



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**AUTORES: ACOSTA CARRASCO EDWIN JAVIER  
GARCÉS CADENA ANDRÉS ALEJANDRO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO  
AUTOMÁTICO DE PRUEBAS PARA LA VERIFICACIÓN DE  
CONTINUIDAD DEL ESMALTADO Y RIGIDEZ DIELECTRICA  
DEL ALAMBRE REDONDO DE COBRE PARA EL  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EMPRESA  
ECUATRÁN S.A.**

**DIRECTOR: ING. HALLO VICENTE  
CODIRECTOR: ING. PRUNA EDWIN.**

**LATACUNGA, JULIO 2014**

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**CERTIFICADO**

ING. VICENTE HALLO (DIRECTOR)

ING. EDWIN PRUNA (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado **“Diseño y construcción de un equipo automático de pruebas para la verificación de continuidad del esmaltado y rigidez dieléctrica del alambre redondo de cobre para el laboratorio de control de calidad de la empresa ECUATRÁN S.A.”**, realizado por los señores: ACOSTA CARRASCO EDWIN JAVIER y GARCÉS CADENA ANDRÉS ALEJANDRO, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Latacunga, Julio del 2014.

---

ING. VICENTE HALLO  
DIRECTOR

---

ING. EDWIN PRUNA  
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

NOSOTROS, ACOSTA CARRASCO EDWIN JAVIER  
GARCÉS CADENA ANDRÉS ALEJANDRO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“Diseño y construcción de un equipo automático de pruebas para la verificación de continuidad del esmaltado y rigidez dieléctrica del alambre redondo de cobre para el laboratorio de control de calidad de la empresa ECUATRÁN S.A.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Julio del 2014.

---

JAVIER ACOSTA CARRASCO

CC: 180460883-2

---

ANDRÉS GARCÉS CADENA

CC: 180454082-9

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**AUTORIZACIÓN**

NOSOTROS, ACOSTA CARRASCO EDWIN JAVIER  
GARCÉS CADENA ANDRÉS ALEJANDRO

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo titulado **“Diseño y construcción de un equipo automático de pruebas para la verificación de continuidad del esmaltado y rigidez dieléctrica del alambre redondo de cobre para el laboratorio de control de calidad de la empresa ECUATRÁN S.A.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2014.

---

JAVIER ACOSTA CARRASCO  
CC: 180460883-2

---

ANDRÉS GARCÉS CADENA  
CC: 180454082-9

## DEDICATORIA

*A mis padres Sergio y María por su apoyo, comprensión y cariño.*

*A mis hermanos que supieron guiarme y ser el ejemplo de superación.*

*A mi padrino José Julio, por todo su apoyo incondicional en mi etapa universitaria.*

*A mi querida enamorada Adry, por su amor y apoyo en esta etapa.*

*Javier*

*A Dios por ser mi fortaleza y darme la suficiente sabiduría.*

*A mis padres Germán y Anita quienes juntos han sabido guiarme y entregarme todo su cariño. Este sueño de ser ingeniero es el fruto de su esfuerzo, sacrificio y perseverancia.*

*A mi hermana Paola por todo su apoyo.*

*A mi tía Alba por ser como una segunda madre para mí.*

*A mi tío Manuel por acompañarme a llegar a la meta.*

*A mi abuelita Rosa por siempre estar presente con su cariño, consejos y enseñanzas.*

*A mi abuelita Teresa por siempre estar pendiente de mí. La extraño mucho abuelita pero sé que desde el cielo seguirá guiando mi camino.*

*A toda mi familia que fue parte de este sueño.*

*A mis amigos que me apoyaron incondicionalmente.*

*Andrés*

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro más sincero agradecimiento para el personal de la empresa Ecuatrán S.A, de manera especial al Ing. Diego Lara Gerente General y al Ing. Renato Almache Gerente de Control de Calidad, por el apoyo incondicional en el desarrollo del proyecto. Un agradecimiento profundo a Manuel Cadena por sus sabios consejos.

A nuestro director y codirector de tesis, por su ayuda y colaboración en la ejecución del proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA .....	i
CERTIFICADO .....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
PRESENTACIÓN.....	xix

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I .....	1
1. GENERALIDADES .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN A LOS TRANSFORMADORES .....	1
1.1.1 PARTES DEL TRANSFORMADOR .....	2
a) NÚCLEO.....	2
b) BOBINAS .....	2
c) OTROS COMPONENTES.....	3
a) POR EL SISTEMA DE TENSIONES QUE TRANSFORMAN .....	3
b) POR LA DISPOSICIÓN DEL CIRCUITO MAGNÉTICO .....	3
c) POR LA DISPOSICIÓN DE LOS DEVANADOS .....	3
d) POR EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN .....	3
e) POR EL MEDIO AMBIENTE EN QUE DEBEN FUNCIONAR .....	4
1.1.3 AUTOTRANSFORMADOR VARIABLE .....	4

1.2	GENERALIDADES DEL ALAMBRE DE COBRE .....	5
1.2.1	ALAMBRE ESMALTADO DE COBRE .....	5
a)	CARACTERÍSTICAS .....	6
1.2.2	CLASIFICACIÓN DEL ALAMBRE ESMALTADO DE COBRE.....	6
a)	POR SU FORMA.....	6
b)	POR SU TIPO DE RECUBRIMIENTO.....	7
c)	POR SU CLASE TÉRMICA .....	7
1.3	ESTUDIO DE LA NORMATIVA DE PRUEBAS PARA EL ALAMBRE DE COBRE .....	8
1.3.1	DIMENSIONALES .....	9
a)	PROCEDIMIENTO .....	10
1.3.2	CHOQUE TÉRMICO .....	11
a)	PROCEDIMIENTO .....	11
1.3.3	CONTINUIDAD .....	12
1.3.4	RIGIDEZ DIELECTRICA VAC .....	13
1.4	FUENTES AC Y DC DE ALTO VOLTAJE .....	14
1.4.1	FUENTES AC .....	15
1.4.2	FUENTES DC.....	16
a)	MULTIPLICADOR DE VOLTAJE .....	16
1.5	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE .....	17
1.5.1	DESCRIPCIÓN DE UN PLC .....	17
1.5.2	FUNCIONES DE UN PLC .....	18
1.5.3	ESTRUCTURA DEL PLC.....	19
a)	CPU.....	19
b)	FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	20
c)	ENTRADAS Y SALIDAS.....	20
d)	MEMORIA.....	20
1.6	SISTEMAS TOUCHSCREEN .....	21
1.6.1	DESCRIPCIÓN .....	21
1.6.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PANELES TOUCH .....	22
a)	VENTAJAS .....	22
b)	DESVENTAJAS .....	22

1.6.3	INTERFAZ HMI.....	22
a)	TIPOS DE HMI.....	23
1.7	INSTRUMENTOS MECÁNICOS .....	23
1.7.1	CALIBRE O PIE DE REY .....	24
1.7.2	PALMER O MICRÓMETRO DE EXTERIORES .....	24
1.7.3	LAINAS (MEDIDORES DE ESPESORES) .....	25
CAPÍTULO 2 .....		26
2.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS .....	26
2.1	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALTO VOLTAJE .....	28
2.1.1	DISEÑO DE FUENTES DC .....	28
2.1.2	DISEÑO DE FUENTE AC .....	31
2.2	DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL .....	33
2.2.1	CIRCUITO PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN EL ESMALTADO DEL ALAMBRE.....	33
2.2.2	CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA DETECCIÓN DE PRESENCIA DE ALAMBRE .....	36
2.2.3	CIRCUITO DETECTOR DE SOBRECORRIENTE.....	37
2.2.4	CIRCUITO DE CONTROL PWM E INVERSIÓN DE GIRO DE MOTOR DC .....	40
a)	CIRCUITO PWM .....	40
b)	CIRCUITO DE INVERSIÓN DE GIRO.....	41
2.2.5	CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA ENTRADA ANALÓGICA .....	42
2.2.6	CIRCUITO CONTADOR DE VUELTAS CON DISPLAY .....	44
2.2.7	FUENTE FIJA Y REGULABLE .....	46
2.3	SELECCIÓN DE SENSORES .....	47
2.3.1	SENSOR OPTICO REFLECTIVO .....	47
2.3.2	SENSOR ÓPTICO TIPO HERRADURA .....	49
2.3.3	SELECCIÓN DEL SENSOR FINAL DE CARRERA .....	50
2.4	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE .....	50
2.4.1	SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN .....	52
2.5	SELECCIÓN DEL SISTEMA TOUCHSCREEN .....	53

2.6	SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	55
2.6.1	TRANSFORMADOR PARA VARIADOR DE FRECUENCIA .	56
2.7	DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO .....	56
2.7.1	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	57
2.7.2	DETERMINACIÓN DE CARGAS .....	58
a)	FUERZA EN LOS POLEAS GUÍAS .....	59
b)	FUERZA EN EL TAMBOR PARA ENROLLAMIENTO DEL ALAMBRE .....	62
2.7.3	SELECCIÓN DEL MOTOR-REDUCTOR.....	64
2.7.4	DISEÑO DEL EJE DE GIRO.....	66
2.7.5	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE .....	67
CAPÍTULO 3 .....		71
3.	IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN .....	71
3.1	CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE ELÉCTRICO- ELECTRÓNICO.....	71
3.1.1	ALIMENTACIÓN PRINCIPAL Y PUESTA A TIERRA .....	71
3.1.2	CONDUCTOR ELÉCTRICO .....	73
a)	CONTROL .....	73
b)	POTENCIA .....	73
3.1.3	SISTEMA DE CONTINUIDAD .....	74
a)	FUENTE DE 1500 VDC .....	74
b)	CABLEADO DE LOS CONTACTOS POSITIVO Y NEGATIVO DE LA FUENTE DE 1500 VDC .....	76
c)	CABLEADO DEL CIRCUITO COMPARADOR .....	77
d)	CABLEADO DEL MOTOR TRIFÁSICO PARA RECOLECCIÓN DE ALAMBRE .....	77
e)	CABLEADO DE SENSORES PARA DETECCIÓN DE ALAMBRE .....	79
3.1.4	SISTEMA DE RIGIDEZ DIELECTRICA .....	80
a)	CABLEADO DE VARIAC .....	81
b)	CABLEADO DE CIRCUITO DE DETECCIÓN DE SOBRECORRIENTE .....	83
c)	CABLEADO DEL TRANSFORMADOR .....	83

d)	CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA ENTRADA ANALÓGICA AL PLC .....	86
e)	URNA PARA PRUEBA DE RIGIDEZ.....	87
3.1.5	MONTAJE DE TABLERO DE CONTROL.....	88
3.1.6	MONTAJE DEL PANEL DE CONTROL.....	89
3.1.7	PROGRAMACIÓN PLC S7-1200 .....	91
3.1.8	PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMICS G110.....	94
3.2	MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO .....	94
3.2.1	CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA PRINCIPAL.....	94
3.2.2	CONSTRUCCIÓN DEL EJE .....	97
3.2.3	CONSTRUCCIÓN CILINDRO .....	97
3.2.4	CONSTRUCCIÓN DE TRENZADORA .....	97
3.2.5	ENSAMBLAJE FINAL.....	98
3.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HMI .....	99
3.3.1	PROGRAMACIÓN COMFORT PANEL KTP 400.....	99
CAPÍTULO 4	.....	106
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	106
4.1	PRUEBAS A LAS FUENTES DE ALTO VOLTAJE .....	106
4.1.1	PRUEBAS DEL TRANSFORMADOR .....	106
a)	PRUEBA DE TTR.....	106
b)	PRUEBA DE INCREMENTO DE VOLTAJE.....	107
4.1.2	PRUEBA DE FUENTE DE 1500 VDC.....	107
4.2	PRUEBAS FUNCIONAMIENTO DE PLC Y TOUCH SCREEN..	108
4.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE CONTINUIDAD.....	110
4.4	CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	111
4.4.1	CALIBRACION PRUEBA DE CONTINUIDAD .....	111
4.4.2	CALIBRACION PRUEBA DE RIGIDEZ.....	114
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	117
4.5.1	ANTECEDENTES PRUEBA DE CONTINUIDAD .....	117
4.5.2	ANTECEDENTES PRUEBA DE RIGIDEZ.....	118
4.5.3	BENEFICIOS OBTENIDOS CON EL EQUIPO.....	118

4.6 ESTUDIO ECONÓMICO.....	119
4.7 VALIDACION DE LA HIPOTESIS .....	120
CAPÍTULO 5 .....	122
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	122
5.1 CONCLUSIONES.....	122
5.2 RECOMENDACIONES .....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	125
ANEXOS.....	127

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. Pruebas al alambre de cobre según norma MW-35C .....	9
TABLA 1.2. Requerimientos del mandril .....	11
TABLA 1.3. Pesos y número de vueltas .....	14
TABLA 2.1. Tabla de número de etapas del multiplicador y voltajes .....	29
TABLA 2.2. Características principales de prueba de rigidez dieléctrica .....	32
TABLA 2.3. Características de transformador elevador .....	32
TABLA 2.4. Entradas al PLC y el tipo de señal .....	51
TABLA 2.5. Salidas del PLC y el tipo de señal .....	51
TABLA 3.1. Características del cable de calibre 18 AWG .....	73
TABLA 3.2. Características del cable de calibre 14 AWG .....	74
TABLA 4.1. Número de fallas obtenidas en distintos calibres .....	112
TABLA 4.2. Número de fallas obtenidas en distintos calibres .....	113
TABLA 4.3. Número de fallas obtenidas en distintos calibres .....	114
TABLA 4.4. Número de fallas obtenidas en distintos calibres .....	115
TABLA 4.5. Número de fallas obtenidas en distintos calibres .....	116
TABLA 4.6. Número de fallas obtenidas en distintos calibres .....	116
TABLA 4.7. Duración de una prueba de continuidad método antiguo .....	117
TABLA 4.8. Duración de una prueba de continuidad método nuevo .....	118
TABLA 4.9. Costo de elementos del equipo .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Esquema de un Autotransformador. ....	4
FIGURA 1.2. Autotransformador variable. ....	5
FIGURA 1.3. Escobillas de Carbono .....	12
FIGURA 1.4. Transformador Elevador .....	15
FIGURA 1.5. Multiplicador de Voltaje .....	17
FIGURA 1.6. PLC .....	18
FIGURA 1.7. Estructura del PLC .....	19
FIGURA 1.8. Pantalla TouchScreen .....	21
FIGURA 1.9. Calibre o Pie de Rey .....	24
FIGURA 1.10. Micrómetro .....	25
FIGURA 1.11. Lainas.....	25
FIGURA 2.1. Sistema actual para realizar prueba de continuidad .....	27
FIGURA 2.2. Sistema actual para realizar prueba de rigidez dieléctrica .....	27
FIGURA 2.3. Diseño del multiplicador de voltaje .....	29
FIGURA 2.4. Semi-ciclo de voltaje negativo .....	30
FIGURA 2.5. Semi-ciclo de voltaje positivo .....	31
FIGURA 2.6. Circuito divisor de tensión.....	34
FIGURA 2.7. Circuito comparador de voltaje para detección de fallas .....	35
FIGURA 2.8. Circuito para detección de presencia de alambre .....	36
FIGURA 2.9. Conexión de resistencia Shunt.....	37
FIGURA 2.10. Circuito detector de sobre-corriente .....	40
FIGURA 2.11. Circuito de configuración estable .....	40
FIGURA 2.12. Circuito de acondicionamiento para entrada analógica .....	44
FIGURA 2.13. Circuito detector de señal .....	44
FIGURA 2.14. Circuito de visualización a través de displays .....	45
FIGURA 2.15. Circuito de fuente fija y regulable .....	47
FIGURA 2.16. Sensor óptico TCRT 5000 .....	48
FIGURA 2.17. Sensor óptico tipo herradura .....	49
FIGURA 2.18. Final de carrera .....	50
FIGURA 2.19. PLC S7-1200.....	52
FIGURA 2.20. Pantalla de Inicio del Software TIA PORTAL V12. ....	53
FIGURA 2.21. Touch Panel Siemens KTP 400 .....	54
FIGURA 2.22. Variador de Frecuencia SINAMICS G110 .....	55
FIGURA 2.23. Máquina para pruebas de alambre de cobre.....	57
FIGURA 2.24. Análisis de un elemento curvo sometido a flexión .....	58
FIGURA 2.25. Análisis de esfuerzos en la estructura .....	69
FIGURA 2.26. Análisis de deformación en la estructura.....	69
FIGURA 2.27. Factor de seguridad de la estructura .....	70
FIGURA 3.1. Enchufe industrial hembra .....	71

FIGURA 3.2. Enchufe industrial hembra .....	72
FIGURA 3.3. Conector a tierra de la máquina .....	72
FIGURA 3.4. Fuente 1500 VDC .....	75
FIGURA 3.5. Resistencias de descarga y divisor .....	75
FIGURA 3.6. Contacto positivo .....	76
FIGURA 3.7. Contactos negativos .....	76
FIGURA 3.8. Circuito comparador .....	77
FIGURA 3.9. Cableado de transformador .....	78
FIGURA 3.10. Variador de frecuencia .....	78
FIGURA 3.11. Motor trifásico .....	79
FIGURA 3.12. Ubicación sensor óptico .....	80
FIGURA 3.13. Circuito de acondicionamiento de sensor óptico .....	80
FIGURA 3.14. Estructura de acrílico de VARIAC y motor .....	81
FIGURA 3.15. Conexiones de VARIAC .....	81
FIGURA 3.16. Resistencias Shunt .....	82
FIGURA 3.17. Finales de carrera mecánicos .....	82
FIGURA 3.18. Circuito de detección de sobre-corriente .....	83
FIGURA 3.19. Cara frontal del transformador .....	84
FIGURA 3.20. Cara lateral del transformador .....	84
FIGURA 3.21. Bushing insert de aislamiento .....	85
FIGURA 3.22. Cable de aislamiento .....	85
FIGURA 3.23. Bushing cerámico .....	85
FIGURA 3.24. Caja de plástico .....	86
FIGURA 3.25. Circuito de acondicionamiento para entrada analógica .....	86
FIGURA 3.26. Urna de baquelita con ventanas de vidrio templado .....	87
FIGURA 3.27. Final de carrera de seguridad .....	88
FIGURA 3.28. Cara frontal del tablero de control .....	89
FIGURA 3.29. Cara frontal de la máquina .....	90
FIGURA 3.30. Cara frontal de la máquina .....	90
FIGURA 3.31. Diagrama de flujo del funcionamiento principal .....	91
FIGURA 3.32. Diagrama flujo de la prueba de continuidad .....	92
FIGURA 3.33. Diagrama de flujo del proceso de la prueba de rigidez .....	93
FIGURA 3.34. Estructura inferior .....	95
FIGURA 3.35. Estructura inferior con urna de baquelita .....	95
FIGURA 3.36. Estructura superior .....	96
FIGURA 3.37. Estructura con pintura y llantas colocadas .....	96
FIGURA 3.38. Carrete de recolección de alambre .....	97
FIGURA 3.39. Trenzadora de alambre .....	98
FIGURA 3.40. Máquina ensamblada .....	99
FIGURA 3.41. Pantalla principal .....	100
FIGURA 3.42. Pantalla de información .....	100
FIGURA 3.43. Pantalla de ingreso de usuario .....	101

FIGURA 3.44. Pantalla de ingreso de contraseña.....	101
FIGURA 3.45. Pantalla de ingreso a pruebas eléctricas .....	102
FIGURA 3.46. Pantalla para selección de prueba .....	102
FIGURA 3.47. Pantalla para ingreso de datos de la muestra .....	103
FIGURA 3.48. Pantalla para la selección de contacto .....	104
FIGURA 3.49. Pantalla de inicio de prueba de rigidez dieléctrica .....	104
FIGURA 3.50. Pantalla de visualización de voltaje .....	105
FIGURA 4.1. Valor de relación de la transformación obtenido .....	106
FIGURA 4.2. Medición de Alto Voltaje DC .....	107
FIGURA 4.3. Medición Voltaje de alimentación del PLC .....	108
FIGURA 4.4. Verificación de estado del PLC. ....	108
FIGURA 4.5. Verificación de voltaje de salida de fuente Siemens .....	109
FIGURA 4.6. Conexión entre el PLC y el Pantalla Touch. ....	109
FIGURA 4.7. Sistema mecánico para prueba de continuidad .....	110
FIGURA 4.8. Guía inicial en el trayecto del alambre.....	111

## RESUMEN

El control de calidad de la materia prima es fundamental para garantizar la calidad del producto terminado, por lo que El Departamento de Control de Calidad De la Empresa Ecuatrán S.A. encontró la necesidad de la “Construcción de un equipo automático de pruebas para la verificación de continuidad del esmaltado y rigidez dieléctrica del alambre redondo de cobre”. La máquina realiza la prueba de continuidad a una muestra de 30 metros de alambre esmaltado redondo de cobre mediante un contacto por agua o escobillas. El calibre del alambre esta entre 8-25 AWG. El voltaje aplicado para la prueba es 1500V DC, el mismo que permite detectar las fallas en el esmaltado. El número máximo de fallas permitido en los 30 metros es de 5. El alambre es recogido a una velocidad aproximada de 18m/min. La prueba de rigidez dieléctrica consiste en encontrar el valor del voltaje de ruptura del esmalte. Esta ruptura se puede observar cuando se produce una chispa en la muestra de alambre que se encuentra trenzada. El voltaje que se suministra a la muestra de alambre es de 0 a 18KV, por lo que se debe tener cuidado al momento de ejecutar la prueba. Además, se cuenta con un almacenamiento del reporte de cada una de las pruebas que se realice en la máquina. Estos datos pueden ser verificados posteriormente por parte del supervisor.

