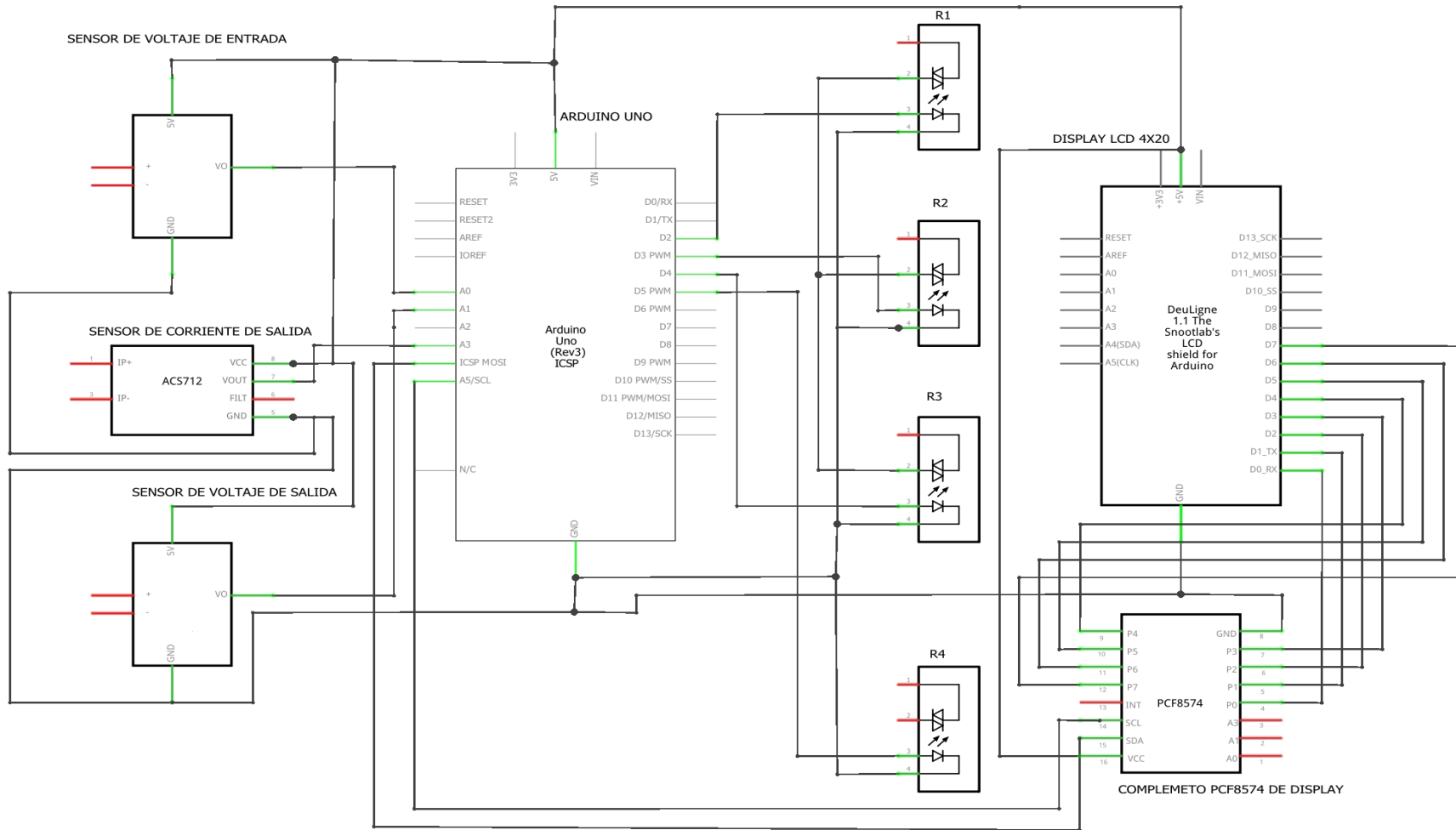


Figura I.1 Diagrama de conexión del autotransformador con los elementos constitutivos de la parte de potencia.

**Anexo J:** Elementos utilizados en el montaje de la parte de potencia del prototipo**Tabla J.1** Elementos utilizados para el montaje de la parte de potencia del prototipo

<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Tornillos y pernos de ½ pulgada	12	u
Alambre flexible #12 AWG	8	m
Terminales para alambre flexible #12 AWG	18	u
Luz indicadora de encendido de CA 127V	1	u
Interruptor termomagnético unipolar de 30 A	1	u
Conector industrial hembra 30 A	1	u
Interruptor 125VAC 19 A	1	u
Relé de estado sólido Fotek SSR-40 A DA	4	u
Portafusible	3	u
Fusible 30 amperios	3	u
Tomacorriente doble polarizado 15 A- 125 V	5	u
Alambre sólido #12 AWG	3	m

**Anexo K:** Esquema de conexión del sistema de control



fritzing

**Figura K.1.** Diagrama de conexión del sistema de control de regulación automática.



**Anexo L:** Elementos utilizados para el montaje del sistema de control automático**Tabla L.1.** Elementos utilizados para el montaje del sistema de control.

<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Sistema de control Arduino UNO	1	u
Fuente de alimentación AC/DC 12 DC-1A	1	u
Sensor de voltaje AC ZMPT101B	2	u
Sensor de corriente ACS712 20 A DC	1	u
Display LCD color azul 4x20	1	u
circuito integrado PCF8574	1	u
Tomacorriente doble sobrepuesto 125V/15A	1	u
Cable #12 AWG flexible	2	m
Cable #16 AWG flexible	3	m
cable #22 AWG flexible	8	m
Terminales para cable flexible #12 AWG	8	u
Terminales para cable flexible #16 AWG	8	u
Terminales para cable flexible #22 AWG	8	u
Mini Buzzer AC 120V 50/60 Hz	1	u
Anillos de ferrita 25x9 mm	2	u