Palabras Clave:

Prueba de Continuidad, Prueba de Rigidez, Nema MW-35C, Alambre de Cobre, Alto Voltaje.

## ABSTRACT

The quality control of raw material is essential to ensure the quality of the finished product, therefore the Quality Control Department of the Company Ecuatran S.A. found the necessity to “Build automatic equipment for testing and verify of continuity of the enameled and dielectric breakdown of the copper wire round”. The machine makes continuity test to a sample of 30 meters of enameled wire round copper through a contact by water or brushes. The gauge of the wire is between 8-25 AWG. The applied voltage to the test is 1500V DC, the same that allows you to detect the flaws of the enameled. The maximum number of allowed failures in the 30 meters is 5. The wire is collected at a rate of approximately 18m/min. The dielectric breakdown test is to find the value of the breakdown voltage of the enamel. This break can be observed when a spark in the sample of wire that is braided. The voltage supplied to the sample of wire is 0 to 18KV, so be careful when running the test. In addition, there is storage of the report of each of the tests to be carried out in the machine. These data may subsequently be verified by the supervisor.

Key Word:

Continuity Test, Test of Breakdown, Nema MW-35C, Copper Wire, High Voltage.

## PRESENTACIÓN

En el presente proyecto se diseña y se construye un equipo automático de pruebas eléctricas al alambre esmaltado de cobre para el laboratorio de control de calidad de la empresa Ecuatrán S.A., con el cual se reduce notablemente el tiempo de ejecución de las pruebas.

En el capítulo I se detallan los principales conceptos teóricos sobre el alambre esmaltado de cobre y la normativa de las pruebas que se realizan.

En el capítulo II se realiza el diseño de los componentes eléctricos: fuente 1500 V DC y 18000 V AC, electrónicos: placas de acondicionamiento, mecánicos: estructura de soporte del equipo automático.

En el capítulo III se detalla el procedimiento de la construcción de todos los componentes tales como: elaboración de placas electrónicas, construcción de la estructura de soporte, construcción del transformador de alto voltaje AC.

En el capítulo IV se realizan cuidadosa y exhaustivamente pruebas de funcionamiento a todos los componentes del equipo. Pruebas eléctricas de las fuentes de alto voltaje, pruebas a los elementos de seguridad. Además se pone en marcha el funcionamiento de la máquina, realizando las pruebas de continuidad y rigidez dieléctrica al alambre esmaltado de cobre junto con la calibración.

Por último, en el capítulo V se presentan las conclusiones a las que se llegaron al finalizar con éxito el presente proyecto. También las recomendaciones necesarias para el funcionamiento y mantenimiento del equipo.

En la parte final se tiene los anexos y referencias bibliográficas.

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

La empresa Ecuatrán S.A se dedica a la fabricación de transformadores eléctricos, principalmente transformadores monofásicos de distribución, además de transformadores trifásicos y padmounted. La empresa abrió sus puertas en el año de 1982 y durante su permanencia ha crecido día a día para ofrecer mejores productos a la comunidad ecuatoriana.

Ecuatrán S.A. desde sus inicios promovió una política de calidad en toda su producción.

El departamento de control de calidad se dedica a la supervisión e inspección de la materia prima, y posteriormente realiza las pruebas de rutina a los transformadores terminados para garantizar un buen producto.

Dentro de la verificación de materia prima se encuentran las pruebas de calidad al alambre redondo esmaltado de cobre, regidas bajo la norma ANSI/NEMA MW 1000-2008 (MW-35C.)

#### **1.1 INTRODUCCIÓN A LOS TRANSFORMADORES**

Un transformador es un dispositivo que cambia potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético.(Chapman, 2000)

Los transformadores tienen como objetivo modificar los valores de voltaje y corriente entre su entrada y salida manteniendo siempre constante la potencia.

El transformador funciona según el principio de la inducción mutua entre dos o más bobinas o circuitos acoplados inductivamente. (Kosow, 1993)

El circuito, bobina o devanado que se conecta a la fuente de tensión alterna se llama primario, y la bobina que se conecta directamente a la carga recibe el nombre de secundario.

### **1.1.1 PARTES DEL TRANSFORMADOR**

Las partes principales que conforman el transformador son dos: Núcleo y Bobinas. Además se tienen otros componentes y accesorios adicionales que ayudan al funcionamiento correcto del transformador.

#### **a) NÚCLEO**

Es un conjunto de láminas delgadas de acero compactas que proporcionan una vía controlada para el flujo magnético generado en el transformador.

El núcleo no puede estar conformado de una sola masa debido a que esto genera calor que crea pérdidas de potencia.

#### **b) BOBINAS**

El transformador tiene dos bobinas la primaria y la secundaria que están compuestas de conductores de cobre, las cuales se encuentran enrolladas alrededor de un núcleo de acero.

Generalmente están compuestos por conductores de cobre o aluminio, los mismos que presentan gran conductividad y baja resistencia eléctrica.

### **c) OTROS COMPONENTES**

Tanque, bushing, pararrayos, aceite dieléctrico, válvulas, sujeciones.

## **1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES (Gelabert, 1974)**

### **a) POR EL SISTEMA DE TENSIONES QUE TRANSFORMAN**

- Transformadores monofásico – monofásico
- Transformadores trifásico – trifásico
- Transformadores trifásico – monofásico
- Transformadores trifásico – hexafásico
- Transformador trifásico – dodecafásico
- Entre otros, siendo los citados los que más se emplean en la práctica.

### **b) POR LA DISPOSICIÓN DEL CIRCUITO MAGNÉTICO**

- Transformadores de columna
- Transformadoracorazado

### **c) POR LA DISPOSICIÓN DE LOS DEVANADOS**

- Transformadores de devanadosseparados
- Transformadores de devanadosconcéntricos
- Transformadores de devanados doblemente concéntricos.
- Transformadores de devanadossuperpuestos

### **d) POR EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

- Transformadores refrigerados por aire (transformadores secos).

- Transformadores refrigerados por aire y aceite.
- Transformadores refrigerados por agua y aceite.
- Transformadores refrigerados por aire y piraleno.

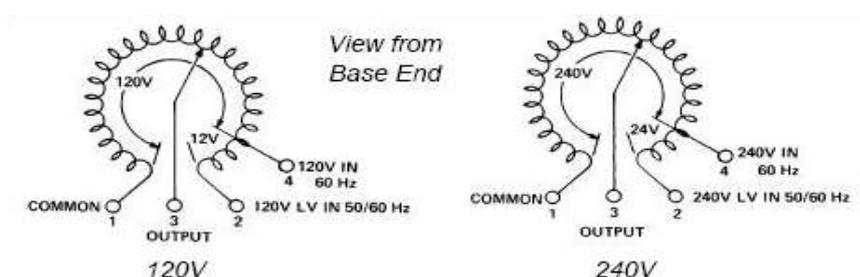
#### e) POR EL MEDIO AMBIENTE EN QUE DEBEN FUNCIONAR

- Transformadores para interior
- Transformadores para intemperie

#### 1.1.3 AUTOTRANSFORMADOR VARIABLE

Con frecuencia se utiliza un autotransformador variable cuando es necesario obtener voltaje de AC variable de una fuente de AC de voltaje fijo. El transformador se compone de un devanado de una sola capa arrollado uniformemente en un núcleo de hierro toroidal.

Una escobilla de carbón movable en contacto deslizante con el devanado funciona como toma variable. (Wildi, 2007)



**FIGURA 1.1. Esquema de un Autotransformador.**

FUENTE: Electrónica Pascual (2008). Variac. Recuperado de:

<http://electronicapascual.com/blog/?p=98>

El autotransformador variable es también conocido en la industria como VARIAC.

El voltaje de salida del autotransformador es proporcional a la posición del contacto de la escobilla con el devanado, sabiendo que el rango de giro se encuentra entre  $0^\circ$  y  $330^\circ$ .

El posicionamiento se lo puede realizar de una forma manual o motorizada de acuerdo a la necesidad que se tenga de precisión en la aplicación.



**FIGURA 1.2. Autotransformador variable.**

FUENTE: Bambozzi Group (2011). Autotransformador Variable. Recuperado de: <http://www.bambozzi.com.br/website/es/soldas/peças.php?linha=97>

## **1.2 GENERALIDADES DEL ALAMBRE DE COBRE**

Desde los inicios de la era eléctrica, el cobre ha sido reconocido por sus cualidades únicas y benéficas en las aplicaciones eléctricas. El Cobre es un material maleable y dúctil con una excelente conductividad. (ELEKTRISOLA, 2012)

### **1.2.1 ALAMBRE ESMALTADO DE COBRE**

Este tipo de alambre está recubierto con una película aislante hecha a base de químicos tales como imida, poliuretano, nylon, poliadeimida, etc. de acuerdo a la clase térmica para la que está fabricado el alambre.

Las aplicaciones principales de este tipo de alambre son para la fabricación de transformadores, motores, generadores, alternadores, etc. debido a la alta conductividad que ofrece este material.

#### **a) CARACTERÍSTICAS (CENTELSA, 2014)**

- Estabilidad térmica
- Alta resistencia a las sobrecargas
- Gran facilidad de embobinado
- Alta resistencia a la abrasión
- Alta rigidez dieléctrica aun en presencia de humedad
- Excelente resistencia al choque térmico.
- Alta resistencia al flujo termoplástico.
- Resistencia a los solventes.
- Sus propiedades son inalterables en aceite.

### **1.2.2 CLASIFICACIÓN DEL ALAMBRE ESMALTADO DE COBRE**

#### **a) POR SU FORMA**

##### **REDONDO**

Es un conductor eléctrico circular que se puede encontrar en distintos diámetros de normalizados de acuerdo a calibres AWG, desde el 7 al 44, pudiendo variar este rango de acuerdo al fabricante.

##### **RECTANGULAR**

Como su nombre lo indica tiene una forma rectangular. Son alambres especiales que soportan una alta circulación de corriente debido a su tamaño.

## **b) POR SU TIPO DE RECUBRIMIENTO**

### **CAPA SIMPLE**

Es un alambre con una sola capa de aislamiento.

### **CAPA DOBLE**

Es un alambre con dos capas de aislamiento. Tiene mayor rigidez dieléctrica que el de capa simple.

### **CAPA TRIPLE**

Es un alambre con tres capas de aislamiento.

## **c) POR SU CLASE TÉRMICA**

Clase térmica es la capacidad de un alambre esmaltado para conservar sus propiedades eléctricas luego de ser sometido a altas temperaturas.

### **CLASE TÉRMICA 105**

Cumple las especificaciones de la norma NEMA MW-2C. La película aislante es a base de poliuretano y esto le permite trabajar a 105°C.

### **CLASE TÉRMICA 130**

Cumple las especificaciones de la norma NEMA MW-28C. Tiene una película aislante de nylon y le permite trabajar a 130°C.

### **CLASE TÉRMICA 155**

Cumple las especificaciones de la norma NEMA MW-24C. Tiene una película aislante a base de poliéster y una sobrecapa de nylon y le permite trabajar a 155°C.

### **CLASE TÉRMICA 180**

Cumple las especificaciones de la norma NEMA MW-30C. Tiene una película aislante a base de resinas de poliéster - imida y le permite trabajar a 180°C.

### **CLASE TÉRMICA 200**

Cumple las especificaciones de la norma NEMA MW-35C. Tiene una película aislante a base de poliéster – imida y una sobrecapa de poliamida – imida y le permite trabajar a 200°C.

## **1.3 ESTUDIO DE LA NORMATIVA DE PRUEBAS PARA EL ALAMBRE DE COBRE**

Las pruebas para determinar la calidad del alambre redondo esmaltado de cobre se encuentran establecidas en normas internacionales, teniendo como las más importantes la IEC 60851-5 y la NEMA MW1000/2008.

Ecuatrán S.A. se rige a la norma NEMA MW1000/2008, en donde se define los métodos, procedimientos y condiciones de las pruebas al alambre esmaltado de cobre.

En el alambre se verifica y evalúa la nomenclatura, composición, construcción, dimensiones, tolerancias, seguridad, características

operacionales, performance, alcances y pruebas, servicios para las cuales fue diseñada. (GUILLENIA, 2012)

El método específico para realizar estas pruebas de rutina en el laboratorio de la empresa Ecuatrán S.A se encuentran en la norma NEMA MW-35C, debido a que el alambre utilizado es de clase térmica 200 y doble capa.

**TABLA 1.1. Pruebas al alambre de cobre según norma MW-35C**

<b>Prueba</b>	<b>Observaciones</b>
Dimensionales	Calibre 14-44 AWG
Adherencia y Flexibilidad	No debe existir grietas en el esmalte
Elongación	De Acuerdo a tabla
Choque térmico	No existe grietas en el esmalte luego de ser sometido a 220 <sup>0</sup> C
Recuperación Elástica	De acuerdo a tabla
Rigidez Dieléctrica	De acuerdo a ANEXO A2
Continuidad	Calibre 14-44 AWG

FUENTE: ANSI/NEMA MW 1000/2008. *MagnetWire*. Revisión 2-2010.

No se realizan todas las pruebas mencionadas en la tabla debido a que el alambre que adquiere la empresa consta de los respectivos certificados de pruebas realizados por sus fabricantes, sin embargo se hace énfasis en las principales pruebas de Continuidad, Rigidez Dieléctrica, Dimensionales, Choque térmico las mismas que se realizan nuevamente en el laboratorio.

### **1.3.1 DIMENSIONALES**

Esta prueba consiste en verificar el calibre AWG del alambre esmaltado. Con la ayuda de un micrómetro se realiza la medición del diámetro del

alambre con y sin esmalte, de esta manera a parte de comprobar el calibre AWG se determina el espesor del esmaltado.

A partir de la medición del diámetro del alambre se puede calcular el calibre AWG.

$$\text{CalibreAWG} = 36 - \frac{\log_{10} \left[ \frac{\text{Diámetro (mm)}/25.4}{0.0050} \right]}{\log_{10}(1.1229322)}$$

**Ec.1.1.**

Se puede verificar el calibre AWG, diámetro y espesor de la capa de esmalte del alambre en el ANEXO A1.

#### **a) PROCEDIMIENTO**

##### **Muestra Con Esmalte.**

- Tomar 10cm de la muestra de alambre, la longitud debe estar recta y sin defectos visuales.
- Medir el alambre con aislamiento en dos puntos diferentes con ayuda del micrómetro.
- Repetir la medición en cada punto mínimo 3 veces.
- Registrar estas lecturas y calcular el promedio.

##### **Muestra Sin Esmalte.**

- Para remover el esmalte acercar la muestra a un mechero calentar el conductor hasta que el esmalte tome un color negro.
- Retirar el esmalte con limpiador de esponja suave.
- Realizar la medición en dos puntos del alambre desnudo.
- Repetir la medición en cada punto mínimo 3 veces.
- Registrar estas lecturas y calcular el promedio.

### 1.3.2 CHOQUE TÉRMICO

El choque térmico es una prueba que tiene como finalidad detectar visualmente grietas o defectos en el esmalte del alambre de cobre al someterlo a una temperatura 20° mayor a la de su clase térmica.

Para la fabricación de las bobinas Ecuatrán S.A utiliza alambre de cobre de clase térmica 200.

#### a) PROCEDIMIENTO

- Tomar una muestra de alambre de 25 cm.
- Bobinar 10 vueltas en el mandril de diámetro especificado en la tabla 1.2
- Retirar la bobina del mandril y colocarla en el horno previamente calentado a una temperatura de 220°C.
- Mantener la muestra en el horno durante 30 min.
- Sacar la muestra y evaluar visualmente posibles grietas o roturas en el esmalte, usando una lupa con ganancia de al menos 1.5.

**TABLA 1.2. Requerimientos del mandril**

<b>Tamaño AWG</b>	<b>Diámetro de Mandril</b>
Rectangular, cuadrado o redondo < 4 AWG	Ninguno
4 a 9	Ninguno
10 a 13	5X
14 a 30	3X

FUENTE: ANSI/NEMA MW 1000/2008. *MagnetWire*. Revisión 2-2010.

### 1.3.3 CONTINUIDAD

La prueba de continuidad consiste en verificar la calidad del esmaltado del alambre redondo de cobre mediante el conteo de fallas o discontinuidades en el esmalte en una muestra de longitud de  $30,5\text{m} \pm 2$ .

Las fallas son detectadas al aplicarle 1500 VDC a la muestra de alambre a ser analizada, los contactos positivo y negativo de la fuente están conectados a un extremo de la muestra y a las escobillas de carbono respectivamente.

Las escobillas de carbono son electrodos que permiten el contacto eléctrico de un polo de la fuente sin dañar o estropear la muestra de alambre, además es el componente fundamental de esta prueba según lo menciona la norma NEMA MW-35C.



**FIGURA 1.3. Escobillas de Carbono**

FUENTE: Investigación de Campo

La muestra de alambre se recoge en un carrete metálico en donde está conectado el polo positivo de la fuente de 1500 VDC, a través de un mecanismo de poleas fijas distribuidas simétricamente para facilitar la recolección.

La velocidad de recolección es de 18 m/min teniendo una apreciación que la muestra de 30m se la llevará a cabo en un tiempo de 1 minuto con 40 segundos.

El número de fallas permitido según la norma es de 5, siendo este el número límite para que el carrete no sea rechazado.

Los calibres admisibles según la norma MW-35C para esta prueba están en el rango de 14 AWG – 44 AWG.

Es importante recalcar que ECUATRAN S.A. mediante el trabajo de sus laboratoristas ha desarrollado el método de hacer el contacto del alambre en el agua en lugar que el de escobillas, ya que es mucho más confiable la prueba pese a no estar en la norma.

#### **1.3.4 RIGIDEZ DIELECTRICA VAC**

La prueba de rigidez dieléctrica se base en romper el aislamiento de la muestra de alambre en un punto determinado al aplicarle alto voltaje AC con una frecuencia de 60 Hz.

La muestra para esta prueba son 2 pedazos de alambre de 1m., que deben trenzarse entre sí, tomando en cuenta un peso y un número de vueltas de acuerdo a su calibre. (TABLA 1.3)

**TABLA 1.3. Pesos y número de vueltas**

<b>Tamaño AWG</b>	<b>Peso en bobinado sobre el Par - Lb/Kg</b>	<b>Vueltas (#)</b>
10 – 11	24 / 11	3
12 – 14	12 / 5,45	4
15 – 17	6 / 2,72	6
18 – 20	3 / 1,36	8
21 – 23	1.5 / 0,68	12
24 – 26	340 gr.	16
27 – 29	170 gr.	20

FUENTE: ANSI/NEMA MW 1000/2008. *MagnetWire*. Revisión 2-2010.

La fuente AC de alto voltaje debe suministrar tensión uniforme a una velocidad de 500 V/s, hasta alcanzar la ruptura del aislamiento que por lo general está en el orden de los 10 KV a 15 KV. La potencia de esta fuente debe ser mínima de 500 VA.

En el momento de la ruptura del esmalte se produce un cortocircuito, el mismo que debe ser detectado mediante un circuito para poder registrar el dato de voltaje de ruptura y desconectar el equipo.

Los valores mínimos de ruptura para cada calibre AWG están detallados en el ANEXO A2.

#### **1.4 FUENTES AC Y DC DE ALTO VOLTAJE**

La Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) y la normativa española establecen como alta tensión aquellos circuitos con más de 1000V de corriente alterna o 1500V de corriente continua.

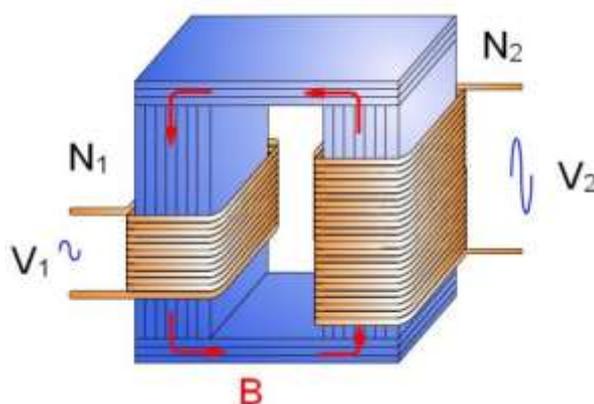
### 1.4.1 FUENTES AC

La principal fuente de corriente alterna es la suministrada por la red de distribución eléctrica.

La principal característica de la corriente alterna es que su forma de onda es sinusoidal, es decir es variable en el tiempo.

Se puede variar los niveles de voltaje AC a través de un transformador. Es así que el principal elemento para una fuente AC de alto voltaje es un transformador de tipo elevador.

Los transformadores eléctricos elevadores tienen la capacidad de aumentar el voltaje de salida en relación al voltaje de entrada. En estos transformadores el número de espiras del devanado secundario es mayor al del devanado primario. (ENDESA, 2012)



**FIGURA 1.4. Transformador Elevador**

FUENTE: TecnoBlogSanMartin (2012).El transformador [Blog].Recuperado de:  
<http://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/category/tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/unidad-4-energia-tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/4-3-el-transformador/>

## 1.4.2 FUENTES DC

Este tipo de fuente es la que suministra voltaje directo sin variación de frecuencia. El voltaje directo es usado para poner en funcionamiento la mayoría de circuitos electrónicos, es por esto que los voltajes DC se encuentran en las pilas, baterías y especialmente cargadores que se conectan directamente a la red, pero todo esto en niveles bajos de voltaje.

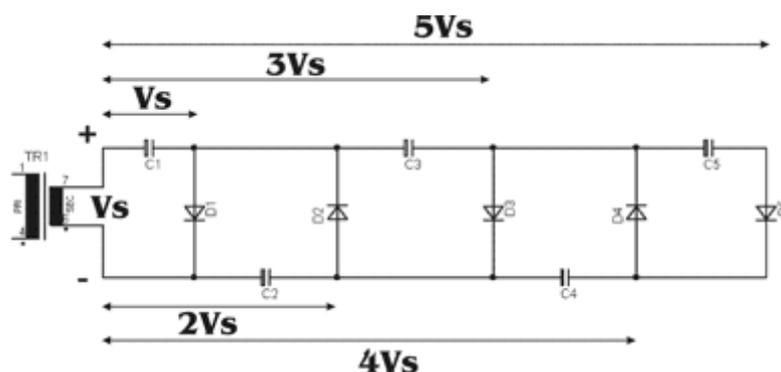
La manera más sencilla y económica de obtener altas tensiones DC sin utilizar un transformador son los multiplicadores de voltaje.

### a) MULTIPLICADOR DE VOLTAJE

Un circuito multiplicador de voltaje es un arreglo de capacitores y diodos rectificadores que se utiliza con frecuencia para generar altos voltajes de Corriente Directa. Este tipo de circuito se utiliza el principio de la carga en paralelo de capacitores, a partir de la entrada de Corriente Alterna y añadiendo voltaje a través de ellos en serie se obtiene voltajes de CD más alto que el voltaje de la fuente. Circuitos individuales de multiplicadores de Voltaje (a menudo llamados etapas) se pueden conectar en serie para obtener aún más altos voltajes de salida (SPELLMAN, 2014).

Estos circuitos funcionan mediante la carga sucesiva de los condensadores gracias a la conmutación en cascada de los diodos.

Las aplicaciones más conocidas son circuitos duplicadores (2 etapas), triplicadores (3 etapas), y dependiendo de la necesidad un circuito multiplicador de  $n$  etapas.



**FIGURA 1.5. Multiplicador de Voltaje**

FUENTE: Foros de Electrónica (2005). Multiplicadores de voltaje. Recuperado de <http://www.forosdeelectronica.com/f16/multiplicadoresvoltaje-359/>

En la figura podemos observar que el circuito en la parte superior nos entrega voltajes múltiplos impares y en la parte inferior voltajes múltiplos pares.

Los circuitos multiplicadores de voltaje son muy útiles para aplicaciones en donde el consumo de corriente sea del orden de los miliamperios.

Los capacitores a utilizar en este tipo de circuitos deben ser electrolíticos y en el rango entre 1  $\mu\text{F}$  y 10  $\mu\text{F}$ .

Los diodos empleados deben soportar un voltaje inverso de dos veces el voltaje pico de la entrada del multiplicador.

## 1.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

### 1.5.1 DESCRIPCIÓN DE UN PLC

Un PLC es un sistema de control basado en un microprocesador y los elementos necesarios para que este microprocesador opere de forma conveniente. (Peña, 2003).

Dicho de otra manera, el PLC es una computadora especial utilizada para el control y automatización de aplicaciones industriales. Cuenta con entradas y salidas tanto digitales como analógicas, las mismas que son procesadas internamente en el PLC.

Surge de la necesidad de tener mayor flexibilidad en los sistemas automáticos, y simplificar los inmensos tableros de control que se tenía debido a la gran cantidad de relés y temporizadores que se utilizaban para lograr el objetivo.



**FIGURA 1.6. PLC**

FUENTE: Dytrade (2014). PLC S7-1200. Recuperado en:

[http://www.diytrade.com/china/pd/5385/Siemens\\_SIMATIC\\_S7\\_PLC\\_S7\\_1200.html](http://www.diytrade.com/china/pd/5385/Siemens_SIMATIC_S7_PLC_S7_1200.html)

Los PLC al ser un microprocesador, deben ser programados de acuerdo a los requerimientos de la aplicación a automatizar. Cada marca de PLC tiene su propio software de programación. El lenguaje de programación es el ladder o de escalera, el mismo que trata de contactos dispuestos horizontalmente según un orden y de acuerdo a la lógica de programación.

### **1.5.2 FUNCIONES DE UN PLC**

Entre las principales funciones generales de un PLC se tiene:

Puede realizar funciones Lógicas dentro de su microprocesador tales como AND, OR, NOT.

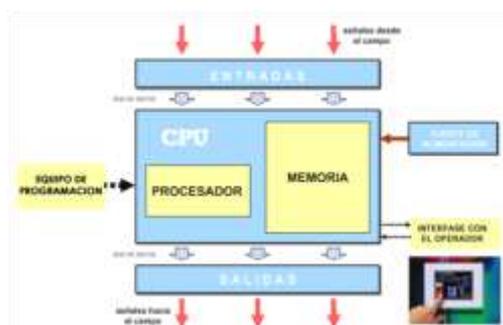
Cuenta con temporizadores de gran precisión.

Realiza cálculos aritméticos como: suma, resta, multiplicación, división. Dependiendo de la gama y marca del PLC puede realizar cálculos más avanzados.

Procesa las señales de entrada, sean estas digitales o analógicas.

Tiene la capacidad de comunicarse con otros dispositivos industriales.

### 1.5.3 ESTRUCTURA DEL PLC



**FIGURA 1.7. Estructura del PLC**

FUENTE: Aplicaciones del PLC. (2011). [Blog]. Estructura del PLC.

Recuperado en: <http://aplicacionesdeplc.blogspot.com/2011/03/estructura-de-un-plc.html>

La estructura básica del PLC es la siguiente:

#### a) CPU

Representa el cerebro del controlador lógico programable. Es quien recibe las señales del módulo de entradas, luego procesa de acuerdo al algoritmo de programación, para finalmente dar una señal al módulo de salidas.

Entre las funciones principales que cumple se tiene: vigilar el tiempo de ejecución del programa, ejecutar el programa, renovar el estado lógico de las salidas.

## **b) FUENTE DE ALIMENTACIÓN**

Es el dispositivo encargado de suministrar las tensiones adecuadas a cada uno de los circuitos electrónicos con los que consta el PLC.

## **c) ENTRADAS Y SALIDAS**

Son los componentes del PLC que permiten el enlace de los sensores y actuadores de una aplicación a automatizar. Las entradas y salidas pueden ser tipo analógico y digital. Pueden ser parte del mismo PLC como también módulos extra que se conectan al mismo.

La alimentación de las entradas es de VDC, siendo la más común de 24V. Las salidas su alimentación puede ser alterna o continua, dependiendo del tipo de controlador.

## **d) MEMORIA**

Cada autómatas divide su memoria de esta forma genérica, haciendo subdivisiones específicas según el modelo y fabricante. (Canto,2006)

Es así que se distingue:

- Memoria del programa de usuario: se almacena el programa que se ejecuta cíclicamente.
- Memoria de la tabla de datos: son las marcas de memoria, temporizadores, contadores.
- Memoria del sistema: espacio dispuesto para el programa en código fuente
- Memoria de almacenamiento: son de tipo EPROM, EEPROM, FLASH.

## 1.6 SISTEMAS TOUCHSCREEN

### 1.6.1 DESCRIPCIÓN

La TouchScreen es un dispositivo electrónico que está diseñado para la visualización de procesos, pero además tiene la capacidad de recibir datos por medio de un pulso físico directo sobre su superficie.

Este tipo de equipos principalmente está constituido de sensores táctiles, estos forman un sistema el cual reemplaza a los teclados físicos.



**FIGURA 1.8. PantallaTouchScreen**

FUENTE: TpAutomation (2014).KTP Comfort Panel WindowsRecuperado de:  
<http://www.tpautomation.de/shop/Automatisierungssysteme/Siemens/SIMATIC-HMI-Geraete/SIMATIC-Comfort-Panels/6AV2124-2DC01-0AX0-KTP400-Comfort-Panel-Windows-CE-6-0-4-4MB::4462.html>

## **1.6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA IMPLEMENTACION DE LOS PANELES TOUCH**

### **a) VENTAJAS**

- Estos sistemas son compactos y robustos.
- Se puede cambiar de aplicación fácilmente, debido a que es programable.
- Su interfaz gráfica permite un mejor manejo intuitivo al operador.
- Tiene respuesta rápida en su funcionamiento.
- Algunos sistemas Touch modernos permiten el almacenamiento de información.

### **b) DESVENTAJAS**

- El costo de este tipo de sistemas es alto.
- La pantalla es muy susceptible a ensuciarse con el tiempo.
- Estos dispositivos suelen ser muy frágiles debido a los elementos que lo componen.

## **1.6.3 INTERFAZ HMI**

“Una interfaz Humano-Máquina o HMI, Human Machine Interface, por sus siglas en inglés, es un sistema que presenta datos a un operador y a través del cual éste controla un determinado proceso. La industria de HMI surgió de la necesidad de estandarizar el monitoreo y control de sistemas a distancia, PLC's y otros mecanismos de control”.(Escobar, 2010)

La ventana que muestra este proceso puede estar en una computadora o en un dispositivo diseñado específicamente para ambientes industriales llamado panel operador (Touchscreen).

Hace no mucho tiempo la interfaz HMI consistía en la utilización integral de comandos manuales, instrumentos de agujas, luces piloto, etc. en una máquina, pero con el avance de la tecnología se ha logrado desarrollar sistemas electrónicos más eficaces que reducen la utilización de estos elementos de manera significativa, proporcionando a la máquina mejor desempeño y eficiencia.

## **a) TIPOS DE HMI**

### **Terminal de Operador**

El terminal operador es un dispositivo desarrollado para ser ubicado en ambientes industriales. Consiste en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (TouchScreen).

### **PC + Software**

Esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador. (Cobo, 2008)

## **1.7 INSTRUMENTOS MECÁNICOS**

Son instrumentos que sirven para realizar una medición, los mismos que para su funcionamiento deben ser operados físicamente por una persona.

Entre los principales instrumentos mecánicos se tiene:

Reglas Graduadas, calibre o pie de rey, palmer o micrómetro de exteriores, lainas (Medidores de Espesores), patrones para alambres.

En el laboratorio de control de calidad de la empresa Ecuatrán S.A se utilizan algunos de estos instrumentos mecánicos para las pruebas dimensionales del alambre esmaltado de cobre.

### 1.7.1 CALIBRE O PIE DE REY

Es un instrumento para medir longitudes que permite lecturas en milímetros y en fracciones de pulgada, a través de una escala llamada Nonio o Vernier. Está compuesto por una regla fija que es donde están graduadas las escalas de medición ya sea en milímetros, en pulgadas o mixtas.(EMB, 2011)



**FIGURA 1.9. Calibre o Pie de Rey**

FUENTE: DirectIndustry (2013). Pie de rey. Recuperado de:  
<http://www.directindustry.es/prod/beta-utensili/pies-rey-16269-281303.html>

### 1.7.2 PALMER O MICRÓMETRO DE EXTERIORES

Este instrumento sirve para medir longitudes pequeñas en muchos casos espesores de ciertos materiales, por lo que tiene una precisión de centésimas de milímetros.

Su principio de funcionamiento se basa en un tornillo acoplado en una tuerca fija, de esta manera al girar el tornillo se produce un desplazamiento horizontal del eje.

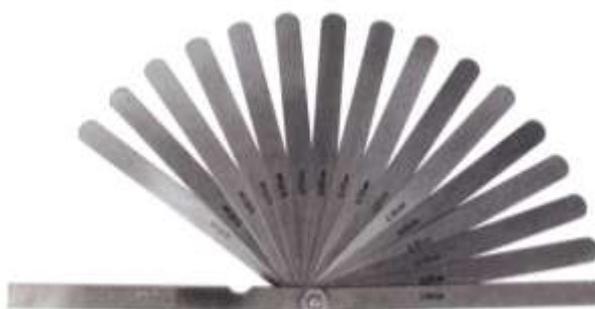


**FIGURA 1.10. Micrómetro**

FUENTE: TraversTool(2014).Micrómetro para exteriores.Recuperado de:  
<http://www.traverstool.com.mx/57-015-400.html>

### 1.7.3 LAINAS (MEDIDORES DE ESPESORES)

Son laminas delgadas de diferente espesor, las cuales permiten medir pequeñas ranuras. La medición se realiza introduciendo una laina dentro de la abertura. Este procedimiento se realiza varias veces hasta encontrar la laina que más se aproxime al espacio de la abertura.



**FIGURA 1.11. Lainas**

FUENTE: TraversTool (2014). Calibradores de Espesores. Recuperado de:  
<http://www.traverstool.com.mx/57-015-400.html>

## CAPÍTULO 2

### 2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

El proyecto trata sobre el diseño y construcción de un equipo que permita realizar dos pruebas de calidad al alambre esmaltado redondo de cobre:

- Continuidad del esmaltado
- Rigidez dieléctrica

Estas dos pruebas están regidas bajo la norma NEMA - MW 35C.

Para iniciar con el diseño del equipo se tomó en cuenta la situación actual de la realización de estas pruebas, como se describe a continuación:

Prueba de Continuidad: Para realizar esta prueba se debe sacar muestras de cada uno de los carretes que se encuentran en bodega, la muestra debe ser de 30 metros. De regreso en el laboratorio se debe cargar la muestra en un carrete que es parte del sistema manual con el que se cuenta al momento. Este sistema consiste en un par de carretes, el primero para cargar la muestra y el segundo para recoger la muestra. Además se tiene un recipiente lleno de agua, una manivela y un equipo de llamado Megger que suministra los 1500 VDC.

Cada vez que exista una falla en la continuidad del esmaltado se produce una caída de voltaje, dato que se observa en el Megger.

Esta prueba debido al uso de agua como elemento principal de contacto no está dentro de la norma, pero sus resultados son confiables para el laboratorio de Ecuatrán S.A.



**FIGURA 2.1. Sistema actual para realizar prueba de continuidad**

FUENTE: Investigación de campo.

Prueba de Rigidez Dieléctrica: Inicialmente se necesitan dos muestras de alambre de 60cm. las mismas que se deben colocar sobre un pedestal (figura 2.2). Las muestras deben estar sometidas a una tensión de carga, mientras están siendo trenzadas. Finalmente se aplica el voltaje mediante un equipo existente en el laboratorio llamado equipo de voltaje aplicado, el mismo que no siempre está disponible ya que este equipo es también utilizado para las pruebas de los transformadores. El voltaje AC suministrado está a frecuencia comercial de 60Hz, y el incremento se lo realiza de forma manual, hasta que se produzca la ruptura del esmalte. El voltaje mínimo al que se debe producir esta ruptura está determinado en la norma antes mencionada y depende del calibre del alambre.



**FIGURA 2.2. Sistema actual para realizar prueba de rigidez dieléctrica**

FUENTE: Investigación de campo.

En el presente capítulo se describe el diseño del equipo para realizar estas pruebas, considerando que la prueba de continuidad se realizara por dos métodos: Contacto por escobillas (Norma NEMA MW-35C) y contacto por agua (Método utilizado por el laboratorio de Ecuatrán S.A)

## **2.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE ALTO VOLTAJE**

El sistema de alto voltaje es la parte fundamental del proyecto debido a que las dos pruebas a realizar: continuidad y rigidez necesitan de fuentes DC y AC de alto voltaje respectivamente.

### **2.1.1 DISEÑO DE FUENTES DC**

Como se mencionó en la sección 1.3.3 la prueba de continuidad requiere de una fuente de 1500 VDC, para ello se diseñó un circuito multiplicador de voltaje, el mismo que está constituido de redes de diodos y capacitores, con la finalidad de transformar un voltaje AC en DC y elevarlo.

Para obtener el voltaje aproximado y sabiendo que  $V_{RED} = 117.4 V$  tenemos que:

$$V_{RED} = 117.4 V$$

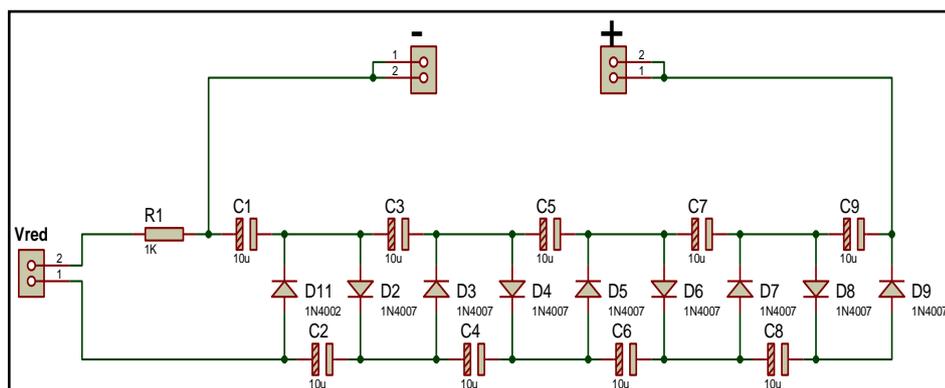
$$V_P = \sqrt{2} \cdot V_{RED} = 166.02 V$$

Tomando en cuenta estas características se realizó el diseño con 9 etapas de diodos y condensadores (figura 2.3).

**TABLA 2.1. Tabla de número de etapas del multiplicador y voltaje obtenido**

# Etapas	Cálculo	Voltaje (VDC)
3	$V_{OUT} = V_P + 2V_P$	498.06
4	$V_{OUT} = 4V_P$	664.08
5	$V_{OUT} = V_P + 4V_P$	830.10
6	$V_{OUT} = 6V_P$	996.12
7	$V_{OUT} = V_P + 6V_P$	1162.14
8	$V_{OUT} = 8V_P$	1328.16
9	$V_{OUT} = V_P + 8V_P$	1494.18
10	$V_{OUT} = 10V_P$	1660.20

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.



**FIGURA 2.3. Diseño del multiplicador de voltaje**

FUENTE: Investigación de campo.

Para la selección de los diodos se tuvo en cuenta el voltaje inverso que soportan, para ello se tiene el siguiente cálculo:

$$V_{iD} = 2V_p$$

**Ec. 2.1.**

$$V_{iD} = 2(166.02 V)$$

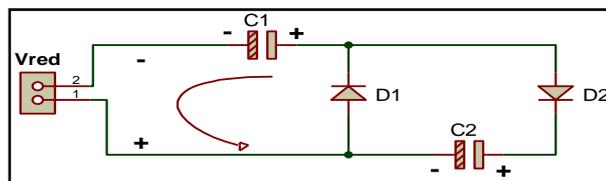
$$V_{iD} = 332.05 V$$

Para ello se eligió el diodo 1n4007 que es muy comercial, el mismo que resiste un voltaje inverso de 700V.

Para la selección de los capacitores se tuvo en cuenta que su voltaje de trabajo debería ser el doble del voltaje pico con el que se está alimentando al circuito, además de ser de tipo electrolítico debido a que poseen polaridad.

Se eligió un capacitor de 10uf a 400V sobredimensionando así el voltaje que soportan.

El funcionamiento, parte de un circuito doblador de media onda, este durante el primer semi-ciclo de voltaje negativo (figura 2.4) de la fuente AC el  $D_1$  conduce y carga el capacitor  $C_1$  al voltaje rectificado pico.



**FIGURA 2.4.Semi-ciclo de voltaje negativo**

FUENTE: Investigación de campo.

$$V_P - V_{C1} = 0$$

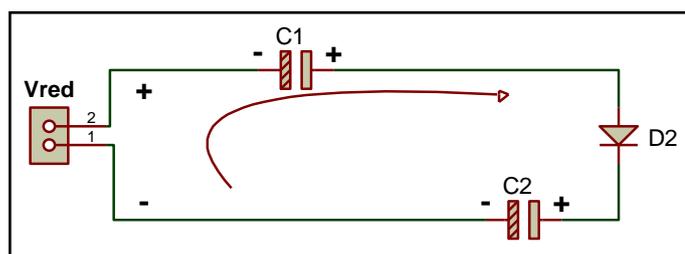
**Ec. 2.2.**

$$V_{C1} = V_P$$

Durante el semi-ciclo positivo (figura 2.5) el  $D_1$  se encuentra abierto y el  $D_2$  conduce cargando el capacitor  $C_2$ , así tenemos que:

$$V_P + V_{C1} - V_{C2} = 0$$

**Ec. 2.3.**



**FIGURA 2.5. Semi-ciclo de voltaje positivo**

FUENTE: Investigación de campo.