**Anexo M:** Esquema eléctrico de referencia de conexión del prototipo

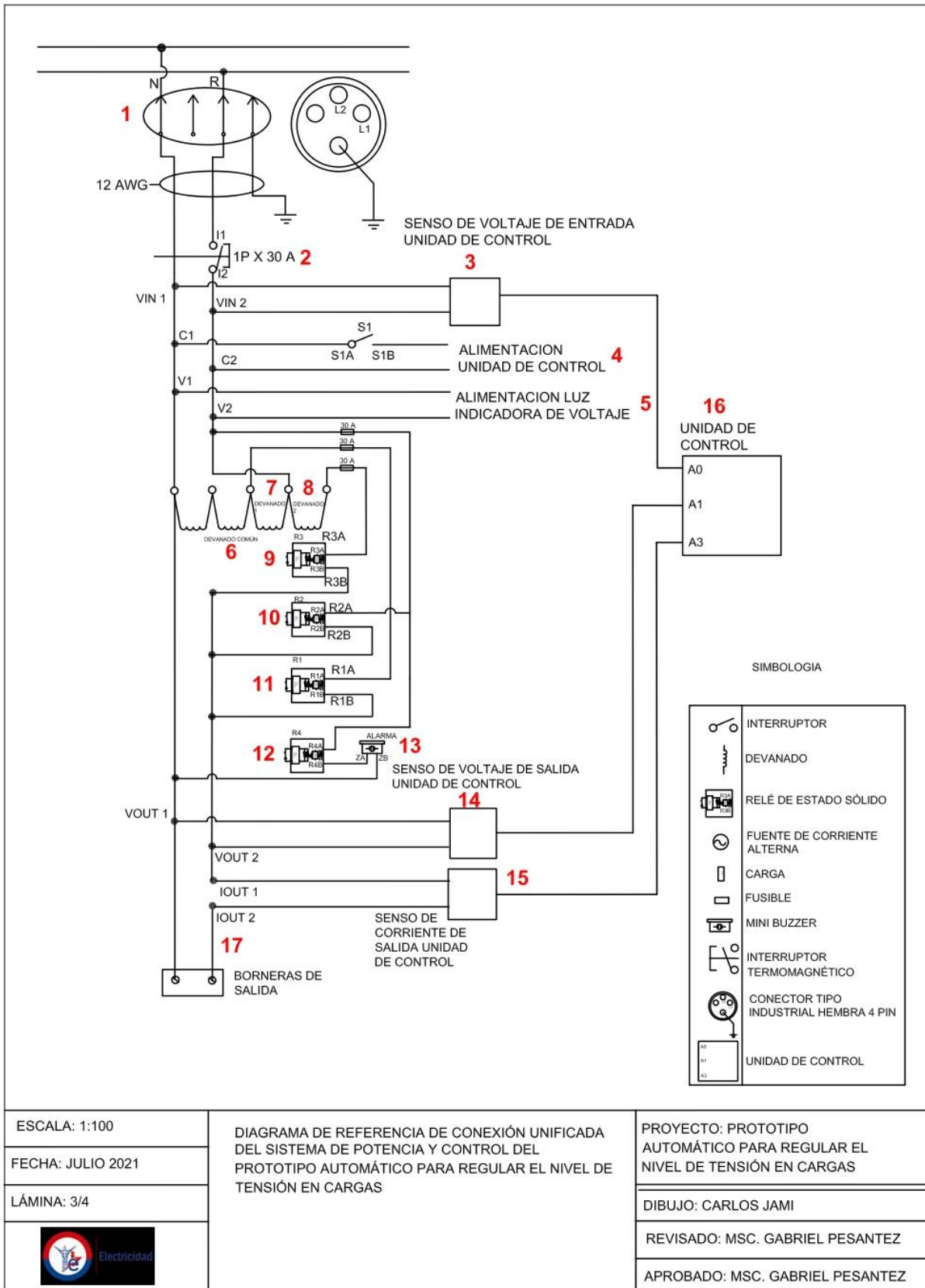
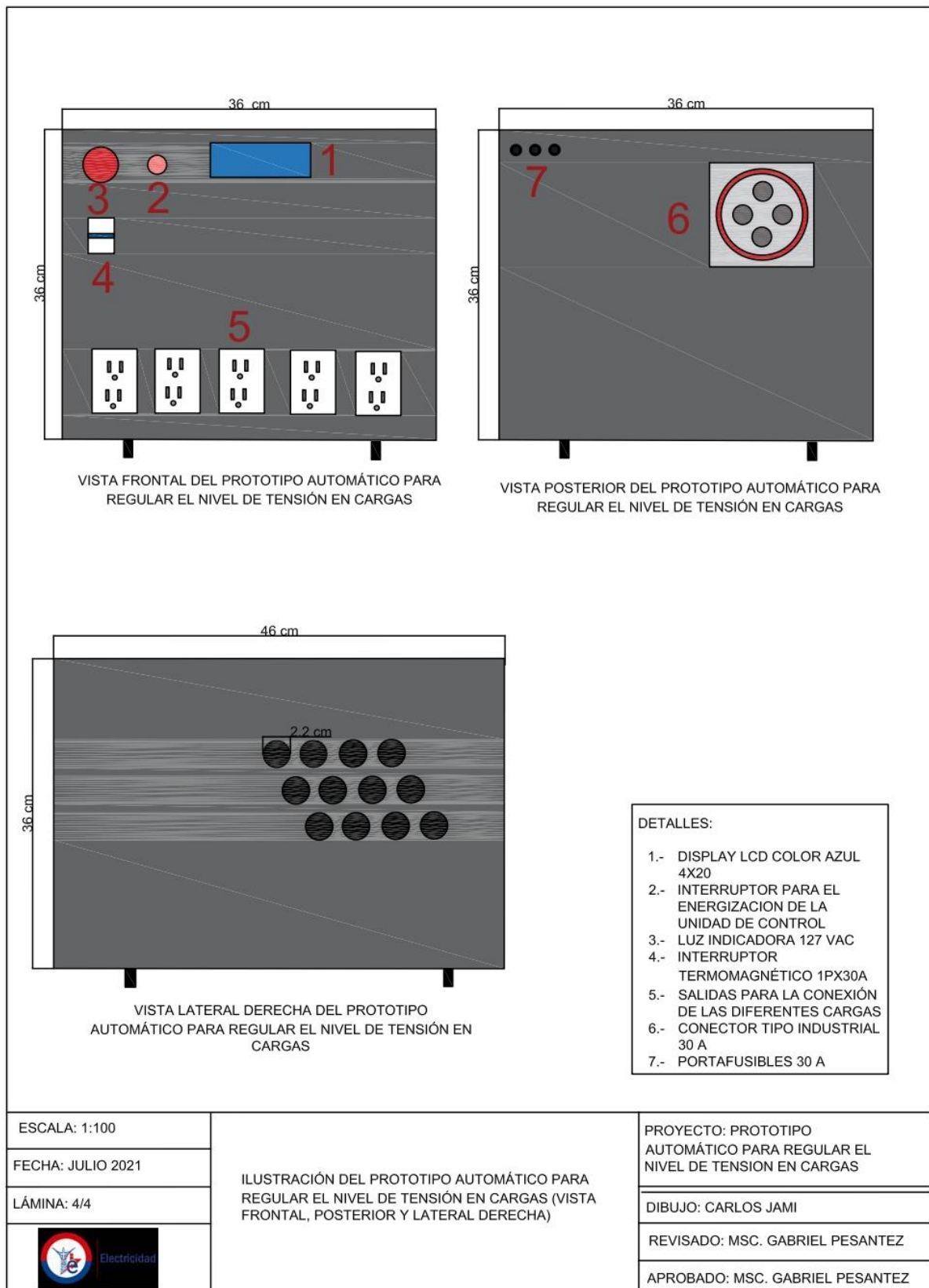


Figura M.1. Plano de referencia de conexión del prototipo.

Detalles de sus partes:

- 1.- Conector tipo industrial de 30 A
- 2.- Interruptor termomagnético 1PX30A
- 3.- Sensor de voltaje de entrada AC ZMPT101B
- 4.- Alimentación para la unidad de control modelo: 1210
- 5.- Luz indicadora de voltaje 127 VCA
- 6.- Devanado común
- 7.- Devanado 1
- 8.- Devanado 2
- 9.-Relé 3 (conduce el voltaje de 116 V)
- 10.-Relé 2 (conduce el voltaje de 110 V)
- 11.-Relé 1 (conduce el voltaje de 104 V)
- 12.-Relé 4 (activa el sistema de alarma)
- 13.- Sistema de alarma (Mini Buzzer)
- 14.- Sensor de voltaje de salida AC ZMPT101B
- 15.- Sensor de corriente ACS712
- 16.- Unidad de control
- 17.- Borneras de salida.