Sabiendo que  $V_{C1} = V_P$  tenemos que:

$$V_P + V_P - V_{C2} = 0$$

$$V_{C2} = 2V_P$$

Finalmente tenemos que durante el semi-ciclo negativo de AC,  $C_1$  se carga a  $V_P$  a través de  $D_1$ , en el semi-ciclo positivo de AC,  $C_2$  se carga a  $2V_P$  a través de  $D_2$ , durante el semi-ciclo negativo de AC,  $C_3$  se carga a  $2V_P$  a través de  $D_3$  y  $C_2$ , durante el semi-ciclo negativo de AC,  $C_4$  se carga a  $2V_P$  a través de  $D_2$ ,  $D_3$  y  $C_3$ , y así el resto de redes.

### 2.1.2 DISEÑO DE FUENTE AC

La prueba de rigidez dieléctrica tiene como elemento principal una fuente de alto voltaje AC. Como se mencionó en la sección 1.3 esta prueba está regida bajo la norma NEMA MW-35C, la misma que indica ciertos parámetros fundamentales que la fuente AC debe cumplir (tabla 2.2)

**TABLA 2.2. Características principales de prueba de rigidez dieléctrica**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Frecuencia	60 Hz.
Potencia	> 500 VA.
Voltaje	Variable (0 – 7000V o superior)
Velocidad de incremento de voltaje	500 V/s (+/- 10%)

FUENTE: ANSI/NEMA MW 1000/2008. *MagnetWire*. Revisión 2-2010.

Para obtener una fuente con los requerimientos de la norma la empresa Ecuatrán S.A construyó un transformador elevador con las siguientes características:

**TABLA 2.3. Características de transformador elevador**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Voltaje de Entrada	120 V
Voltaje de Salida	18 KV
Potencia	1 KVA
Frecuencia	60 Hz

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Para obtener una salida variable en el secundario del transformador, se realiza la conexión de un autotransformador variable (VARIAC) a la entrada del primario del transformador.

De esta manera el VARIAC nos permite regular el voltaje de alimentación al transformador de 0 a 120V y obtener por lo tanto un voltaje de salida de 0 a 18 KV.

Para el incremento uniforme de voltaje de acuerdo a la norma, se acopla un motor de continua al eje del VARIAC cuya velocidad será regulada mediante el circuito mencionado en la sección 2.2.4.

## **2.2 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL**

A continuación se describen las placas electrónicas que son parte fundamental para el desarrollo del proyecto. En cada uno de los acondicionamientos se describen la función junto con los cálculos de los elementos y dispositivos utilizados.

### **2.2.1 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN EL ESMALTADO DEL ALAMBRE**

A partir de la fuente de 1500 VDC, se realizó el acondicionamiento para la detección de fallas en la continuidad del alambre esmaltado de cobre. Según el método por agua desarrollado por el personal de laboratorio de la empresa Ecuatrán S.A. se considera falla cuando el voltaje medido entre los electrodos es menor al 75% del voltaje total (1500VDC) entregado por la fuente y según esta consideración se realizó el diseño.

Se tiene dos circuitos: Un divisor y un comparador de voltaje.

El divisor de voltaje (figura 2.6) consiste en dos resistencias que se encuentran conectadas a la fuente de 1500 V, con la finalidad de obtener un nivel voltaje adecuado (0-10V) en una de las resistencias para tratarlo en el circuito comparador.

Este voltaje de 0 a 10V nos representa el voltaje de falla que ocurre en el instante de detección de discontinuidad en el alambre.

Sabiendo estos datos se realizó el cálculo de las resistencias para el divisor de tensión:

$$V_{in} = 1500 \text{ VDC.}$$

$$V_{FALLA} = V_{R1} = 10V.$$

$R_2 = 1M\Omega$  (Asumimos este valor debido a que esta resistencia es comercial)

$R_1 = ?$

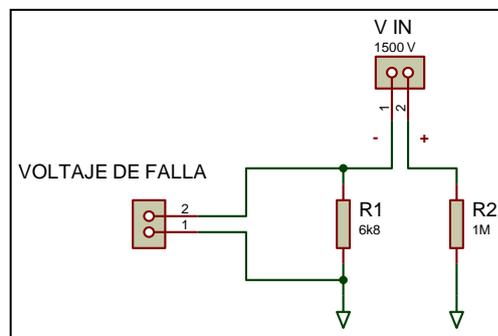
$$V_{R1} = \frac{V_{in} \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

**Ec. 2.4.**

$$R_1 = \frac{V_{R1} \cdot R_2}{V_{in} - V_{R1}}$$

$$R_1 = \frac{10V \cdot 1M\Omega}{1500V - 10V}$$

$$R_1 = 6.71 K\Omega \approx 6.8 K\Omega$$



**FIGURA 2.6. Circuito divisor de tensión**

FUENTE: Investigación de campo.

Una vez obtenido un voltaje adecuado se realizó la siguiente etapa del acondicionamiento: circuito comparador de voltaje.

Este circuito comparador está formado en su primera parte por un conjunto de 8 diodos los mismos que restringen el nivel de voltaje aceptado para la activación del comparador mediante la caída de voltaje que existe en cada uno de los diodos a través de este cálculo:

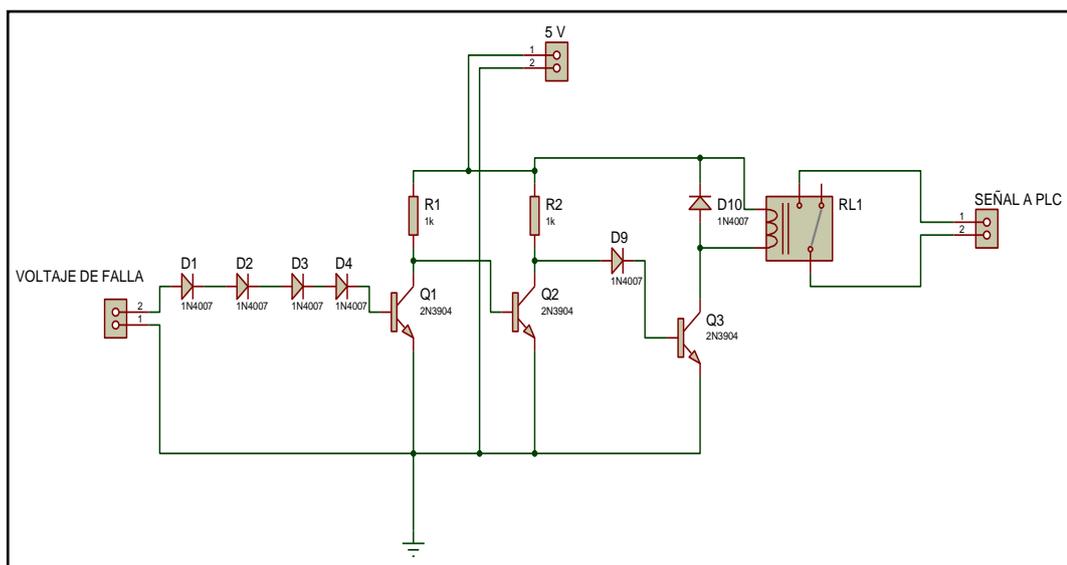
$V_{\text{Diodo}}: 0.7$  (V. medido)

$V_{\text{Total}}: V_{D1} + V_{D2} + V_{D3} + V_{D4}$

$V_{\text{Total}}: 2.8$

Este  $V_{\text{Total}}$  de 2.8V indica que el voltaje de falla debe ser superior a este nivel para poder activar la etapa de transistores y de esta manera detectar y contar las fallas por medio del micro relé.

En el ANEXO B1 se encuentran las características del diodo 1N4007 el cual se está utilizando para esta aplicación.



**FIGURA 2.7. Circuito comparador de voltaje para detección de fallas**

FUENTE: Investigación de campo.

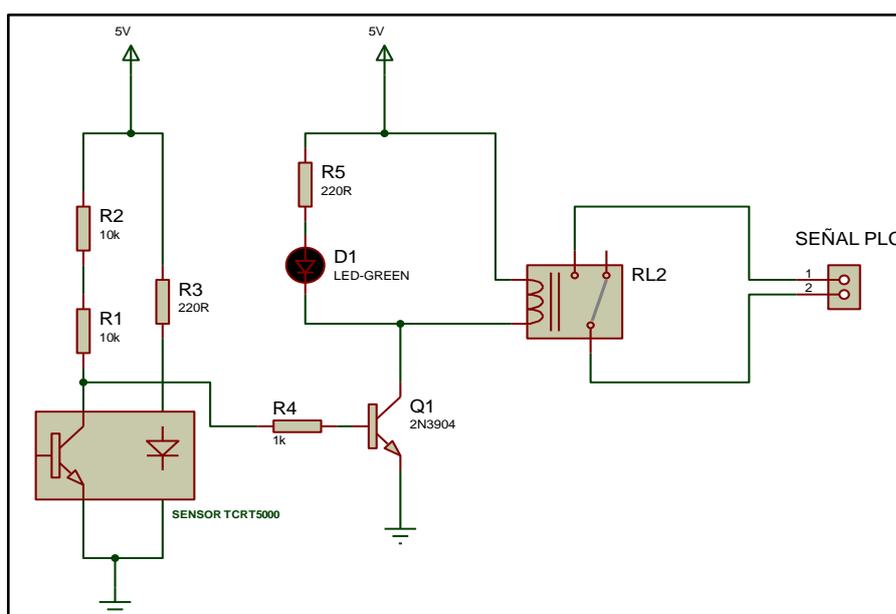
A través del contacto abierto del micro relé se tiene la señal del conteo de las fallas el mismo que está conectada a una entrada digital del PLC.

## 2.2.2 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA DETECCIÓN DE PRESENCIA DE ALAMBRE

Ante la necesidad de implementar un circuito de seguridad para confirmar la presencia del alambre a través de las poleas durante la ejecución de la prueba de continuidad, se acondicionó un sensor óptico para obtener una señal a partir del movimiento de una de las poleas.

Esta polea gira siempre y cuando el alambre se encuentre ubicado correctamente en el mecanismo. El sensor utilizado en este diseño es un sensor óptico TCRT 5000 debido a que posee las características requeridas.

La señal de detección que ofrece este sensor esta en el rango de 0 a 5V, la misma que no es compatible con la entrada digital del PLC, por esta razón la salida del sensor de 5V está conectado a un transistor y este a su vez a la bobina de un micro relé, mientras que los contactos del micro relé serán conectados a 24V para llevar la señal adecuada al PLC.



**FIGURA 2.8. Circuito para detección de presencia de alambre**

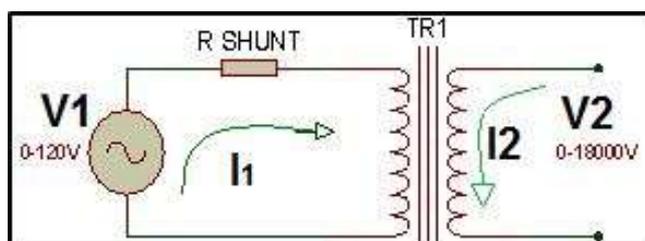
FUENTE: Investigación de campo.

### 2.2.3 CIRCUITO DETECTOR DE SOBRECORRIENTE

Este circuito está diseñado con el objetivo de desconectar la prueba de rigidez dieléctrica al momento de producirse el cortocircuito en la muestra de alambre esmaltado. Como se mencionó en la sección 2.1.2, el devanado primario del transformador está conectado en serie a una resistencia Shunt.

Según la norma se considera falla en la prueba de rigidez dieléctrica cuando se produce una corriente mayor a 1.5mA en la trenza del alambre.

Este valor de corriente de 1.5mA se produce en la salida del devanado secundario del transformador.



**FIGURA 2.9. Conexión de resistencia Shunt**

FUENTE: Investigación de campo.

Para los cálculos se asumió una corriente de 10mA para observar una chispa en la trenza del alambre en la prueba.

A partir de estos datos se realizaron los siguientes cálculos:

Voltaje Primario:  $V_1 = 120V$

Voltaje Secundario:  $V_2 = 18000V$

Corriente en el Primario:  $I_1 = ?$

Corriente en el secundario:  $I_2 = 10mA$

Relación de Transformación:  $m = 150.82$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = m$$

**Ec. 2.5.**

$$\frac{I_1}{I_2} = m$$

$$I_1 = I_2 \cdot m$$

$$I_1 = 10mA \cdot 150.82$$

$$I_1 = 1.5A$$

Teniendo la corriente en el devanado primario se calcula el voltaje de caída en la resistencia Shunt.

$$I_1 = 1.5A$$

$$R_{Shunt} = 1.5\Omega$$

$$V_{Rshunt} = I_{Primario} \cdot R_{Shunt}$$

**Ec. 2.6.**

$$V_{Rshunt} = 1.5 A \cdot 1.5\Omega$$

$$V_{Rshunt} = 2.25V$$

Con el valor del voltaje en la  $R_{Shunt}$  se procede a la siguiente etapa del circuito.

Esta etapa consiste en la rectificación del voltaje alterno que ofrece la  $R_{Shunt}$ , para obtener un voltaje continuo.

$$V_{Rshunt}RMS = 2.25 V \cdot \sqrt{2}$$

$$V_{Rshunt}RMS = 3.18 V$$

$$V_{Rshunt}DC = V_{Rshunt}RMS - 2V_{Diodo}$$

**Ec. 2.7.**

$$V_{Rshunt}DC = 3.18V - 2(0.7)V$$

$$V_{Rshunt}DC = 1.78 V$$

Teniendo el voltaje de 1.78V y sabiendo que por cada diodo se produce una caída de voltaje de 0.7 V se calcula el número de diodos necesarios para que el circuito entregue una señal cuando el voltaje de la  $R_{Shunt}$  sobre pase 1.78V.

$$V_{Diodo} = 0.7$$

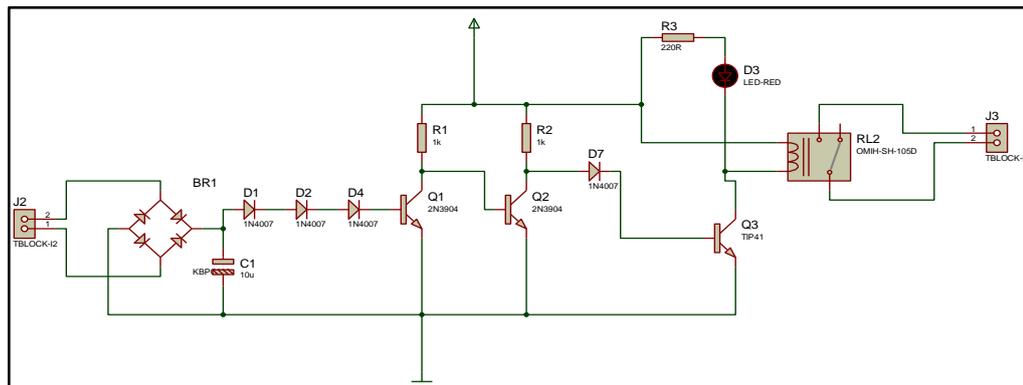
$$\text{Numero de Diodos} = \frac{V_{Rshunt} DC}{V_{Diodo}}$$

**Ec. 2.8.**

$$\text{Numero de Diodos} = \frac{1.78 V}{0.7 V}$$

$$\text{Numero de Diodos} = 2.5 \approx 3$$

De esta manera la bobina del micro relé se activa, enviando la señal al PLC y este procede a desconectar la el sistema de alto voltaje.



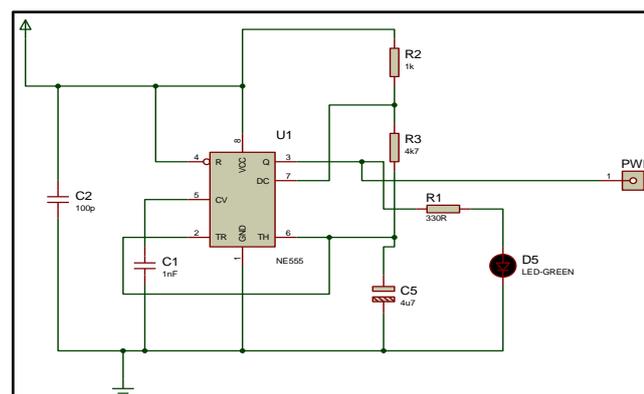
**FIGURA 2.10. Circuito detector de sobre-corriente**

FUENTE: Investigación de campo.

## 2.2.4 CIRCUITO DE CONTROL PWM E INVERSION DE GIRO DE MOTOR DC

### a) CIRCUITO PWM

El circuito PWM permite regular la velocidad de un pequeño motor de corriente continua mediante la configuración astable de un timer 555 como se indica en la figura 2.11.



**FIGURA 2.11. Circuito de configuración astable**

FUENTE: Investigación de campo.

Experimentalmente se realizó combinaciones entre  $R_3$  y  $C_5$  hasta obtener una salida que permita trabajar al motor a una velocidad de 1.5rpm para

poder acoplar y girar un autotransformador variable (VARIAC) a la velocidad antes mencionada.

**Datos:**

$$R_2=1K\Omega$$

$$R_3=4.7K\Omega$$

$$C_5=4.7\mu F$$

Ancho de pulso:

$$t = \ln(2) * (R_2 + R_3) * C_5$$

**Ec. 2.9.**

$$t = \ln(2) * (1K\Omega + 4.7K\Omega) * 4.7\mu F$$

$$t = 18.56 \text{ ms}$$

Período:

$$T = \ln(2) * C_5 * (R_2 + 2R_3)$$

$$T = \ln(2) * 4.7\mu F * (1K\Omega + 2 * 4.7K\Omega)$$

$$T = 33.87 \text{ ms}$$

**b) CIRCUITO DE INVERSIÓN DE GIRO**

El motor DC necesita una inversión de giro, el mismo que se realizó con la ayuda del circuito integrado L293 y de un par de micro relés. Una consideración importante para el circuito de inversión de giro es:

Sentido de giro horario: Alimentación PWM al motor.

Sentido de giro anti horario: Alimentación directa de 5V al motor.

El diagrama completo del circuito de inversión de giro conjuntamente con PWM se encuentra en el ANEXO C.

### 2.2.5 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA ENTRADA ANALÓGICA

El parámetro en la prueba de rigidez dieléctrica es el voltaje en el que se rompe el esmalte del alambre, este voltaje esta en el orden de los KV.

La fuente de alimentación de esta prueba es un transformador elevador de 0 - 120V / 0 - 18 KV, es por esto que el acondicionamiento se lo realiza en la entrada del transformador, ya que gracias a su valor de relación de transformación (TTR) se puede obtener el voltaje del secundario.

La primera etapa de este circuito de acondicionamiento consiste en reducir el voltaje que ingresa de 0 – 120V / 0 – 9V a través de un pequeño transformador reductor de potencia 9 vatios, luego este voltaje pasa por las etapas de rectificación y filtrado.

Como siguiente etapa se tiene un divisor de tensión para reducir el nivel de voltaje de entrada, además de agregarle un diodo zener en paralelo a la salida para limitar el voltaje en caso de una sobrecarga.

A continuación se detallan los cálculos para la selección del diodo zener.

En primer lugar se calcula el voltaje rms entregado por el transformador:

$$V_{rms} = V_2 * \sqrt{2}$$

**Ec. 2.10.**

$$V_{rms} = 9V * \sqrt{2}$$

$$V_{rms} = 12.72V$$

Luego se encuentra el voltaje continuo entregado:

$$V_{dc} = V_{rms} - 2V_{Diodo}$$

**Ec. 2.11.**

$$V_{dc} = 12.72 - 2(0.7V)$$

$$V_{dc} = 11.32V$$

Cálculo del voltaje de caída en  $R_2$ , para poder seleccionar el diodo zener adecuado:

$$V_{R2} = \frac{V_{dc} * R_2}{R_1 + R_2}$$

**Ec. 2.12.**

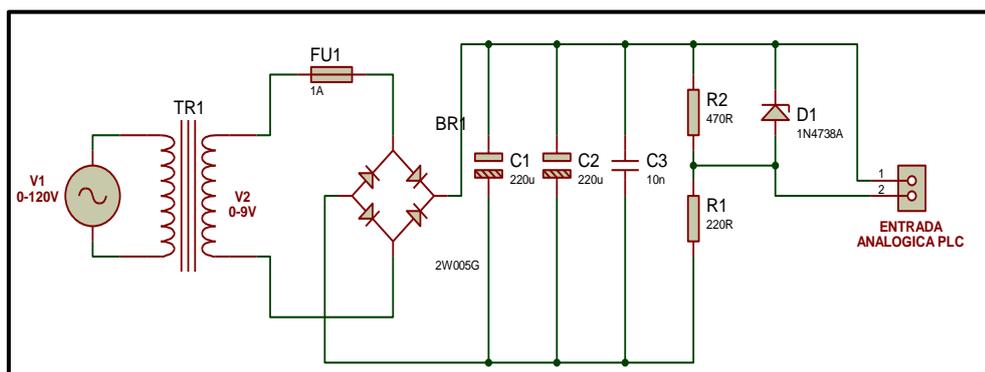
$$V_{R2} = \frac{11.32V * 470\Omega}{220\Omega + 470\Omega}$$

$$V_{R2} = 7.71V$$

Se elige un diodo zener más cercano. Se tiene dos opciones: 1N4738 (8.2V) y 1N4737 (7.5V). La opción más adecuada es el de voltaje superior.

Finalmente se obtuvo el voltaje DC que ingresará al PLC por una de sus entradas analógicas.

En el ANEXO B2 se encuentran las características del diodo zener 1N4737.



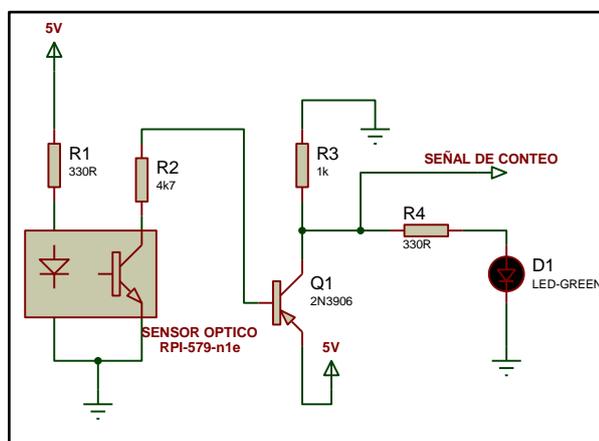
**FIGURA 2.12. Circuito de acondicionamiento para entrada analógica**

FUENTE: Investigación de campo.

## 2.2.6 CIRCUITO CONTADOR DE VUELTAS CON DISPLAY

La función principal de este circuito consiste en realizar el conteo del número de giros del eje de la trenzadora para la muestra de alambre a utilizarse en la prueba de rigidez dieléctrica.

El primer paso es acondicionar el sensor óptico tipo herradura para obtener una señal que será receptada por un micro controlador PIC 16F628A. Además este circuito consta de un led que permite verificar el estado del nivel de voltaje (figura 2.13).

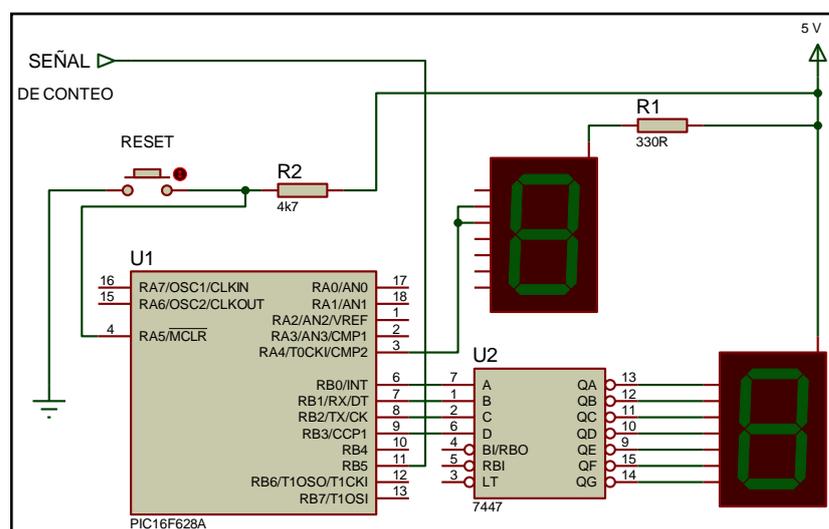


**FIGURA 2.13. Circuito detector de señal**

FUENTE: Investigación de campo.

La señal de conteo de este sensor tiene un nivel de voltaje de 0 a 5V ideal para la entrada digital del PIC.

Este microcontrolador es el encargado de procesar la señal para realizar el conteo del número de vueltas para luego poder mostrarlo a través de dos displays de 7 segmentos ánodo común. El número máximo de conteo debido a los dos displays es de 19 debido a que el máximo número de vueltas al que se somete el alambre es de 16 como se menciona en la tabla 1.2. Además este circuito consta de un botón de reset para reiniciar el conteo.



**FIGURA 2.14. Circuito de visualización a través de displays**

FUENTE: Investigación de campo.

El software utilizado para la programación del PIC es microcode, teniendo a continuación el algoritmo de instrucciones.

```

trisa=%00100000
trisa=%00100000
sensorvar portb.5
resetvar porta.3
decenavar porta.4

```

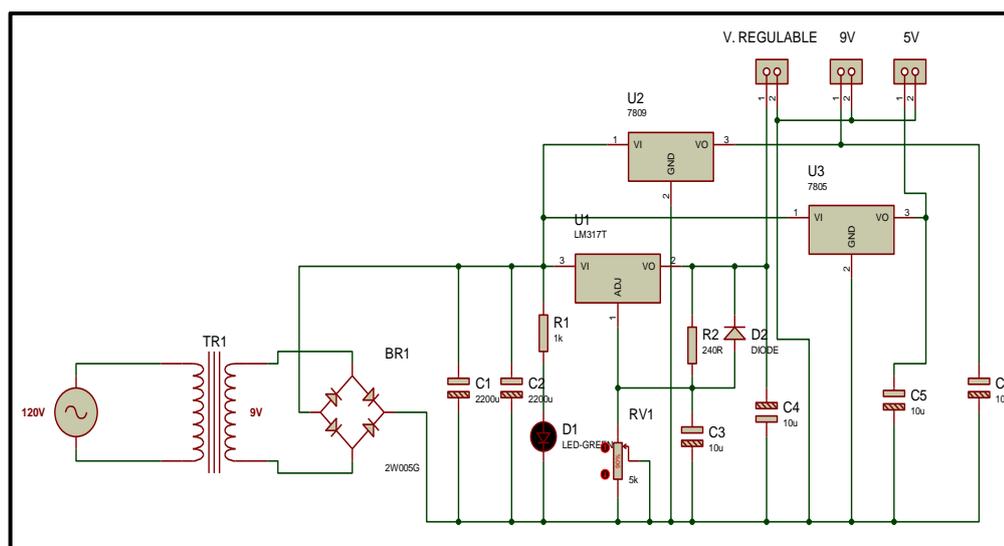
```
unidad VAR BYTE
encerar:
  decena=1
  unidad=0
display:
  portb=unidad
  if sensor=0 then aumentar
  goto display
aumentar:
  if sensor=0 then aumentar
  pause 150
  if (unidad=9 and decena=1) then
  unidad=0
  decena=0
  goto display
  endif
  if (unidad=9 and decena=0) then
  goto encerar
  endif
  unidad=unidad+1
  gotodisplay
end
```

### 2.2.7 FUENTE FIJA Y REGULABLE

Debido a la necesidad de suministrar el voltaje adecuado a los diversos circuitos mencionados anteriormente se ha diseñado una fuente de poder la misma que entrega 5VDC y 9VDC fijos y 12VDC regulables, con una corriente máxima de 2 amperios.

Como elemento principal de la fuente se tiene un transformador de 120 a 12 VAC, reduciendo aquí el voltaje a un nivel mucho más manejable. En la siguiente etapa de la fuente se tiene la rectificación de la señal aquí mediante la utilización de un puente de diodos se convierte la señal AC en DC, pero para tener una señal más pura se coloca dos capacitores en paralelo a la salida del puente de diodos.

Finalmente para obtener los niveles de voltaje fijos de 5 y 9V se colocaron los reguladores 7805 y 7809 respectivamente, y para el voltaje variable de 0 a 12V se colocó un regulador LM317 conectado a un potenciómetro de 5K $\Omega$ .



**FIGURA 2.15. Circuito de fuente fija y regulable**

FUENTE: Investigación de campo.

## 2.3 SELECCIÓN DE SENSORES

### 2.3.1 SENSOR OPTICO REFLECTIVO

El sensor óptico requerido tiene como objetivo detectar el giro de una de las poleas del mecanismo por donde atraviesa el alambre. Para ello a una de

las poleas se le colocó una superficie de color negro con un destaje de color blanco, todo esto con la finalidad de conocer que el alambre se encuentre atravesando el mecanismo de una manera correcta. Sabiendo esto las características a tener en cuenta para la selección del sensor óptico son la distancia de detección y el voltaje de alimentación. Es por esto se eligió el sensor óptico TCRT 5000 debido a que posee las prestaciones necesarias para nuestras necesidades.



**FIGURA 2.16. Sensor óptico TCRT 5000**

FUENTE: Electroduino. Sensor óptico reflexivo. Recuperado de:  
<http://eletroarduino.wordpress.com/tag/sensor-optico-reflexivo-tcrt5000/>

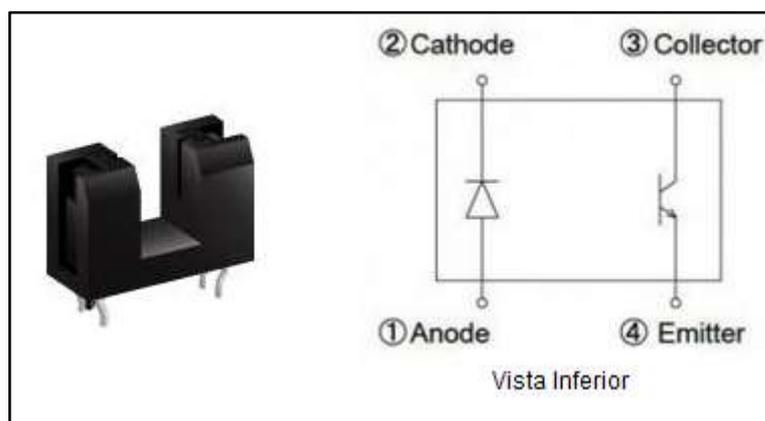
#### **Características:**

- Detección de distancia: 12mm.
- Longitud de onda del funcionamiento: 950 mm.
- Detección de método: Reflexivo
- Dimensiones: (10.2 x 5.8 x 7) mm.

Las características completas del sensor óptico TCRT 5000 se encuentran en el ANEXO D1.

### 2.3.2 SENSOR ÓPTICO TIPO HERRADURA

Este sensor permitirá el conteo del número de giros de un eje. Para la selección se buscó un sensor óptico en el que no importa el color ni textura del objeto a detectarse, por lo que se eligió un sensor de tipo herradura.



**FIGURA 2.17. Sensor óptico tipo herradura**

FUENTE: Electronicos Caldas. RPI-579N1E. Recuperado de <http://www.electronicoscaldas.com/infrarrojos/267-optoacoplador-fotointerruptor-rpi579n1e.html>

#### Características:

- Foto interruptor de ranura ó herradura
- Salida a fototransistor
- Ancho de la ranura (Gap): 0.5 mm.
- Tipotransmisivo
- Pines plásticos de posicionamiento para prevenir desalineaciones
- Luz infrarroja
- Tiempo de respuestarápido

Las características completas del sensor óptico tipo herradura se muestran en el ANEXO D2.

### 2.3.3 SELECCIÓN DEL SENSOR FINAL DE CARRERA

Un final de carrera es un dispositivo mecánico que permite detectar el final de recorrido de un elemento móvil a través de un contacto físico.

En el proyecto se necesitan este tipo de sensores para obtener una señal de seguridad al momento de abrir una ventana donde se realiza la prueba de rigidez dieléctrica. Además se utilizan dos finales de carreras extras para verificar el inicio y final del recorrido del autotransformador variable (VARIAC). Se eligió este final de carrera debido a que posee las características que se busca y además su instalación es rápida.



**FIGURA 2.18. Final de carrera**

FUENTE: Investigación de campo

#### **Características:**

- Contactos: 1NA – 1NC
- Corriente: 2A.
- Voltaje: 200 Vmax
- Dimensiones: (14x7x4) mm

### 2.4 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Se ha considerado la utilización de un PLC debido a que es un dispositivo diseñado para el control de procesos que ofrece soluciones eficientes a los problemas que se presentan durante la automatización en la industria.

Además permite la comunicación rápida y sencilla con un sistema de visualización como es la TouchScreen para de esta manera obtener un sistema HMI.

Para la selección del tipo de PLC se ha verificado el número de entradas y salidas a utilizar (tablas 2.4 y 2.5).

**TABLA 2.4. Entradas al PLC y el tipo de señal**

# de Entrada	NOMBRE DE VARIABLE	TIPO
1	Sensor Agua	Digital
2	Sensor Escobillas	Digital
3	Fallas del Alambre	Digital
4	Sensor de Sobre Corriente	Digital
5	InicioVariac	Digital
6	Fin Variac	Digital
7	Sensor VentanaRigidez	Digital
8	Paro de Emergencia	Digital
1 <sup>a</sup>	Voltaje de Rigidez Dieléctrica	Analógica

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

**TABLA 2.5. Salidas del PLC y el tipo de señal**

# de Salida	NOMBRE DE VARIABLE	TIPO
1	Encender Sistema de Continuidad Agua.	Digital
2	Encender Sistema de Continuidad Escobillas.	Digital
3	Encender Sistema de Alto Voltaje	Digital
4	RetornoVariac.	Digital

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Al tener el conocimiento de esta información se ha seleccionado el PLC Siemens s7-1200 debido a que este posee las características compatibles con las necesidades de proyecto.



**FIGURA 2.19. PLC S7-1200**

FUENTE: Investigación de campo.

### **Características Principales del PLC Siemens S7-1200**

- Tipo: AC/DC Relé.
- Voltaje de Alimentación: 110 V.
- Número de entradas digitales: 8.
- Número de entradas analógicas: 2.
- Número de salidas digitales: 6.
- Dimensiones: (90 x 100 x 75) mm.
- Interfaz Comunicación: Profinet/Industrial Ethernet

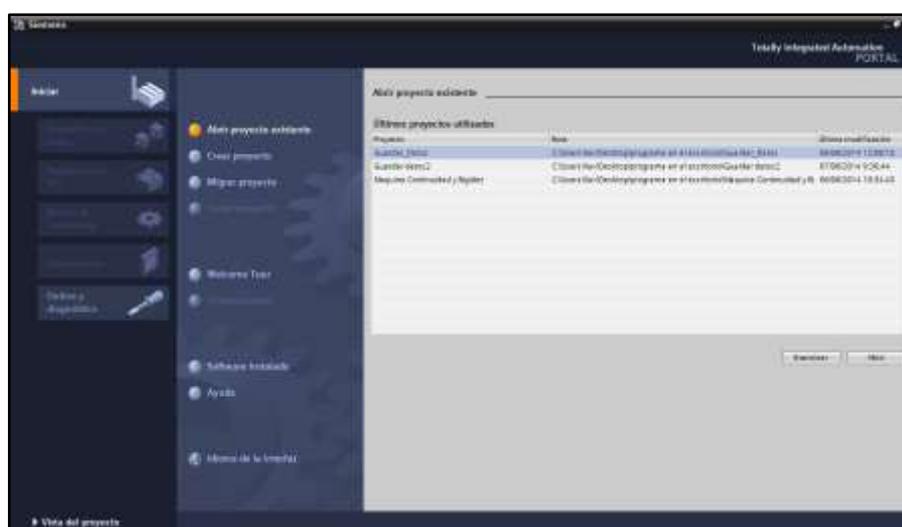
En el ANEXO E1 se pueden encontrar las especificaciones completas.

#### **2.4.1 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN**

Para la programación tanto del PLC s7-1200 como de la pantalla TouchComfort KTP400 se utiliza el innovador software de Siemens llamado TIA PORTAL.

TIA PORTAL (TotallyIntegratedAutomation) es un software que permite la optimización de todos los procedimientos para su fácil programación, además posee una interfaz de usuario muy amigable. Con el mismo software se configura el PLC y la Touch Panel. (Siemens, 2013)

Las variables utilizadas en el controlador PLC s7-1200 se enlazan directamente a la Touch Panel, este un concepto agradable para la programación ya que simplifica el enlace de las variables.



**FIGURA 2.20. Pantalla de Inicio del Software TIA PORTAL V12.**

Fuente: Investigación de campo

Existen versiones 11.0, 12.0 y 13.0. La que se utilizara es TIA PORTAL 12.0. Esta versión cuenta con simuladores para varios modelos de controladores, lastimosamente no cuenta el simulador para el S7-1200, pero si cuenta con el simulador para la Touch Panel, permitiendo de esta manera evaluar y verificar el funcionamiento de la HMI para la corrección de errores.

## 2.5 SELECCIÓN DEL SISTEMA TOUCHSCREEN

Debido a la funcionalidad que brindan las pantallas táctiles se ha optado por elegir una de estas para el control del proceso en la máquina.



**FIGURA 2.21. Touch Panel Siemens KTP 400**

FUENTE: Investigación de Campo

La selección se la realizó teniendo en cuenta tres parámetros importantes.

La compatibilidad con el PLC Siemens S7-1200, la capacidad de almacenamiento de datos y el tamaño. Teniendo en cuenta estos parámetros se eligió el Panel TouchSimatic KTP400 Comfort. Este panel touch posee las siguientes características:

#### **Características Principales del Comfort Panel SIMATIC KTP 400**

- Tensión de Alimentación: 24V
- Tamaño: 4.3"
- Resolución: 480 x 272
- Elementos de mando: Pantalla Touch y 4 teclas de función.
- Interfaz Comunicación: Profinet/Industrial Ethernet (RJ45), Profibus DP/MPI RS485/RS422), SD Card/USB Host/USB device.

En el ANEXO E2 se pueden encontrar las especificaciones completas.

## 2.6 SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Para poder cumplir con los requerimientos de la norma NEMA MW-35C en cuanto a la velocidad de ejecución de la prueba de continuidad, es necesaria la utilización de un variador de frecuencia. Este dispositivo nos permite tener flexibilidad en el control de velocidad de la prueba.

La característica principal para la selección del variador de frecuencia es la potencia del motor con el que se va a trabajar.

Debido a que la alimentación de la máquina es monofásica se buscó un variador que tenga esta característica, es decir alimentación de entrada monofásica y salida trifásica para el control del motor, es por esta razón que se eligió el variador de frecuencia SINAMICS G110.



**FIGURA 2.22. Variador de Frecuencia SINAMICS G110**

FUENTE: Investigación de campo.

### **Características Principales del variador de frecuencia SINAMICS G110 (0.37 KW)**

- Tensión de Alimentación: Monofásica 200-240 VAC +/- 10%
- Frecuencia de Salida: 0-650 Hz, resolución 0.01 Hz
- Tipo de Protección: IP20
- Temperatura de Operación: Máxima 40 °C (hasta 50° con desclasificación)
- Factor de sobrecarga: 150% durante 60 seg.
- Entradas digitales: 3
- Salidas digitales: 1 (24 VDC)
- Entradas análogas: 1 (24 VDC)

En el ANEXO E3 se pueden encontrar las especificaciones completas.

#### **2.6.1 TRANSFORMADOR PARA VARIADOR DE FRECUENCIA**

Debido a que la máquina tendrá una alimentación monofásica de 120V y que el variador de frecuencia tiene una alimentación monofásica de 220V se procedió a implementar un transformador con las siguientes características:

Voltaje de Entrada: 120V

Voltaje de Salida: 220V

Potencia: 500W

#### **2.7 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO**

En ésta sección se muestra el resultado de la búsqueda del diseño más adecuado de la máquina de pruebas de alambres con el fin de cumplir con todos los requerimientos funcionales y de seguridad exigidos para este tipo de dispositivos.

## 2.7.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los principales parámetros que influyen directamente en el diseño mecánico de la máquina son:

Módulo de elasticidad normal del cobre ( $E$ ) =  $12,2 \cdot 10^4$ MPa (ANEXO F)

Límite de fluencia máximo del cobre ( $S_y$ ) = 379MPa

Diámetro máximo del alambre (Calibre AWG 9)  $\varnothing = 2,906$  mm

Velocidad promedio de avance del alambre ( $V_A$ )= 500 mm/s

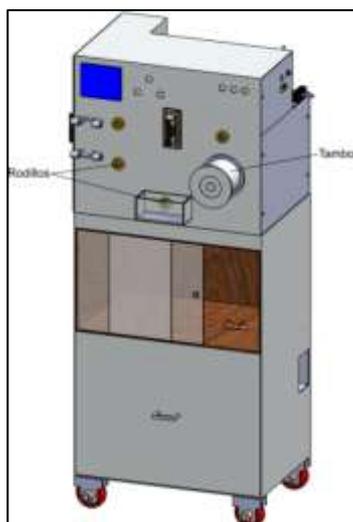
Radio de las poleas guías del alambre ( $r_{i1}$ ) = 16 mm.

Radio del tambor para enrollamiento del alambre ( $r_{i2}$ )= 63 mm

Factor de carga del sistema ( $K_C$ )= 2.0

Factor de seguridad mínimo requerido ( $FS$ ) = 2.5

En función de estos parámetros y del fundamento teórico del capítulo anterior, a continuación se procede con el diseño y la selección de los diferentes componentes mecánicos de la máquina (figura 2.23).