**Anexo N:** Planos constructivos dibujados en el software AutoCAD del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas



**Figura N.1.** Ilustración del prototipo automático para la regulación de voltaje en cargas.



**Figura N.2.** Prototipo automático para la regulación de voltaje en cargas.

**Anexo O:** Caídas de tensión a diferentes distancias de conexión desde el prototipo a la carga

**DATOS:**

$$L = 1 \text{ m}$$

$$U = 113 \text{ V}$$

$$P = 350 \text{ W}$$

$$\gamma_{\text{cobre } 75^{\circ}\text{C}} = 47$$

$$S = 4 \text{ mm}^2$$

$$e = \frac{2 \cdot P \cdot L}{\gamma \cdot U \cdot S} \tag{P.1}$$

Donde:

e = caída de voltaje

P = Potencia

L = Distancia

$\gamma$  = Conductividad del conductor a 20°

U = Tensión

S = Sección del conductor (cable flexible AWG # 12 = 4 mm<sup>2</sup>)

Según tabla:

**Tabla O.1.** Conductividad de varios materiales [64].

Material	$\gamma_{\text{cobre } 20^{\circ}\text{C}}$	$\gamma_{\text{cobre } 70^{\circ}\text{C}}$	$\gamma_{\text{cobre } 90^{\circ}\text{C}}$
Cobre	56	48	44
Aluminio	35	30	28
<b>Temperatura</b>	20°C	70°C	90°C

Entonces:

$$e = \frac{2 \cdot 330 \cdot 1}{56 \cdot 112 \cdot 4}$$

$$e = 0.0263 \text{ V}$$

**Tabla O.2.** Caídas de tensión a diferentes distancias.

Potencia (W)	Longitud (m)	Conductor AWG	Sección (mm <sup>2</sup> )	Voltaje (V)	Conductividad a 20° (Siemens/metro)	Caída de tensión (V)	Voltaje con caída de tensión calculada (V)
330	1	12	4	112	56	0.0279	111.9720
330	5	12	4	112	56	0.1395	111.8604
330	10	12	4	112	56	0.2790	111.7209
330	15	12	4	112	56	0.4185	111.5814
330	20	12	4	112	56	0.5580	111.4419

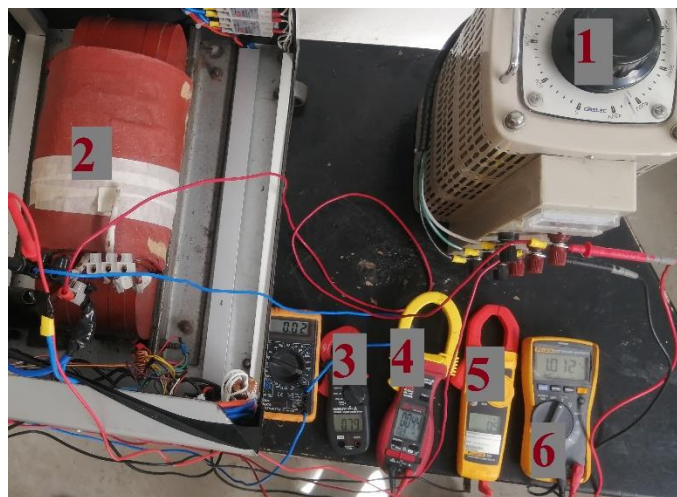


**Anexo P:** Especificaciones técnicas de los amplificadores audio

**Tabla P.1.** Especificaciones técnicas de los equipos de audio utilizados en las pruebas de funcionamiento del prototipo de control automático de voltaje [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71], [72].

Nombre del equipo	Marca	Modelo	Voltaje de entrada (VAC)	Potencia (W)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)
Procesador de efectos	Alesis	Microverb 4	120	22	0.36	50 - 60
Crossover	JBL	M553	120	30	0.5	50 - 60
Drive Rack	Dbx	PA+	100-120	22	0.4	50 - 60
Ecuador gráfico	ASHLY	GQX-3102exp	110-130	24	0.4	50 - 60
Amplificador profesional	QSC	MX 1500a	120	330	5.5	50 - 60
Mezclador	Soundcraft	SPIRIT LX7	110	60	1	50 - 60
Amplificador profesional	EV	CP2200	120	660	11	50 - 60
Amplificador profesional	Wharfedale Pro	MP 2800	110-120	950	15	50 - 60

**Anexo Q:** Ensayo de cortocircuito del autotransformador



**Figura Q.1.** Conexión para la prueba de cortocircuito del autotransformador.

- 1) Variac
- 2) Autotransformador
- 3) Amperímetro
- 4) Vatímetro
- 5) Voltímetro de salida
- 6) Voltímetro de entrada

Tabla Q.1. Valores mostrados en la prueba de cortocircuito



Anexo R: Ensayo en vacío del autotransformador

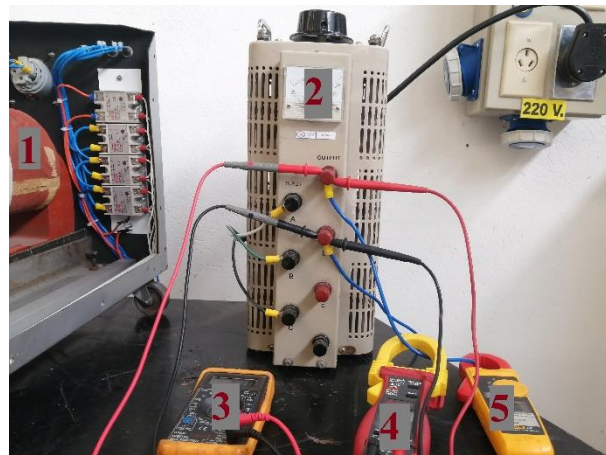


Figura R.1. Conexión para la prueba en vacío del autotransformador

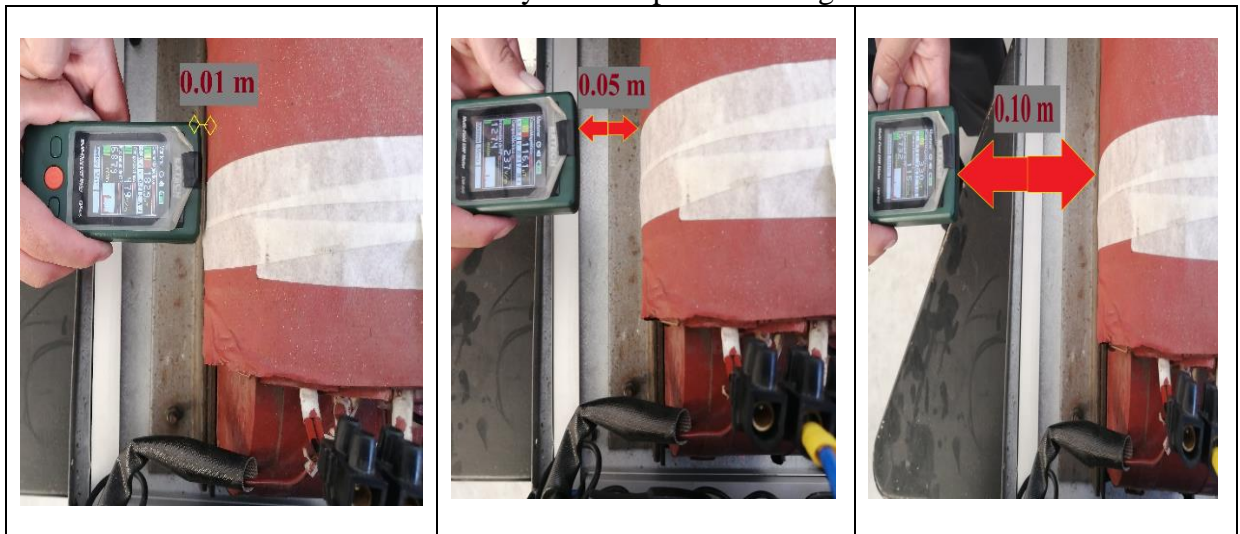
- 1) Autotransformador
- 2) Variac
- 3) Voltímetro
- 4) Vatímetro
- 5) Amperímetro



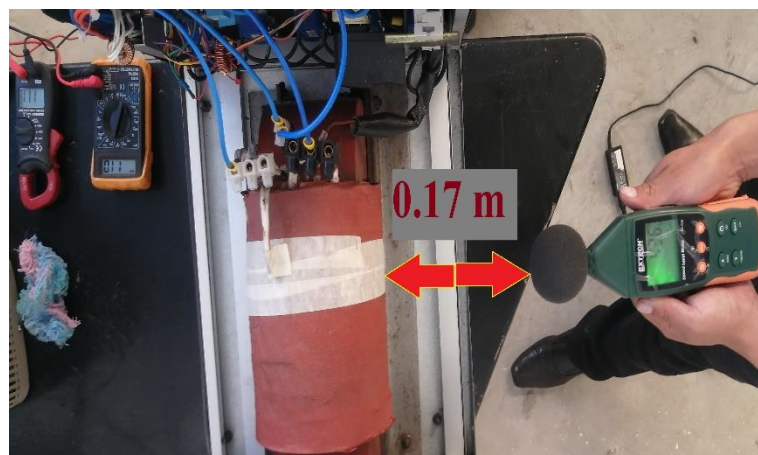
**Figura R.2.** Valores obtenidos en la prueba en vacío en el autotransformador.

**Anexo S:** Ensayo de campo electromagnético

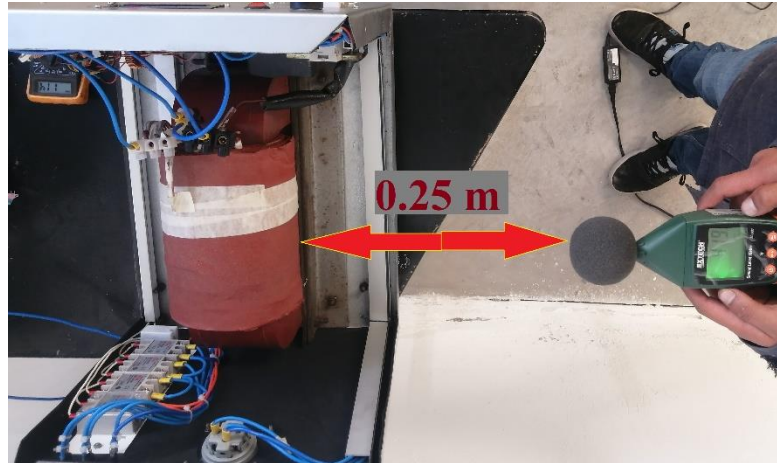
**Tabla S.1.** Valores obtenidos en el ensayo de campo electromagnético a diferentes distancias.



**Anexo T:** Ensayo de sonido audible



**Figura T.1.** Medición de ruido a una distancia de 0.17 m.



**Figura T.2.** Medición de ruido a una distancia de 0.25 m.

**Anexo U:** Ensayo de verificación de parámetros iniciales



**Figura U.1.** Valores de voltaje de entrada y salida obtenidos con los voltímetros.



**Figura U.2.** Valores de voltaje de entrada, salida, corriente y potencia de salida en el prototipo.

**Anexo V:** Resultados obtenidos en las pruebas con diferentes tipos de carga a niveles de voltaje distintos

- **Carga resistiva mínima, voltaje nominal de entrada**



**Figura V.1.** Equipo para realizar las diferentes pruebas al prototipo.

- 1) Módulo de cargas
- 2) Prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas
- 3) Variac



**Figura V.2.** Cargas de tipo resistivo.

**Tabla V.1.** Resultados obtenidos con carga resistiva mínima, voltaje nominal de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. $V_i=110,82$ $V_o=110,51$ $I_o=0,000$ $P_o=0,4741$	U.T.C. $V_i=109,68$ $V_o=109,64$ $I_o=1,270$ $P_o=138,93$	U.T.C. $V_i=109,26$ $V_o=108,50$ $I_o=1,270$ $P_o=138,26$	U.T.C. $V_i=109,56$ $V_o=109,05$ $I_o=1,270$ $P_o=138,02$
Prueba 5			
U.T.C. $V_i=109,29$ $V_o=108,90$ $I_o=1,240$ $P_o=134,92$			

- Carga resistiva máxima, voltaje nominal de entrada

**Tabla V.2.** Resultados obtenidos con carga resistiva mínima, voltaje nominal de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=114.05 Uo=114.90 Io=-0.01 Po=-1.444	U.T.C. Vi=113.26 Uo=114.03 Io=1.371 Po=155.84	U.T.C. Vi=112.86 Uo=113.61 Io=2.790 Po=316.46	U.T.C. Vi=111.65 Uo=113.40 Io=4.121 Po=467.21
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8
U.T.C. Vi=110.95 Uo=113.01 Io=5.411 Po=610.94	U.T.C. Vi=110.16 Uo=112.81 Io=6.681 Po=754.02	U.T.C. Vi=108.65 Uo=111.89 Io=9.973 Po=1115.6	U.T.C. Vi=107.61 Uo=110.50 Io=14.50 Po=1602.6
Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	Prueba 12
U.T.C. Vi=106.38 Uo=108.69 Io=15.39 Po=1672.4	U.T.C. Vi=104.94 Uo=106.92 Io=15.34 Po=1639.8	U.T.C. Vi=104.90 Uo=106.76 Io=15.62 Po=1667.8	U.T.C. Vi=104.64 Uo=106.72 Io=15.82 Po=1688.0
Prueba 13			
		U.T.C. Vi=104.54 Uo=106.34 Io=15.87 Po=1687.2	