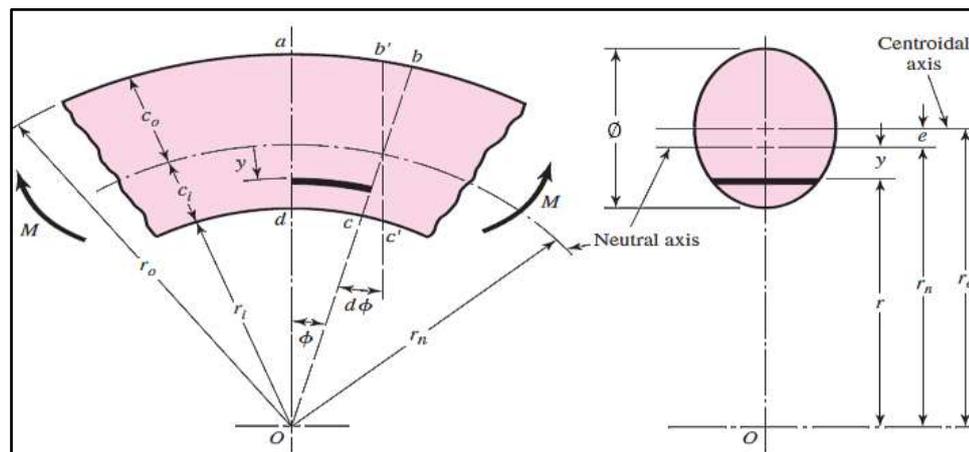


**FIGURA 2.23. Máquina para pruebas de alambre de cobre**

FUENTE: Investigación de campo.

## 2.7.2 DETERMINACIÓN DE CARGAS

Para determinar la fuerza de arrastre requerida para conducir el alambre a través de los dos rodillos guías y luego enrollarlo alrededor del tambor, se analiza al alambre de cobre como un elemento curvo sometido a flexión (figura 2.24).



**FIGURA 2.24. Análisis de un elemento curvo sometido a flexión**

Fuente: Shigley. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica.

Donde:

$r_i$  = radio de la fibra inferior del alambre = radio del rodillo o del tambor

$r_o$  = radio de la fibra superior del alambre

$\emptyset$  = diámetro del alambre = 2,906 mm

$R$  = radio del alambre = 1,453 mm

$c_o$  = distancia de la fibra superior al eje neutro

$c_i$  = distancia de la fibra inferior al eje neutro

$r_n$  = radio del eje neutro del alambre

$r_c$  = radio del eje centroidal del alambre

$e$  = distancia entre el eje centroidal y el eje neutro

### a) FUERZA EN LOS POLEAS GUÍAS

El radio de la fibra inferior del alambre en las poleas guías es:

$$r_{i1} = 16 \text{ mm}$$

El radio de la fibra exterior del alambre en las poleas guías viene dado por:

$$r_{o1} = r_{i1} + \emptyset$$

**Ec. 2.13.**

$$r_{o1} = 16 + 2,906 = 18,906 \text{ mm}$$

El radio del eje centroidal del alambre se obtiene a partir de:

$$r_{c1} = r_{i1} + \frac{\emptyset}{2}$$

**Ec. 2.14.**

$$r_{c1} = 16 + \frac{2,906}{2} = 17,453 \text{ mm}$$

El radio del eje neutral para una sección circular viene dado por la ecuación:

$$r_{n1} = \frac{R}{2 \cdot (r_{c1} - \sqrt{r_{c1}^2 - R^2})}$$

**Ec. 2.15.**

$$r_{n1} = \frac{1,453}{2 \cdot (17,453 - \sqrt{17,453^2 - 1,453^2})} = 17,4227 \text{ mm}$$

La distancia entre el eje centroidal y el eje neutro es:

$$e_1 = r_{c1} - r_{n1}$$

**Ec. 2.16.**

$$e_1 = 17,453 - 17,4227 = 0,03 \text{ mm}$$

La distancia de la fibra inferior y fibra superior al eje neutro son respectivamente:

$$c_{i1} = r_{n1} - r_{i1}$$

**Ec. 2.17.**

$$c_{i1} = 17,4227 - 16 = 1,4227 \text{ mm}$$

$$c_{o1} = r_{o1} - r_{n1}$$

**Ec. 2.18.**

$$c_{o1} = 18,906 - 17,4227 = 1,4833 \text{ mm}$$

Los esfuerzos normales máximos que se producen en las fibras superiores del alambre se obtienen a partir de la ecuación:

$$\sigma_{o1} = \frac{M_1 \cdot c_{o1}}{A \cdot e_1 \cdot r_{o1}}$$

**Ec. 2.19.**

Donde:

$A$  = es el área transversal del alambre

$$A = \frac{\pi}{4} \phi^2$$

**Ec. 2.20.**

$M$  = es el momento flexionante que hace que el alambre se doble

$$M_1 = F_1 \cdot r_{c1}$$

**Ec. 2.21.**

Reemplazando en la ecuación de esfuerzos se tiene:

$$\sigma_{o1} = \frac{4 \cdot F_1 \cdot r_{c1} \cdot c_{o1}}{\pi \cdot \phi^2 \cdot e_1 \cdot r_{o1}}$$

**Ec. 2.22.**

$$\sigma_{o1} = \frac{4 \cdot F_1 \cdot 17,453 \cdot 1,4833}{\pi \cdot 2,906^2 \cdot 0,03 \cdot 18,906}$$

$$\sigma_{o1} = \frac{6,88}{mm^2} \cdot F_1$$

Por lo tanto, aplicando el factor de carga, la fuerza requerida para flexionar el alambre viene dado por:

$$\sigma_{o1} \geq K_C \cdot S_y$$

**Ec. 2.23.**

$$F_1 = \frac{2 \cdot 379 \text{ N/mm}^2}{\frac{6,88}{mm^2}}$$

$$F_1 = 110,2 \text{ N}$$

## b) FUERZA EN EL TAMBOR PARA ENROLLAMIENTO DEL ALAMBRE

El radio de la fibra inferior del alambre en el tambor es:

$$r_{i2} = 63 \text{ mm}$$

El radio de la fibra exterior del alambre en el tambor viene dado por la Ec. 2.13.

$$r_{o2} = r_{i2} + \emptyset$$

$$r_{o2} = 63 + 2,906 = 65,906 \text{ mm}$$

El radio del eje centroidal del alambre se obtiene a partir de la Ec. 2.14.

$$r_{c2} = r_{i2} + \frac{\emptyset}{2}$$

$$r_{c2} = 63 + \frac{2,906}{2} = 64,453 \text{ mm}$$

El radio del eje neutral para una sección circular viene dado por la Ec. 2.15.

$$r_{n2} = \frac{R}{2 \cdot (r_{c2} - \sqrt{r_{c2}^2 - R^2})}$$

$$r_{n2} = \frac{1,453}{2 \cdot (64,453 - \sqrt{64,453^2 - 1,453^2})} = 64,4448 \text{ mm}$$

La distancia entre el eje centroidal y el eje neutro se obtiene a partir de la Ec. 2.16.

$$e_2 = r_{c2} - r_{n2}$$

$$e_2 = 64,453 - 64,4448 = 0,0082 \text{ mm}$$

La distancia de la fibra inferior y la fibra superior al eje neutro se obtiene a partir de las Ec. 2.17 y Ec. 2.18 respectivamente.

$$c_{i2} = r_{n2} - r_{i2}$$

$$c_{i2} = 64,4448 - 63 = 1,4448 \text{ mm}$$

$$c_{o2} = r_{o2} - r_{n2}$$

$$c_{o2} = 65,906 - 64,4448 = 1,4612 \text{ mm}$$

Los esfuerzos normales máximos que se producen en las fibras superiores del alambre se obtienen a partir de la Ec. 2.19.

$$\sigma_{o2} = \frac{M_2 \cdot c_{o2}}{A \cdot e_2 \cdot r_{o2}}$$

$M$  = es el momento flexionante que hace que el alambre se doble (Ec. 2.21)

$$M_2 = F_2 \cdot r_{c2}$$

Reemplazando en la ecuación de esfuerzos se tiene la Ec.2.22.

$$\sigma_{o2} = \frac{4 \cdot F_2 \cdot r_{c2} \cdot c_{o2}}{\pi \cdot \emptyset^2 \cdot e_2 \cdot r_{o2}}$$

$$\sigma_{o2} = \frac{4 \cdot F_2 \cdot 64,453 \cdot 1,4612}{\pi \cdot 2,906^2 \cdot 0,0082 \cdot 65,9066}$$

$$\sigma_{o2} = \frac{26,27}{\text{mm}^2} \cdot F_2$$

Por lo tanto, aplicando el factor de carga, la fuerza requerida para flexionar el alambre viene dado por la Ec. 2.23.

$$\sigma_{o2} \geq K_C \cdot S_y$$

$$F_2 = \frac{2 \cdot 379 \text{ N/mm}^2}{\frac{26,27}{\text{mm}^2}}$$

$$F_2 = 28,85 \text{ N}$$

Entonces, tomando en cuenta que el alambre debe pasar por dos rodillos, la fuerza total que debe entregar el motor es:

$$F_T = 2 \cdot F_1 + F_2$$

**Ec. 2.24.**

$$F_T = 249,25 \text{ N}$$

### 2.7.3 SELECCIÓN DEL MOTOR-REDUCTOR

La velocidad angular requerida en el tambor de enrollamiento para que el alambre avance a una velocidad promedio de 500 mm/s se obtiene a partir de:

$$V_A = \omega_t \cdot \frac{\phi_t}{2}$$

**Ec. 2.25.**

$$\omega_t = \frac{2 \cdot 0.5 \text{ m/s}}{0.136 \text{ m}}$$

$$\omega_t = 7,35 \text{ rad/s} = 70,2 \text{ rpm}$$

Dónde:

$\emptyset_t$  = diámetro medio del tambor de enrollamiento = 136 mm

Para un motor eléctrico con una velocidad nominal de 1700 rpm, la relación de transmisión requerida en el reductor de velocidad es:

$$i = \frac{\omega_M}{\omega_t}$$

**Ec. 2.26.**

$$i = \frac{1700 \text{ rpm}}{70,2 \text{ rpm}} = 24,93$$

Por lo tanto, se selecciona un reductor de velocidad con una relación de transmisión de 25. El torque de servicio mínimo requerido a la salida del reductor de velocidad viene dado por:

$$T = F_T \cdot r_{n2}$$

**Ec. 2.27.**

$$T = 249,25 \text{ N} \cdot 64,4448 \text{ mm}$$

$$T = 16062,8 \text{ N mm} = 16,06 \text{ Nm}$$

La potencia neta requerida en el tambor para realizar el enrollamiento del alambre a la velocidad especificada es:

$$Pot = F_T \cdot \vec{V}$$

**Ec. 2.28.**

$$Pot = 249,25 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m/s} = 124,63 \text{ W}$$

Considerando una eficiencia del reductor de velocidad del 90% y una eficiencia del motor eléctrico de 80%, se determina la potencia requerida en el motor.

$$Pot_M = \frac{Pot}{\eta_R \cdot \eta_M}$$

**Ec. 2.29.**

$$Pot_M = \frac{Pot}{0,9 \cdot 0,8}$$

$$Pot_M = 230,8 W = 0,31 hp$$

Se selecciona un motor de 1/3 de hp que entrega un torque de servicio de 17N.m. a una velocidad nominal de 1700 rpm.

#### **2.7.4 DISEÑO DEL EJE DE GIRO**

Alrededor de este eje gira el tambor para enrollamiento del alambre, por lo que debe ser lo suficientemente rígido para resistir el torque que entrega el reductor de velocidad.

El eje se fabricará a partir de barras cilíndricas de acero estructural ASTM A36.

Aplicando el torque de servicio mínimo requerido a la salida del reductor de velocidad y considerando un factor de diseño  $FS = 2,5$ , el diámetro del eje  $\phi_{eje}$  se determina mediante la teoría de la energía de distorsión (Shigley, 2008), utilizando la ecuación para el diseño de flechas sujetas a cargas de flexión y torsión.

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left( M_{max}^2 + \frac{3}{4} T^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

**Ec. 2.30.**

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 2,5}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6} \left( 0^2 + \frac{3}{4} 16,06^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = 0,0112 \text{ m} = 11,2 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se selecciona un diámetro mínimo para el eje de giro de 12mm.

### 2.7.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

Sobre esta estructura se instalan todos los elementos de la máquina, tanto mecánicos como eléctricos, por lo que debe ser lo suficientemente rígida para soportar tanto los pesos de estos componentes como las cargas que se generan en cada uno.

La estructura soporte será fabricada planchas de acero AISI 1008 de 2,4 mm de espesor, la misma que fue modelada en programa Solid Works.

Los planos de la estructura se encuentran en el ANEXO G.

Se puede tener un enfoque preciso mediante la teoría de Von Mises de cuándo el material se fracturará o presentara fallas por exceder a su resistencia última a tensión.

Según las propiedades del material AISI 1008 laminado en caliente se tiene que el límite de elasticidad es de 180 MPa y como resistencia la flexión un valor de 320 MPa.

El estudio se realizó bajo un factor de seguridad de 6, el cual se podría considerar como un sobredimensionamiento debido a que el material con el que se construyó la estructura fue el disponible en la empresa.

Según estos dos parámetros se puede calcular  $\sigma_d$ :

$\sigma_d = \text{Esfuerzo de diseño}$

$S_y = \text{Resistencia a la flexion} = 320\text{MPa}$

$N = \text{factor de seguridad}$

$$\sigma_d = \frac{S_y * 0.577}{N}$$

**Ec. 2.31.**

$$\sigma_d = \frac{(320\text{MPa}) * 0.577}{6}$$

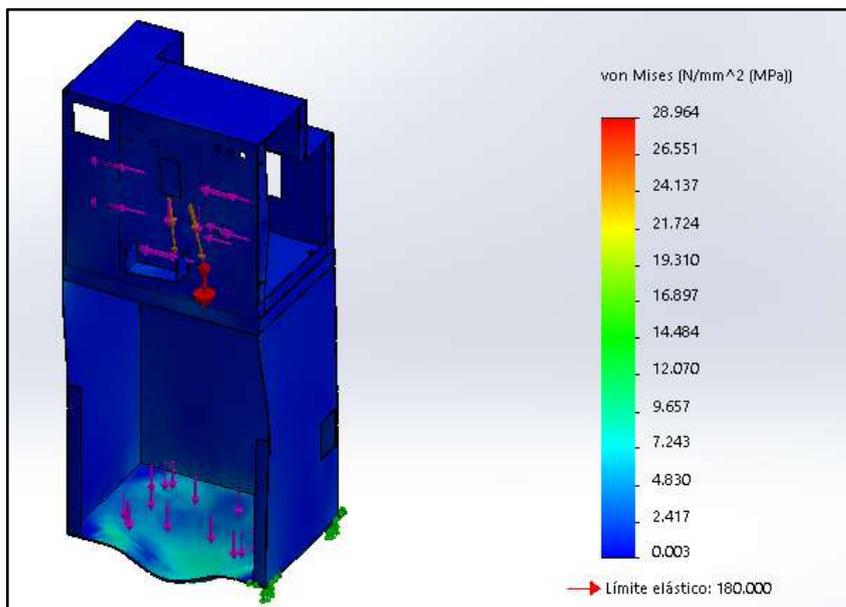
$$\sigma_d = 34.62 \text{ MPa.}$$

Con el software Solid Works se obtiene la figura 2.25 donde se puede notar que el valor según la teoría de Von Mises, donde el esfuerzo máximo es 28.964 MPa y el esfuerzo de diseño calculado es de 34.62MPa cumpliendo con la siguiente ecuación.

$$\sigma' < \sigma_d$$

**Ec. 2.32.**

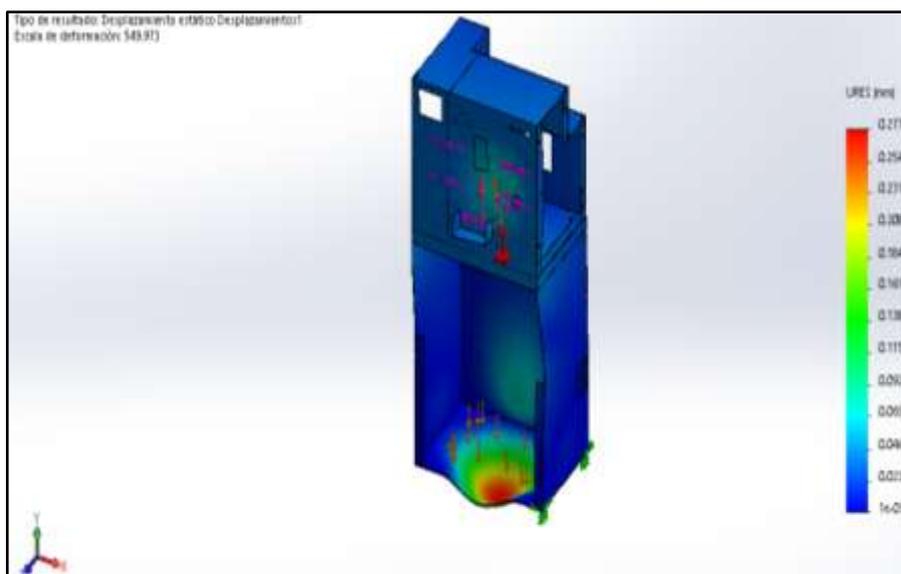
$$28.964 \text{ MPa} < 34.62 \text{ MPa}$$



**FIGURA 2.25. Análisis de esfuerzos en la estructura**

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

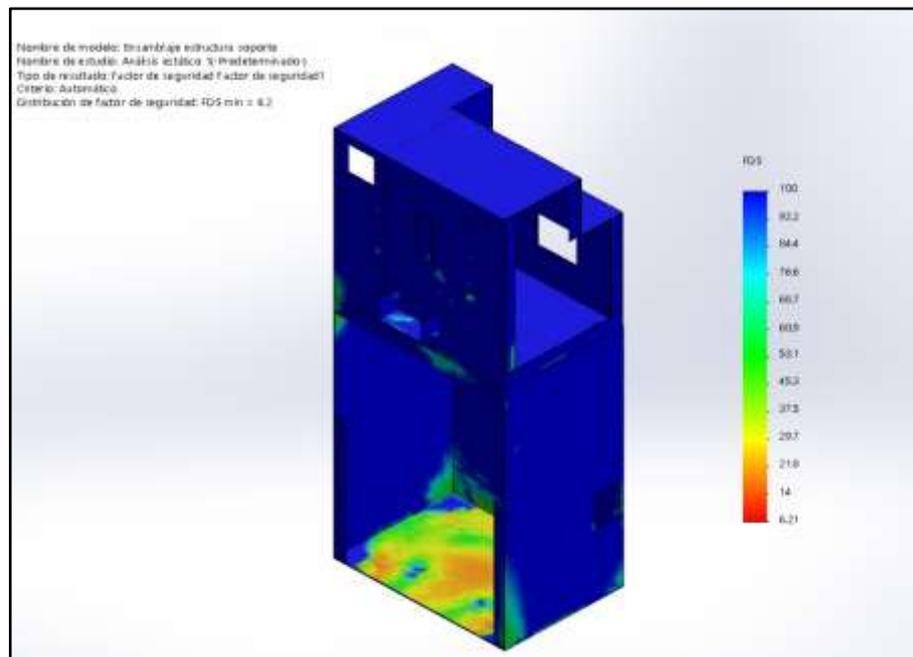
También con esta herramienta se obtuvo al análisis de deformación estático como se observa en la figura 2.26. La mayor deformación es de 0.277mm en el centro de la base de toda la estructura. Y la mínima deformación es de 0.001 la cual es despreciable.



**FIGURA 2.26. Análisis de deformación en la estructura**

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Finalmente se obtiene la figura 2.27 en donde se observa el factor de seguridad de 6.21 que está dentro de los parámetros que hemos establecido para el diseño.



**FIGURA 2.27. Factor de seguridad de la estructura**

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

## CAPÍTULO 3

### 3. IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

En el presente capítulo se detalla la construcción y ensamblaje de cada una de las partes que constituyen la máquina a partir del diseño realizado en el capítulo anterior para un adecuado funcionamiento de la máquina.

#### 3.1 CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

Para montaje eléctrico electrónico se deben considerar ciertos parámetros que permitirán el correcto funcionamiento del equipo y entregarán la seguridad necesaria al operario.

##### 3.1.1 ALIMENTACIÓN PRINCIPAL Y PUESTA A TIERRA

La alimentación principal de la máquina es monofásica a 120V obtenidos de un toma-corriente del laboratorio de control de calidad de la empresa Ecuatrán S.A.

La máquina posee un enchufe industrial hembra para energizarlo.



**FIGURA 3.1. Enchufe industrial hembra**

FUENTE: Investigación de campo.

A demás consta de una extensión para la facilidad de conectarlo a la red.



**FIGURA 3.2. Enchufe industrial hembra**

FUENTE: Investigación de campo.

Una parte primordial en la seguridad es la conexión a tierra de todo el equipo debido al alto voltaje que se maneja en la prueba de rigidez dieléctrica, esta conexión a tierra se realiza a través de un terminal (figura 3.3) ubicado en la parte inferior de la máquina, sabiendo que en el laboratorio existen 2 extensiones para descarga a tierra, lo que facilito dicha instalación.



**FIGURA 3.3. Conector a tierra de la máquina.**

FUENTE: Investigación de campo.

### 3.1.2 CONDUCTOR ELÉCTRICO

Un adecuado calibre del conductor eléctrico nos permitirá tener la seguridad durante el funcionamiento de la máquina tanto en la etapa de control como la de potencia.