- Carga Resistiva mínima, voltaje máximo de entrada

**Tabla V.3.** Resultados obtenidos con carga resistiva mínima, voltaje máximo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=121.64 Uo=115.95 Io=0.010 Po=1.4845	U.T.C. Vi=120.30 Uo=114.26 Io=1.340 Po=153.37	U.T.C. Vi=120.48 Uo=114.46 Io=1.32 Po=151.46	U.T.C. Vi=120.31 Uo=114.24 Io=1.32 Po=150.82
Prueba 5			
		U.T.C. Vi=120.52 Uo=114.45 Io=1.32 Po=150.55	

- Carga Resistiva máxima, voltaje máximo de entrada

**Tabla V.4.** Resultados obtenidos con carga resistiva máxima, voltaje máximo de entrada

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=121.71 Uo=115.74 Io=0.13 Po=14.79	U.T.C. Vi=120.68 Uo=114.66 Io=1.31 Po=149.81	U.T.C. Vi=119.29 Uo=113.61 Io=2.70 Po=306.66	U.T.C. Vi=118.24 Uo=112.29 Io=4.05 Po=454.39
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8
U.T.C. Vi=115.61 Uo=109.58 Io=7.32 Po=802.59	U.T.C. Vi=114.15 Uo=113.24 Io=13.27 Po=1502.1	U.T.C. Vi=114.76 Uo=113.93 Io=13.18 Po=1491.3	U.T.C. Vi=114.07 Uo=113.52 Io=13.25 Po=1503.8
Prueba 9			
		U.T.C. Vi=114.15 Uo=113.24 Io=13.27 Po=1502.1	

- Carga Resistiva mínima, voltaje mínimo de entrada

**Tabla V.5.** Resultados obtenidos con carga resistiva mínima, voltaje mínimo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=98.890 Uo=104.84 Io=0.08 Po=8.868	U.T.C. Vi=97.45 Uo=23.205 Io=0.05 Po=1.2009	U.T.C. Vi=97.54 Uo=22.935 Io=0.04 Po=0.9609	U.T.C. Vi=97.49 Uo=23.135 Io=0.05 Po=1.1509
Prueba 5			
U.T.C. Vi=97.49 Uo=22.925 Io=0.05 Po=1.0509			

- Carga Resistiva máxima, nivel de voltaje mínimo de entrada

**Tabla V.6.** Resultados obtenidos con carga resistiva máxima, voltaje mínimo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=98.946 Uo=104.90 Io=0.08 Po=8.658	U.T.C. Vi=97.32 Uo=23.257 Io=0.09 Po=2.191	U.T.C. Vi=96.50 Uo=23.267 Io=0.09 Po=2.061	U.T.C. Vi=95.48 Uo=23.097 Io=0.07 Po=1.681
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8
U.T.C. Vi=93.07 Uo=23.097 Io=0.07 Po=1.691	U.T.C. Vi=91.19 Uo=22.757 Io=0.05 Po=1.181	U.T.C. Vi=89.29 Uo=22.557 Io=0.05 Po=1.041	U.T.C. Vi=87.76 Uo=22.407 Io=0.07 Po=1.571
Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	
U.T.C. Vi=87.54 Uo=22.397 Io=0.06 Po=1.441	U.T.C. Vi=87.53 Uo=22.117 Io=0.06 Po=1.361	U.T.C. Vi=87.54 Uo=22.297 Io=0.07 Po=1.491	

- Carga Capacitiva mínima, nivel de voltaje nominal de entrada



**Figura X.3.** Cargas de tipo inductivo.

**Tabla V.7.** Resultados obtenidos con carga capacitiva mínima, voltaje nominal de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=109.78 Uo=109.32 Io=0.38 Po=41.996	U.T.C. Vi=118.64 Uo=113.48 Io=3.40 Po=385.79	U.T.C. Vi=117.91 Uo=111.92 Io=3.43 Po=383.74	U.T.C. Vi=117.91 Uo=111.92 Io=3.43 Po=383.74
Prueba 5			
U.T.C. Vi=119.58 Uo=114.13 Io=3.42 Po=390.88			

- Carga capacitiva máxima, nivel de voltaje nominal de entrada

**Tabla V.8.** Resultados obtenidos con carga capacitiva máxima, voltaje nominal de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=109.97 Uo=109.24 Io=0.05 Po=5.82	U.T.C. Vi=118.01 Uo=113.30 Io=3.55 Po=402.03	U.T.C. Vi=129.38 Uo=123.99 Io=7.94 Po=984.78	U.T.C. Vi=140.42 Uo=140.71 Io=13.16 Po=1931.2
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	
U.T.C. Vi=139.95 Uo=27.44 Io=-0.08 Po=-0.12	U.T.C. Vi=140.19 Uo=27.36 Io=0.041 Po=1.104	U.T.C. Vi=140.06 Uo=27.44 Io=0.021 Po=0.654	

- Carga capacitiva mínima, voltaje máximo de entrada

**Tabla V.9.** Resultados obtenidos con carga capacitiva mínima, voltaje máximo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=121.29 Uo=115.34 Io=0.001 Po=0.265	U.T.C. Vi=129.90 Uo=124.36 Io=3.930 Po=489.05	U.T.C. Vi=129.44 Uo=27.69 Io=0.000 Po=0.018	U.T.C. Vi=129.05 Uo=27.69 Io=-0.00 Po=-0.03
Prueba 5			
U.T.C. Vi=129.41 Uo=27.64 Io=-0.01 Po=-0.36			

- Carga capacitiva máxima, nivel de voltaje máximo de entrada

**Tabla V.10.** Resultados obtenidos con carga capacitiva máxima, voltaje máximo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=121.29 Uo=115.34 Io=0.001 Po=0.265	U.T.C. Vi=130.37 Uo=124.89 Io=3.93 Po=489.70	U.T.C. Vi=134.37 Uo=124.33 Io=0.640 Po=1100.3	U.T.C. Vi=145.23 Uo=142.89 Io=13.43 Po=1917.3
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	
U.T.C. Vi=145.43 Uo=27.82 Io=0.21 Po=5.756	U.T.C. Vi=145.23 Uo=27.82 Io=0.20 Po=5.436	U.T.C. Vi=145.09 Uo=27.85 Io=0.17 Po=4.706	

- Carga capacitiva mínima, nivel de voltaje mínimo de entrada

**Tabla V.11.** Resultados obtenidos con carga capacitiva mínima, voltaje mínimo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=98.91 Uo=104.68 Io=-0.02 Po=-1.62	U.T.C. Vi=107.94 Uo=108.24 Io=3.300 Po=362.83	U.T.C. Vi=107.90 Uo=108.38 Io=3.280 Po=355.05	U.T.C. Vi=107.56 Uo=108.09 Io=3.280 Po=354.32
Prueba 5			
U.T.C. Vi=107.61 Uo=108.32 Io=3.340 Po=362.17			



- Carga capacitiva máxima, nivel de voltaje mínimo de entrada

**Tabla V.12.** Resultados obtenidos con carga capacitiva máxima, voltaje mínimo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=98.670 Uo=104.52 Io=-0.02 Po=-1.72	U.T.C. Vi=106.99 Uo=107.71 Io=3.470 Po=374.10	U.T.C. Vi=116.37 Uo=111.31 Io=7.23 Po=804.76	U.T.C. Vi=128.20 Uo=137.88 Io=13.30 Po=1834.2
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	
U.T.C. Vi=128.25 Uo=24.293 Io=0.390 Po=9.4168	U.T.C. Vi=128.41 Uo=24.163 Io=0.400 Po=9.6768	U.T.C. Vi=128.23 Uo=24.383 Io=0.370 Po=9.0508	

- Carga inductiva mínima, voltaje nominal de entrada

**Tabla V.13.** Resultados obtenidos con carga inductiva máxima, voltaje nominal de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=110.56 Uo=110.44 Io=0.14 Po=15.39	U.T.C. Vi=108.75 Uo=109.20 Io=0.70 Po=75.919	U.T.C. Vi=108.76 Uo=109.29 Io=0.70 Po=76.739	U.T.C. Vi=109.29 Uo=109.32 Io=0.65 Po=71.009
Prueba 5			
		U.T.C. Vi=108.72 Uo=109.34 Io=0.69 Po=75.559	

- Carga inductiva máxima, voltaje nominal de entrada

**Tabla V.14.** Resultados obtenidos con carga inductiva máxima, voltaje nominal de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=110.20 Uo=110.12 Io=0.15 Po=16.074	U.T.C. Vi=108.63 Uo=109.04 Io=0.70 Po=76.294	U.T.C. Vi=106.83 Uo=107.36 Io=1.23 Po=132.45	U.T.C. Vi=103.95 Uo=109.30 Io=2.01 Po=220.05
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	
U.T.C. Vi=104.78 Uo=106.31 Io=1.940 Po=206.72	U.T.C. Vi=104.97 Uo=106.07 Io=1.910 Po=202.21	U.T.C. Vi=105.19 Uo=106.13 Io=1.870 Po=198.82	

- Carga inductiva mínima, nivel de voltaje máximo de entrada

**Tabla V.15.** Resultados obtenidos con carga inductiva mínima, voltaje máximo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=121.32 Uo=115.00 Io=0.12 Po=14.31	U.T.C. Vi=119.85 Uo=114.93 Io=0.74 Po=85.26	U.T.C. Vi=119.73 Uo=114.66 Io=0.72 Po=82.49	U.T.C. Vi=119.77 Uo=114.67 Io=0.73 Po=84.01
Prueba 5			
		U.T.C. Vi=119.68 Uo=114.70 Io=0.71 Po=81.94	

- **Carga inductiva máxima, nivel de voltaje máximo de entrada**

**Tabla V.16.** Resultados obtenidos con carga inductiva máxima, voltaje máximo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=121.35 Vo=115.49 Io=0.10 Po=11.36	U.T.C. Vi=119.65 Vo=114.66 Io=0.71 Po=81.495	U.T.C. Vi=117.99 Vo=113.02 Io=1.39 Po=157.35	U.T.C. Vi=116.82 Vo=112.12 Io=2.10 Po=235.28
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	
U.T.C. Vi=116.69 Vo=111.63 Io=2.09 Po=233.75	U.T.C. Vi=116.59 Vo=111.69 Io=2.09 Po=232.97	U.T.C. Vi=115.83 Vo=116.67 Io=2.19 Po=255.15	

- **Carga inductiva mínima, nivel de voltaje mínimo de entrada**

**Tabla V.17.** Resultados obtenidos con carga inductiva mínima, voltaje mínimo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=98.020 Vo=104.32 Io=-0.01 Po=-1.44	U.T.C. Vi=97.97 Vo=1.9166 Io=0.12 Po=0.2213	U.T.C. Vi=97.36 Vo=1.9788 Io=0.13 Po=0.253	U.T.C. Vi=97.29 Vo=1.9288 Io=0.13 Po=0.253
Prueba 5			
U.T.C. Vi=97.35 Vo=2.1788 Io=0.13 Po=0.283			

- **Carga inductiva máxima, nivel de voltaje mínimo de entrada**

**Tabla V.18.** Resultados obtenidos con carga inductiva máxima, voltaje mínimo de entrada.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. Vi=98.400 Vo=104.17 Io=-0.01 Po=-1.21	U.T.C. Vi=97.14 Vo=1.8436 Io=0.11 Po=0.2027	U.T.C. Vi=96.81 Vo=1.5792 Io=0.15 Po=0.2428	U.T.C. Vi=93.53 Vo=1.3882 Io=0.09 Po=0.1279
Prueba 5	Prueba 6		
U.T.C. Vi=93.43 Vo=1.1382 Io=0.10 Po=0.1179	U.T.C. Vi=93.90 Vo=22.90 Io=0.11 Po=2.42		

**Anexo W:** Resultados obtenidos de las pruebas con equipos amplificadores de audio

**Tabla W.1.** Equipo utilizado para la prueba.



Detalles:

- 1.- Procesador de efectos marca Alesis.
- 2.- Crossover marca JBL.
- 3.- Driver Rack marca Dbx.
- 4.- Ecuador gráfico marca ASHLY.
- 5.- Amplificador profesional marca QSC.
- 6.- prototipo automático para regular el voltaje.
- 7.- Amplificador profesional marca EV.
- 8.- Amplificador profesional marca Wharfedale Pro.
- 9.- Mezclador de audio marca Soundcraft.

• **Prueba 1**

**Tabla W.2.** Valores obtenidos en diferentes tiempos de prueba.

Prueba 1 (15 minutos)	Prueba 2 (30 minutos)	Prueba 3 (45 minutos)	Pruebas 4 (60 minutos)
U.T.C. $U_i=113.46$ $U_o=113.31$ $I_o=6.888$ $P_o=779.33$	U.T.C. $U_i=113.66$ $U_o=113.74$ $I_o=6.768$ $P_o=768.41$	U.T.C. $U_i=113.18$ $U_o=113.06$ $I_o=6.928$ $P_o=782.88$	U.T.C. $U_i=112.15$ $U_o=111.98$ $I_o=6.978$ $P_o=780.61$