#### a) CONTROL

De acuerdo a las características del conductor de calibre 18 AWG (tabla 3.1) se determinó que este es el ideal para el cableado de control.

**TABLA 3.1. Características del cable de calibre 18 AWG**

<b>Calibre</b>	<b>18 AWG</b>
Sección	0,82 mm <sup>2</sup>
Espesor Aislamiento	0,76 mm
Diámetro Exterior	2,54 mm
Corriente	6 A

Fuente: Electrocables. Cable de cobre TW. Recuperado de:

<http://electrocable.com/productos/cobre/TW.html>

#### b) POTENCIA

Los principales elementos del sistema eléctrico de potencia de la máquina constituyen el motor trifásico para recolección del alambre y el transformador elevador de 1KVA.

El motor trifásico es el elemento que consume más corriente 4A este valor fue medido con una pinza amperimétrica. El valor de esta corriente fue tomada como referencia para la selección del conductor del circuito de potencia y debido a la existencia de un conductor calibre AWG #14 (tabla 3.2) en la bodega de la empresa se optó por su utilización.

**TABLA 3.2. Características del cable de calibre 14 AWG**

<b>Calibre</b>	<b>14 AWG</b>
Sección	2,08 mm <sup>2</sup>
Espesor Aislamiento	0,76 mm
Diámetro Exterior	3,15 mm
Corriente	10 A

Fuente: Electrocables. Cable de cobre TW. Recuperado de:  
<http://electrocable.com/productos/cobre/TW.html>

### **3.1.3 SISTEMA DE CONTINUIDAD**

Este sistema permite realizar la prueba de continuidad al esmaltado del alambre de bobina mediante la interacción de los circuitos diseñados y dispositivos seleccionados.

El objetivo de este sistema es detectar las discontinuidades o fallas existentes en el esmaltado para su tratamiento en el PLC.

#### **a) FUENTE DE 1500 VDC**

A partir del diseño de la fuente de 1500 VDC, se realizó la placa electrónica en baquelita como se indica la misma que posee tres borneras.

1. Bornera de alimentación 120 VAC
2. Bornera de salida positiva 1500 VDC
3. Bornera de salida negativa 1500 VDC



**FIGURA 3.4. Fuente 1500 VDC**

FUENTE: Investigación de campo.

La entrada de este circuito se alimenta al momento de accionarse el contactor KM1, entregando 1500 VDC a la salida de la placa, los mismos que están conectados a dos resistencias que realizan un divisor de tensión al momento de detectar una falla, caso contrario permanecerán en circuito abierto.



**FIGURA 3.5. Resistencias de descarga y divisor**

FUENTE: Investigación de campo.

A partir del divisor de tensión, se obtiene el voltaje de comparación que ingresa al circuito comparador. Además una resistencia de descarga elimina el voltaje existente a la salida de la fuente de 1500 VDC cuando se apaga el circuito.

El cableado completo de la fuente y las resistencias se detallan en el ANEXO H.

## b) CABLEADO DE LOS CONTACTOS POSITIVO Y NEGATIVO DE LA FUENTE DE L500 VDC

El contacto positivo (figura 3.6) se obtiene de la salida de la resistencia de  $1M\Omega$ , el mismo que se conecta al carrete de recolección del alambre por medio de un rodamiento ubicado en el eje aislado proveniente de la caja reductora.



**FIGURA 3.6. Contacto positivo**

FUENTE: Investigación de campo.

El contacto negativo se adquiere de la salida de la resistencia de  $6.8K\Omega$  pasando por el circuito de control para finalmente conectar a los contactos de agua y escobillas.



**a) Contacto negativo agua      b) Contacto negativo escobillas**

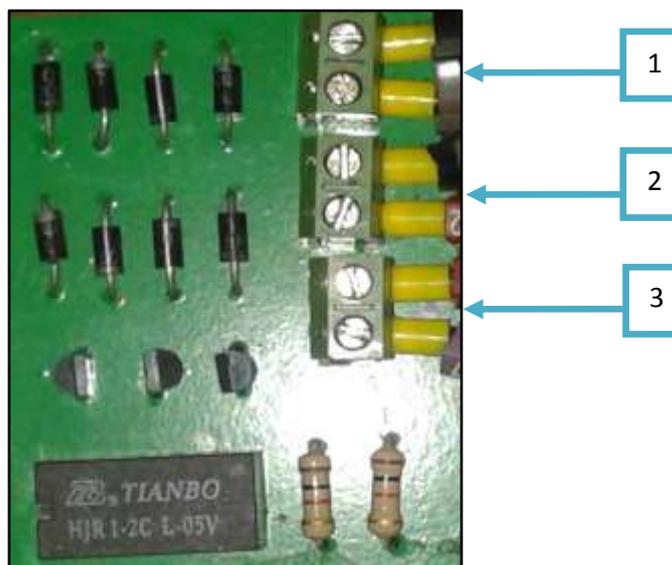
**FIGURA 3.7. Contactos negativos**

FUENTE: Investigación de campo.

### c) CABLEADO DEL CIRCUITO COMPARADOR

Como se indicó en la sección 2.2.1 este circuito recibe el voltaje de la resistencia más pequeña del divisor de tensión para realizar una comparación y emitir una señal de falla del alambre. La placa consta de tres borneras:

1. Bornera de entrada de voltaje de la resistencia
2. Bornera de alimentación de 5V
3. Bornera de señal de entrada del PLC.



**FIGURA 3.8. Circuito comparador**

FUENTE: Investigación de campo.

El plano de conexiones de la placa se encuentra en el ANEXO H.

### d) CABLEADO DEL MOTOR TRIFÁSICO PARA RECOLECCIÓN DE ALAMBRE

En primer lugar debemos cablear el transformador de 120V a 220V, la salida de este transformador alimenta el variador de frecuencia.

El cableado del transformador (figura 3.9) se realizó con enchufes por facilidad de conexión.



**FIGURA 3.9. Cableado de transformador**

FUENTE: Investigación de campo.

Este transformador se energiza a partir del accionamiento del contactor KM2, encendiendo el variador de frecuencia.



**FIGURA 3.10. Variador de frecuencia**

FUENTE: Investigación de campo.

Las salidas del variador de frecuencia se conectan a los bornes de entrada del guarda-motor F1, los bornes de salida de este guarda-motor

están conectados directamente al motor trifásico que se encuentra en conexión Delta.



**FIGURA 3.11. Motor trifásico**

FUENTE: Investigación de campo.

El diagrama de conexión completo se indica en el ANEXO H.

#### **e) CABLEADO DE SENSORES PARA DETECCIÓN DE ALAMBRE**

Teniendo en cuenta la ubicación de las poleas en las que se detectará el movimiento, se tuvo que separar los sensores de sus respectivos circuitos de acondicionamiento.

Los sensores se ubican en la parte más próxima a las poleas para lo que se tuvieron que realizar agujeros extras en la carcasa de la máquina (figura 3.12).



**FIGURA 3.12. Ubicación sensor óptico**

FUENTE: Investigación de campo.

La placa de acondicionamiento cuenta con tres borneras, estas son:

1. Bornera de señal de entrada a PLC
2. Bornera de conexión del sensor
3. Bornera de alimentación 5V



**FIGURA 3.13. Circuito de acondicionamiento de sensor óptico**

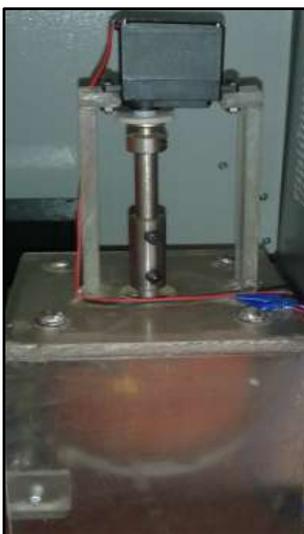
FUENTE: Investigación de campo.

### 3.1.4 SISTEMA DE RIGIDEZ DIELECTRICA

El objetivo de esta prueba es registrar el valor del voltaje de ruptura del esmalte del alambre de bobina. El elemento principal de esta prueba es el transformador elevador de 120V a 18KV.

### a) CABLEADO DE VARIAC

Para aumentar y disminuir el voltaje automáticamente se acopló un servo motor trucado de 5V al eje del VARIAC. El motor está ubicado en la parte superior de una estructura de acrílico, mientras que el VARIAC se encuentra en la parte inferior. La estructura se construyó con acrílico para evitar el rastreo de voltaje.



**FIGURA 3.14. Estructura de acrílico de VARIAC y motor**

FUENTE: Investigación de campo.

La entrada del VARIAC (figura 3.15) se conecta a 120V a través del borne1 (fase) y el borne2 (neutro) al momento de activarse el contactor KM3.



**FIGURA 3.15. Conexiones de VARIAC**

FUENTE: Investigación de campo.

El voltaje variable a la salida del VARIAC se obtiene entre el borne1 (fase) y el borne3 (neutro), los mismos que se conectan al devanado primario del transformador, sabiendo que existe una resistencia Shunt (figura 3.16) en serie a dicho devanado.



**FIGURA 3.16. Resistencias Shunt**

FUENTE: Investigación de campo.

Además en esta estructura se ubicaron dos finales de carrera mecánicos (figura 3.17) con el objetivo de emitir señales de inicio y fin enlazadas al PLC.



**FIGURA 3.17. Finales de carrera mecánicos**

FUENTE: Investigación de campo.

El plano de conexiones del VARIAC se encuentra en el ANEXO H.

## b) CABLEADO DE CIRCUITO DE DETECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

Una vez realizado el diseño se procedió a fabricar el circuito en la placa de baquelita. La placa consta de tres borneras que se indican a continuación:

1. Bornera de alimentación 5V
2. Bornera de conexión a resistencia Shunt
3. Bornera de señal de entrada al PLC



**FIGURA 3.18. Circuito de detección de sobre-corriente**

FUENTE: Investigación de campo.

El cableado se realizó de acuerdo como se indica en el ANEXO H.

## c) CABLEADO DEL TRANSFORMADOR

La alimentación del transformador proviene de la salida del VARIAC como se mencionó en la sección 3.1.4.a.

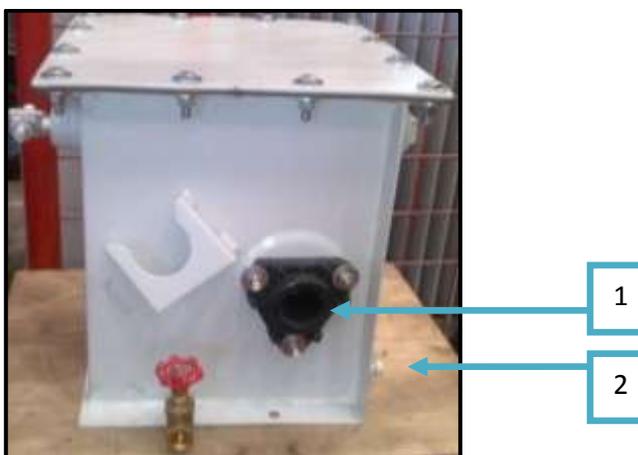


**FIGURA 3.19. Cara frontal del transformador**

FUENTE: Investigación de campo.

La salida del transformador consta de dos terminales:

1. Terminal de alto voltaje
2. Terminal de tierra.



**FIGURA 3.20. Cara lateral del transformador**

FUENTE: Investigación de campo.

Para el cableado de alto voltaje se utilizó un conductor con aislamiento de 20 KV (figura 3.22) que pasa a través de un bushing insert (figura 3.21). El bushing insert es un elemento especial de aislamiento que evita rastreos de voltaje.



**FIGURA 3.21. Bushing insert de aislamiento**

FUENTE: Investigación de campo.



**FIGURA 3.22. Cable de aislamiento**

FUENTE: Investigación de campo.

Finalmente el conductor de alto voltaje se conecta al terminal 1 del bushing cerámico que es el soporte del alambre en la prueba de rigidez dieléctrica. El terminal de tierra del transformador está conectado al terminal de tierra de la estructura de la máquina y al terminal 2 del bushing cerámico.



**a) Parte superior**



**b) Parte inferior**

**FIGURA 3.23. Bushing cerámico**

FUENTE: Investigación de campo.

#### d) CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA ENTRADA ANALÓGICA AL PLC

De acuerdo al diseño el circuito consta en su primera etapa de un pequeño transformador reductor 110/6V, que se encuentra ubicado dentro de una caja de plástico con sus respectivas borneras de conexión (figura 3.24).



**FIGURA 3.24. Caja de plástico**

FUENTE: Investigación de campo.

La segunda parte del acondicionamiento consiste de la rectificación, filtrado y protección de la señal. La placa de este circuito consta de dos borneras:

1. Bornera de alimentación desde transformador reductor
2. Bornera de señal para entrada analógica del PLC.



**FIGURA 3.25. Circuito de acondicionamiento para entrada analógica**

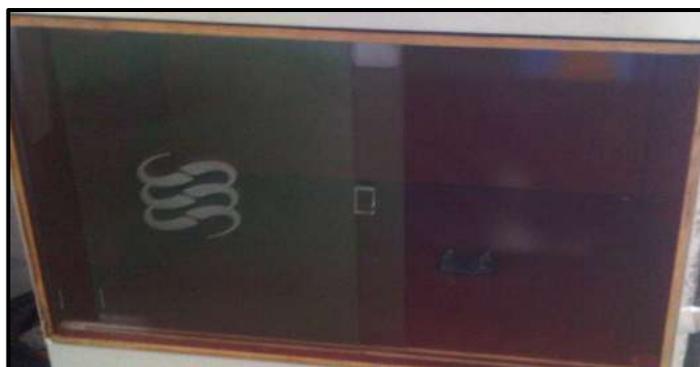
FUENTE: Investigación de campo.

### e) URNA PARA PRUEBA DE RIGIDEZ

El espacio destinado para realizar la prueba de rigidez dieléctrica en donde se manejan altos voltajes deben tener las seguridades correspondientes. El principal objetivo es aislar la estructura de metal para evitar rastreos de voltaje, para ello se fabricó una urna con planchas de baquelita (figura 3.26).

El espesor de estas planchas es de 10mm., este material es un excelente aislante para el alto voltaje como se indica en el ANEXO I.

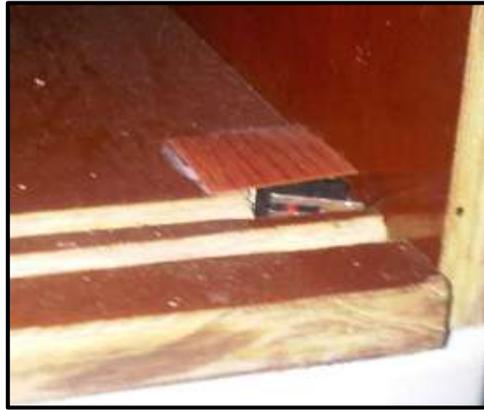
A demás para introducir la muestra de alambre dentro de la urna se colocaron dos ventanas deslizantes de vidrio templado en la parte frontal de la misma.



**FIGURA 3.26. Urna de baquelita con ventanas de vidrio templado**

FUENTE: Investigación de campo.

Como una medida de seguridad se ubicó un final de carrera en el extremo del recorrido de la ventana (figura 3.27).



**FIGURA 3.27. Final de carrera de seguridad**

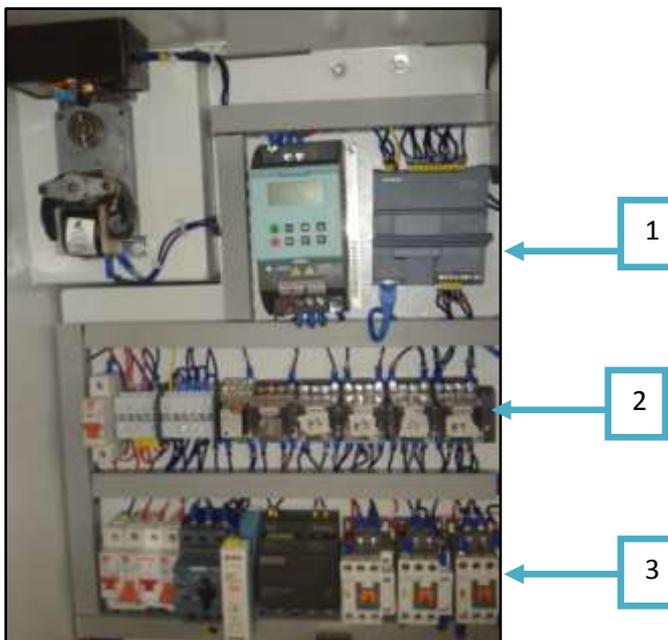
FUENTE: Investigación de campo.

### **3.1.5 MONTAJE DE TABLERO DE CONTROL**

Para el montaje del tablero de control se utilizó canaleta ranurada plástica con dimensiones de 2.5 x 2.5 cm. para mejorar estéticamente el cableado. Además para la fijación de los elementos se utilizó 3 segmentos de riel din.

Los elementos de protección, maniobra y control están distribuidos sobre la superficie de metal. En esta superficie se tienen 3 secciones principales que se observan a continuación:

1. Variador de frecuencia y PLC.
2. Borneras y Relés.
3. Breakers, Guarda motor, Fuentes de Alimentación y Contactores.



**FIGURA 3.28. Cara frontal del tablero de control**

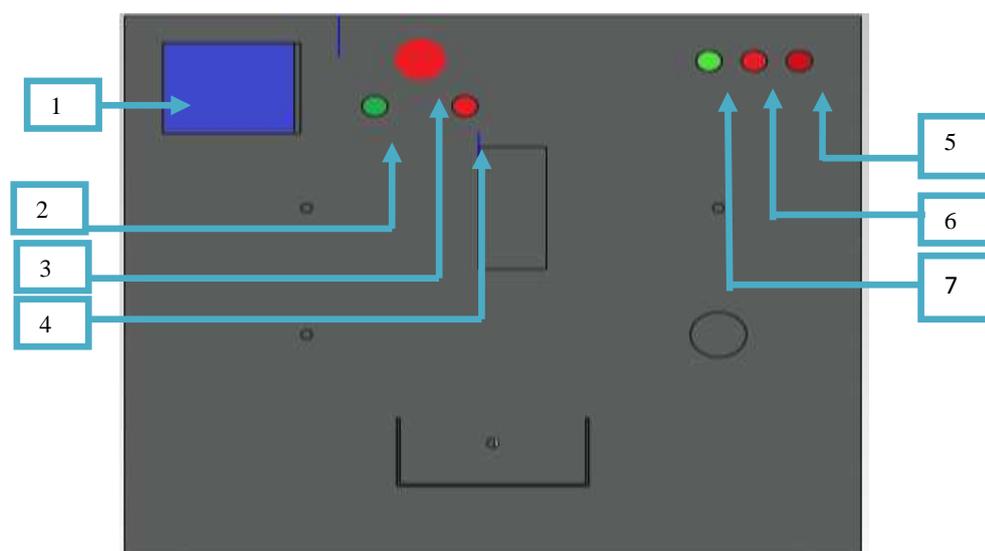
FUENTE: Investigación de campo.

### 3.1.6 MONTAJE DEL PANEL DE CONTROL

A continuación se presentan los botones de encendido y apagado de la maquina en conjunto con las luces piloto que permiten verificar el estado de la misma.

A demás se puede observar la ubicación del panel touch (1) el cual va a permitir la visualización del proceso.

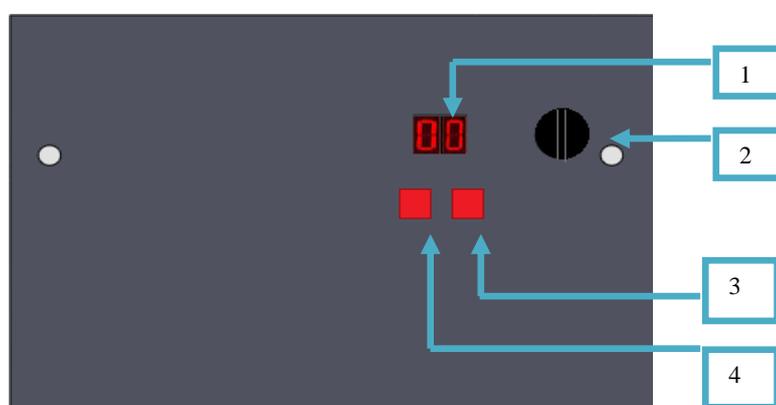
1. Pantalla Touch
2. Pulsador encender equipo
3. Pulsador apagar equipo
4. Luz piloto equipo encendido
5. Luz piloto prueba de continuidad activa
6. Luz piloto prueba de rigidez activa.



**FIGURA 3.29. Cara frontal de la máquina**

FUENTE: Investigación de campo.