• **Prueba 2**

**Tabla W.3.** Valores obtenidos en la prueba de variación del voltaje de entrada.

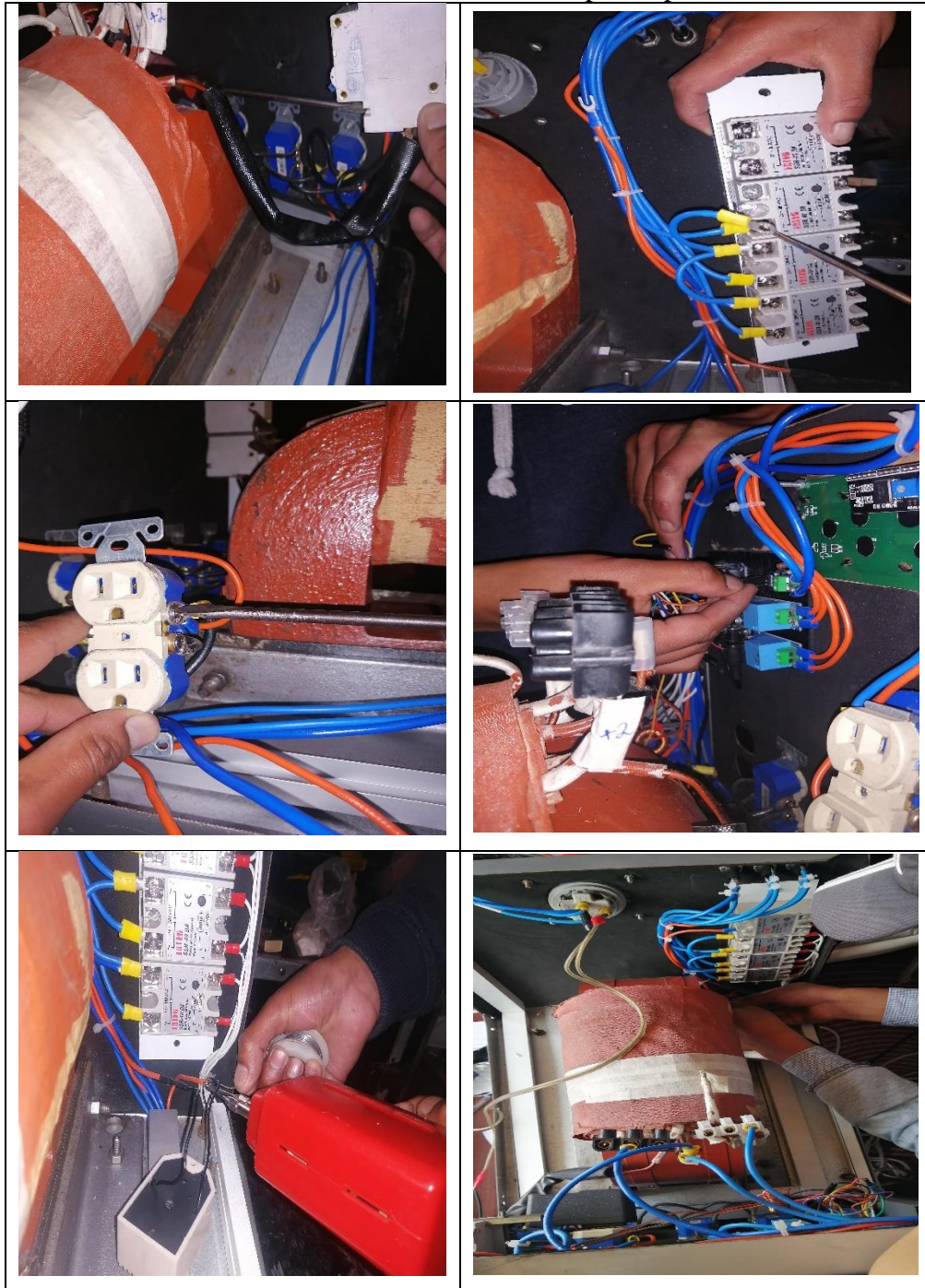
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
U.T.C. $U_i=113.51$ $U_o=113.34$ $I_o=0.05$ $P_o=5.68$	U.T.C. $U_i=112.90$ $U_o=112.82$ $I_o=1.378$ $P_o=155.82$	U.T.C. $U_i=104.54$ $U_o=104.21$ $I_o=1.220$ $P_o=127.50$	U.T.C. $U_i=104.54$ $U_o=104.21$ $I_o=1.220$ $P_o=127.50$
Prueba 5	Prueba 6		
U.T.C. $U_i=100.28$ $U_o=104.91$ $I_o=1.228$ $P_o=128.23$		U.T.C. $U_i=96.836$ $U_o=107.28$ $I_o=0.010$ $P_o=0.0204$	

**Tabla W.4.** Valores obtenidos en la prueba a diferentes distancias del prototipo.

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
			
Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	
			

**Anexo X:** Montaje del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas

**Tabla X.1.** Construcción del prototipo.

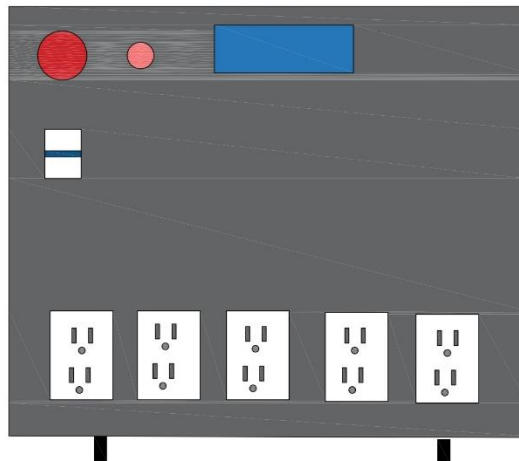


**Anexo Y:** Manual de usuario del prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

#### INGENIERIA ELÉCTRICA



#### “CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ELEVAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS”

Manual de usuario

Versión: 0001  
Fecha: Julio/2021

	<b>CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ELEVAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS</b>	<b>Carrera en Electricidad</b>
---	---	------------------------------------

## HOJA DE CONTROL

<b>Institución</b>	Universidad Técnica de Cotopaxi		
<b>Carrera</b>	Carrera en Electricidad		
<b>Proyecto Entregable</b>	“Prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas”		
	Manual de Usuario	<b>Fecha de creación:</b>	Julio/2021
<b>Versión/Edición</b>	<b>0001</b>	<b>Fecha de aprobación</b>	Julio/2021
<b>Aprobado por:</b>	Ing. Msc. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios	<b>Nº Total de paginas</b>	6

## AUTOR

<b>Nombres y Apellidos</b>
Carlos Efrén Jami Aymacaña

## INFORMACION GENERAL

El presente prototipo está diseñado para regular el nivel de tensión en diferentes tipos de cargas y equipos eléctricos, en consecuencia, surge la necesidad de creación del presente manual de uso, el cual contiene las debidas precauciones y advertencias que deben ser tomadas en cuenta por el usuario para así evitar posibles accidentes eléctricos futuros durante su uso, además de garantizar un correcto funcionamiento del prototipo. Por tal razón se recomienda leer el presente manual de uso antes de utilizarlo por primera vez.

## INTRODUCCIÓN

El prototipo automático para regular el nivel de tensión en cargas nos permite mantener un nivel de voltaje de manera automática y así obtener un nivel de tensión aceptable para de esta manera garantizar el correcto funcionamiento, como también el de evitar posibles daños de los aparatos a alimentar.

Las unidades de medida de los diferentes parámetros eléctricos que muestra el prototipo son diferentes. El nivel de voltaje de entrada y salida en voltios, la corriente de salida en amperios y la potencia de salida en watts.

	<b>CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ELEVAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS</b>	<b>Carrera en Electricidad</b>
---	---	------------------------------------

El prototipo presentado es ideal para alimentar cargas y aparatos eléctricos donde no haya las condiciones para mantener un nivel de tensión óptimo.

### **OBJETIVO**

Regular el nivel de tensión en diferentes cargas y equipos eléctricos en donde las condiciones no lo permitan y mediante la visualización de los parámetros descritos anteriormente controlar su correcto funcionamiento.

### **CONCEPTOS A TOMAR EN CUENTA**

**Aparatos eléctricos (cargas):** su función es transformar la energía eléctrica en otro tipo de energía como, por ejemplo: calorífica (resistencias), luminosa (lámparas), inductiva (bobinas), acústica (transductores).

**Voltaje:** se lo define como la presión que desempeña una fuente de energía eléctrica sobre las cargas eléctricas en un circuito eléctrico cerrado, para que de esta manera exista un flujo de corriente eléctrica. Su unidad de medida es el voltio (V).

**Corriente:** se define como el flujo de cargas a lo largo de un conductor. Estas cargas se mueven debido a una diferencia de potencial (voltaje) aplicado en los extremos del conductor. La intensidad de corriente dependerá en gran medida de la diferencia de potencial aplicada y de las características del conductor. El sentido de la corriente eléctrica depende del movimiento de los portadores positivos.

**Potencia:** es la energía o trabajo consumido en un determinado tiempo. Cuando una corriente eléctrica fluye en un determinado circuito cerrado, tiene la capacidad de transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt).

### **FUENTE DE ALIMENTACION**

El prototipo está adaptado para un rango de alimentación de 98 a 122 VAC.

El calibre de cable recomendado para energizar el prototipo es el #12 AWG o superior.

### **DESCRIPCION DEL SISTEMA**

El prototipo automático regulador de voltaje proporciona una potencia aparente de 2.5 KVA,



	<b>CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ELEVAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS</b>	<b>Carrera en Electricidad</b>
---	---	------------------------------------

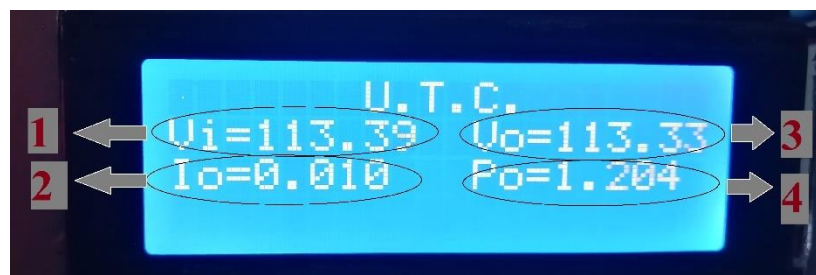
además es capaz de mantener un rango de voltaje de salida desde los 104 VAC hasta los 116 VAC, siempre y cuando el voltaje de entrada o alimentación esté dentro del rango desde los 98 V hasta 122 VAC, o cuando la carga conectada al prototipo no genere una caída de voltaje o un aumento dentro del rango establecido. Adicional a esto, por motivos de seguridad existe un mecanismo de activación de un sistema de alarma y una des energización en la salida cuando el valor del voltaje de entrada sea menor a 98 y mayor a 122 V.

#### Características:

- Interruptor termomagnético de encendido
- Protección contra cortocircuitos y sobrecarga en cada línea de salida
- Configuración de compensación de +/- 6 V en tres rangos de voltaje (98 V-104 V) (104 V- 116 V) (116 V – 122 V).
- Interruptor ON/OFF del sistema de control.
- Lectura del voltaje de entrada/salida
- Lectura de la corriente de salida
- Lectura de la potencia de salida
- Activación del Sistema de alarma fuera del rango de trabajo
- Des energización de la salida fuera del rango de trabajo

#### Pantalla principal del prototipo

En la pantalla principal del prototipo se muestra los valores de voltaje de entrada/ salida, corriente de salida y potencia de salida.



**Figura Y.1.** Descripción de los valores mostrados en el display del prototipo.

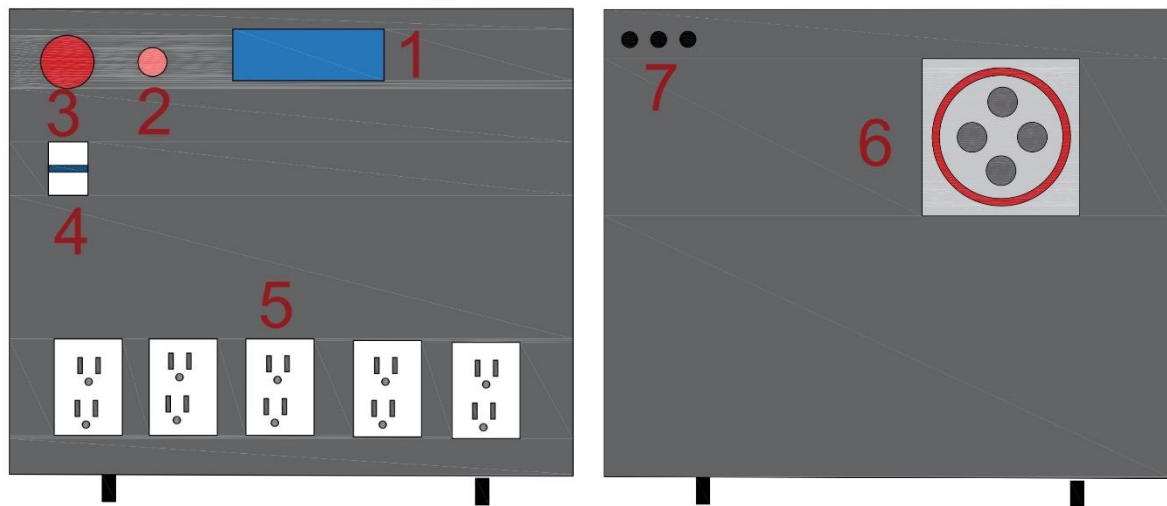
- 1.- Voltaje de entrada
- 2.- Corriente de salida

	<b>CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ELEVAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS</b>	<b>Carrera en Electricidad</b>
---	---	------------------------------------

3.- Voltaje de salida

4.- Potencia de salida

### DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO:



**Figura Y.2.** Descripción de la vista frontal y posterior del prototipo

1.- Display LCD color Azul 4x20

2.- Interruptor para el accionamiento de la unidad de control

3.- Luz indicadora 127 VCA

4.- Interruptor termomagnético 1PX30A

5.- Salidas para la conexión de diferentes cargas

6.- Conector tipo industrial 30 A

7.- Portafusibles 30 A

### INSTRUCCIONES DE USO

1.- Conectar el prototipo a la red de alimentación mediante el conector tipo industrial (6).

2.- Accionar el interruptor termomagnético (4).

3.- Encender el sistema de control (2).

4.- Conectar los diferentes tipos de cargas en las salidas (5).

	<b>CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ELEVAR EL NIVEL DE TENSIÓN EN CARGAS</b>	<b>Carrera en Electricidad</b>
---	---	------------------------------------

**PRECAUCIONES:**

- No utilizar calibres de cables menores al recomendado para energizar el prototipo
- No conectar ningún tipo de carga antes de energizar el prototipo.
- No instalar el prototipo cerca de fuentes de calor, agua o materiales inflamables
- No instalar el prototipo donde exista una vibración extenuante
- No abrir la tapa del prototipo ante cualquier falla o cortocircuito

**ADVERTENCIAS:**

- Nunca intente conectar ningún tipo de carga si observa alguna anomalía de funcionamiento
- Nunca exceda el rango de potencia que entrega el prototipo
- No instalar el prototipo cerca de fuentes de calor, agua o materiales inflamables.
- No obstaculizar los orificios de ventilación del prototipo