En una de las caras laterales de la máquina se ubican los botones de mando para el encendido y apagado del motor de la trenzadora de alambre



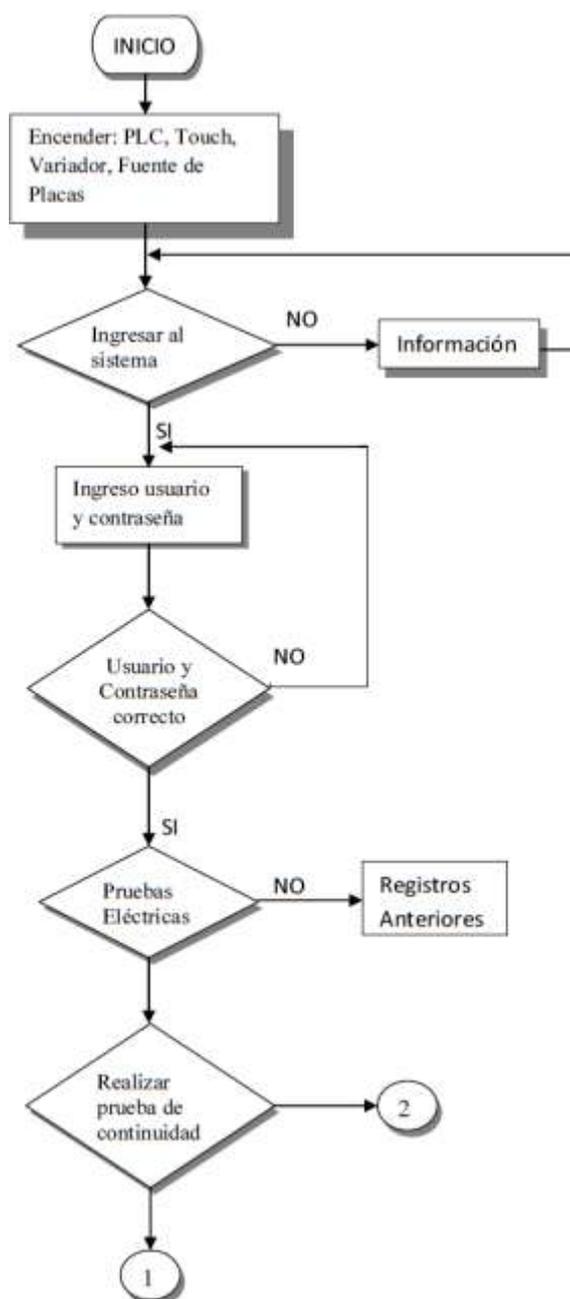
**FIGURA 3.30. Cara frontal de la máquina**

FUENTE: Investigación de campo.

1. Display indicador de número de vueltas
2. Selector encendido/apagado
3. Pulsador encendido de motor
4. Reset contador

### 3.1.7 PROGRAMACIÓN PLC S7-1200

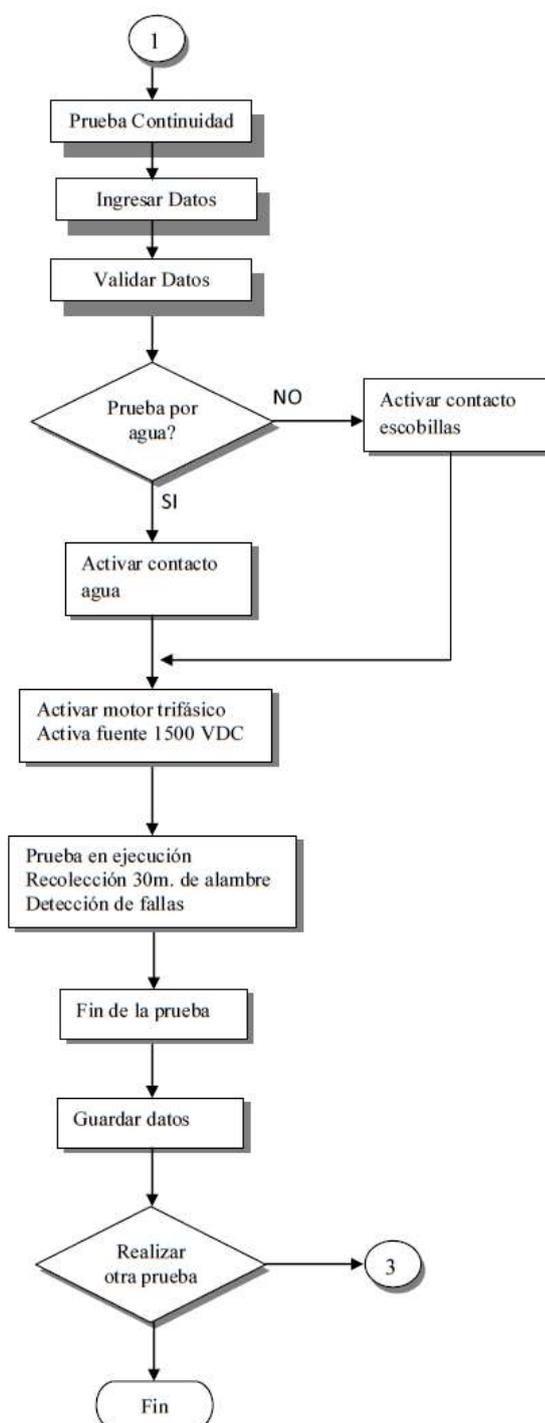
El proceso de funcionamiento inicial de la máquina se presenta en el diagrama de flujo de la figura 3.31.



**FIGURA 3.31. Diagrama de flujo del funcionamiento principal**

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

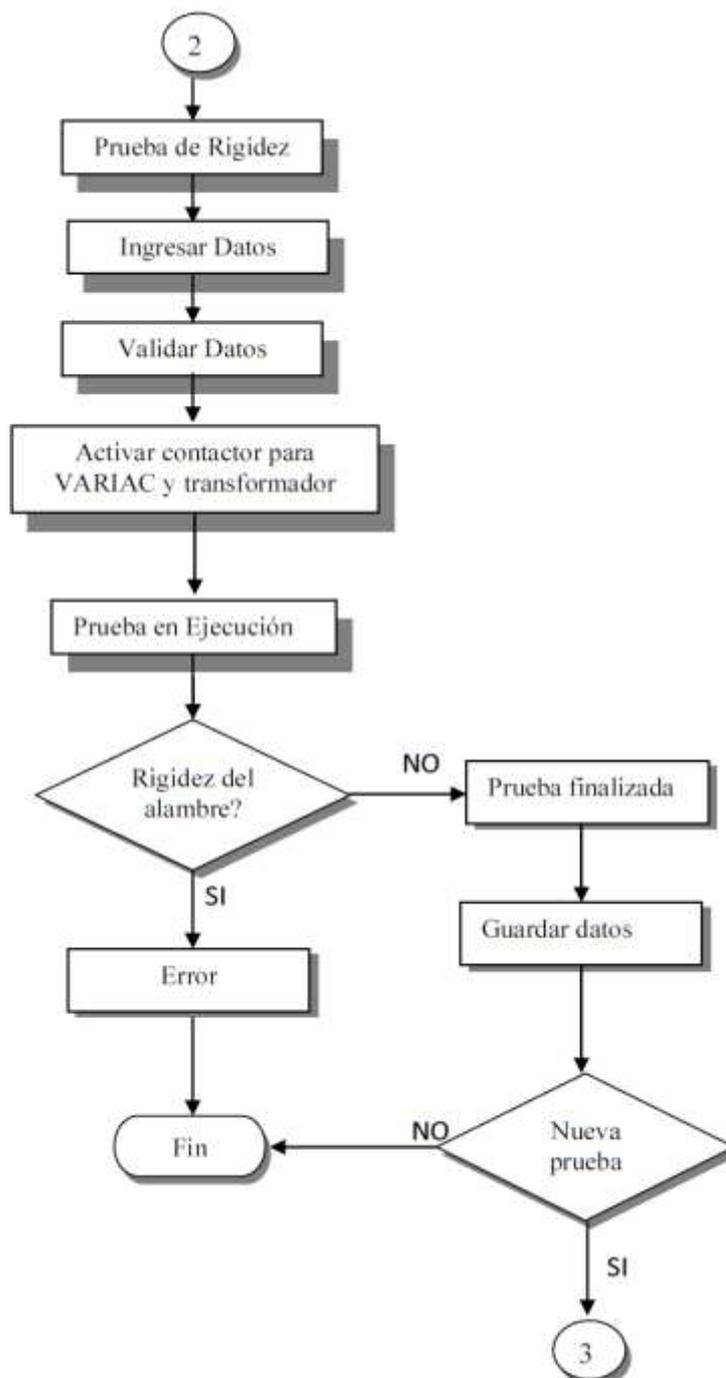
El proceso de funcionamiento de la prueba de continuidad se detalla en el diagrama de la figura 3.32.



**FIGURA 3.32. Diagrama flujo de la prueba de continuidad**

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

El diagrama de flujo que indica el proceso de funcionamiento de la prueba de rigidez dieléctrica se presenta en la figura 3.33.



**FIGURA 3.33.** Diagrama de flujo del proceso de la prueba de rigidez

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

En el ANEXO K se puede encontrar el algoritmo de programación para el PLC.

### **3.1.8 PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMICS G110**

El variador de frecuencia será empleado para regular la velocidad del motor trifásico utilizado en la prueba de continuidad. La programación se la realizó mediante el BOP (Basic Operator Panel). En el ANEXO J se pueden observar los parámetros configurados para obtener el funcionamiento necesario.

## **3.2 MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO**

La parte fundamental del sistema mecánico es la estructura que aloja los distintos elementos eléctricos electrónicos para su funcionamiento.

### **3.2.1 CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA PRINCIPAL**

La estructura principal se dividió en dos partes para su construcción.

La primera parte consiste en la fabricación de la estructura que soporta el transformador y la urna de baquelita (figura 3.34). El material utilizado en esta construcción es el acero al carbono AISI 1008 laminado en caliente con espesor de 2.4 mm.



**FIGURA 3.34. Estructura inferior**

FUENTE: Investigación de campo.



**FIGURA 3.35. Estructura inferior con urna de baquelita**

FUENTE: Investigación de campo.

Posteriormente se procede con la fabricación de la segunda parte de la estructura, donde se ubicarán el tablero de control, la HMI y los elementos mecánicos para la prueba de continuidad (figura 3.36).



**FIGURA 3.36. Estructura superior**

FUENTE: Investigación de campo.

Finalizada la construcción de la estructura se procede a pintarla en las cámaras de pintura de la empresa.

La pintura utilizada fue pintura en polvo anticorrosiva para evitar el deterioro de la estructura. Para completar el proceso se colocaron las llantas para la movilidad de toda la estructura (figura 3.37).



**FIGURA 3.37. Estructura con pintura y llantas colocadas**

FUENTE: Investigación de campo.

### 3.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL EJE

De acuerdo al diseño de la sección 2.7.4. se procedió a construir el eje el cual tiene un recubrimiento de nylon en un segmento para evitar el contacto eléctrico de los 1500 VDC con la caja reductora.

### 3.2.3 CONSTRUCCIÓN CILINDRO

El cilindro de recolección de alambre se construyó de acuerdo a las medidas del diseño. Fue fabricado a partir de un cilindro hueco, una tapa fija soldada y una tapa móvil. Estas tapas evitarán que el alambre salga de su trayectoria durante la recolección.



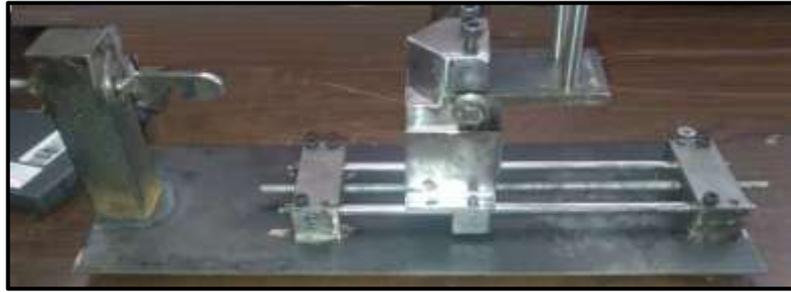
**FIGURA 3.38. Carrete de recolección de alambre**

FUENTE: Investigación de campo.

### 3.2.4 CONSTRUCCIÓN DE TRENZADORA

De acuerdo a las dimensiones que se indican en el ANEXO F se procedió a construir cada una de las partes que conforman la trenzadora de alambre.

Luego de la fabricación de las piezas por separado se realizó el ensamble (figura 3.38).



**FIGURA 3.39. Trenzadora de alambre**

FUENTE: Investigación de campo.

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento del mecanismo se llevó las partes a la cámara de pintura.

### **3.2.5 ENSAMBLAJE FINAL**

La máquina totalmente ensamblada con la ubicación de todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, lista para las pruebas de funcionamiento se puede observar en la figura 3.40.



**FIGURA 3.40. Máquina ensamblada**

FUENTE: Investigación de campo.

### **3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HMI**

#### **3.3.1 PROGRAMACIÓN COMFORT PANEL KTP 400**

El programa que se utilizó para el desarrollo de la HMI es el TIA PORTAL V12.0 y la Touch Panel Ktp400. El software es muy amigable para la programación siendo de gran ayuda en el desarrollo de la aplicación.

A continuación se indican las principales pantallas de la interfaz gráfica de la máquina:

El siguiente gráfico consiste en la pantalla inicial de la interfaz, con el Logo de la empresa y un dibujo de la máquina real.



**FIGURA 3.41. Pantalla principal**

FUENTE: Investigación de campo.

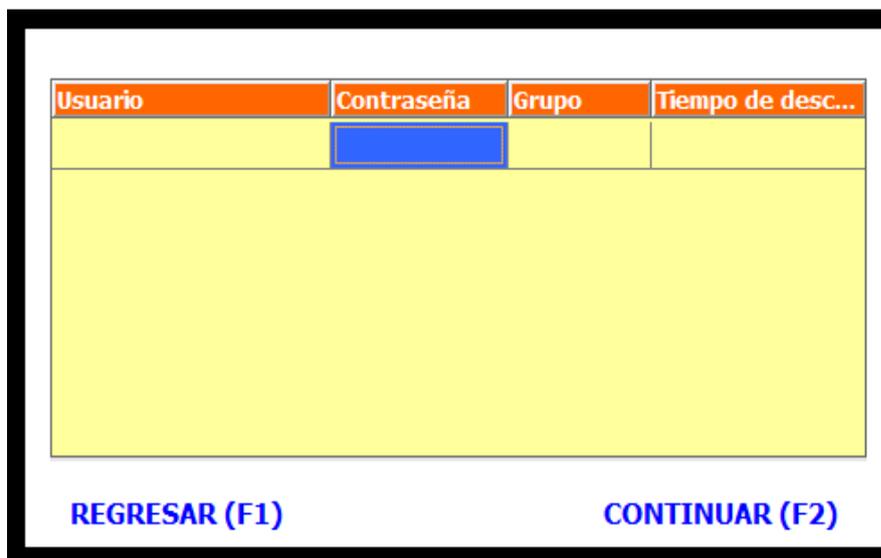
De la pantalla anterior se puede acceder a ventanas, la primera es información del proyecto (figura 3.42), donde consta el título y los autores del mismo.



**FIGURA 3.42. Pantalla de información**

FUENTE: Investigación de campo.

La segunda ventana a la que se puede acceder desde la pantalla inicial es la verificación y autenticación de usuario y contraseña, parte importante para la seguridad en la utilización del equipo.

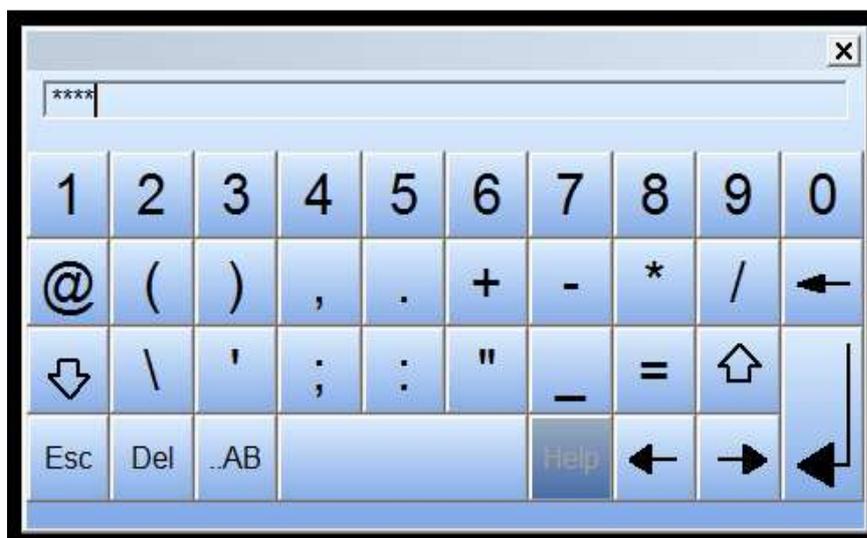


Usuario	Contraseña	Grupo	Tiempo de desc...

REGRESAR (F1) CONTINUAR (F2)

**FIGURA 3.43. Pantalla de ingreso de usuario**

FUENTE: Investigación de campo.



\*\*\*\*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
@	(	)	,	.	+	-	*	/	←
↓	\	'	;	:	"	_	=	↑	↕
Esc	Del	.AB			Help	←	→	↶	

**FIGURA 3.44. Pantalla de ingreso de contraseña**

FUENTE: Investigación de campo.

Una vez ingresados correctamente los datos de usuario y contraseña se despliega una ventana en donde se accede a las pruebas eléctricas o se cierra la sesión.



**FIGURA 3.45. Pantalla de ingreso a pruebas eléctricas**

FUENTE: Investigación de campo.

En el menú de las pruebas eléctricas se puede acceder a Prueba de Continuidad o Prueba de Rigidez Dieléctrica.



**FIGURA 3.46. Pantalla para selección de prueba**

FUENTE: Investigación de campo.

Luego de seleccionar cualquiera de las dos pruebas, se despliega una ventana en donde se pide el ingreso de los datos de la muestra de alambre que será sometida a la respectiva prueba. Los datos necesarios son: Proveedor, Lote de la bobina y calibre AWG del alambre.

The screenshot shows a software interface for data entry. The title is 'DATOS DE LA MUESTRA DE ALAMBRE'. On the left is the 'ECUATRAN SA' logo. The interface has three main input areas: 'PROVEEDOR:' with a wide text box, 'CALIBRE:' with a small box containing '0', and 'LOTE:' with a medium text box. At the bottom, there are two orange buttons with arrows, labeled 'F1' and 'F2'.

**FIGURA 3.47. Pantalla para ingreso de datos de la muestra**

FUENTE: Investigación de campo.

Si la prueba que se desea realizar es de continuidad, luego del ingreso de los datos se tiene dos opciones, realizar la prueba por contacto en agua o contacto por escobillas.



**FIGURA 3.48. Pantalla para la selección de contacto**

FUENTE: Investigación de campo.

Si la prueba que se desea realizar es de rigidez dieléctrica, luego del ingreso de los datos, la ventana que se despliega es la de iniciar la prueba.



**FIGURA 3.49. Pantalla de inicio de prueba de rigidez dieléctrica**

FUENTE: Investigación de campo.

Para la visualización del voltaje que se aplica en la prueba de rigidez dieléctrica, se tiene un visualizador digital y un analógico.



**FIGURA 3.50. Pantalla de visualización de voltaje**

FUENTE: Investigación de campo.

El procedimiento para realizar las pruebas de continuidad y rigidez dieléctrica al esmaltado del alambre de cobre se puede encontrar en el ANEXO M.

## CAPÍTULO 4

### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 PRUEBAS A LAS FUENTES DE ALTO VOLTAJE

Después de haber realizado la construcción y el montaje de las fuentes se procedió a realizar mediciones de los voltajes entregados.

##### 4.1.1 PRUEBAS DEL TRANSFORMADOR

###### a) PRUEBA DE TTR

Con la ayuda de un medidor de relación de transformación (TTR) se verificó el voltaje de salida del transformador.



**FIGURA 4.1. Valor de relación de la transformación obtenido**

FUENTE: Investigación de campo.

El valor medido con el TTR es de 150.85. Teniendo en cuenta que el voltaje de entrada del transformador es 120V, determinamos que el voltaje de salida es de 18 KV.

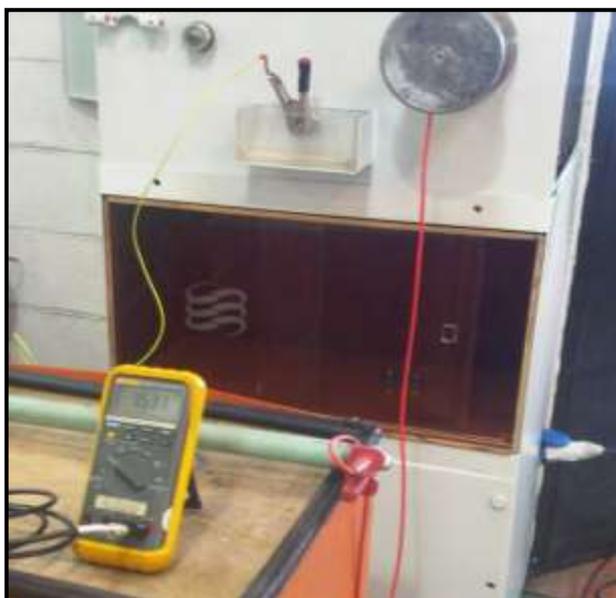
## b) PRUEBA DE INCREMENTO DE VOLTAJE

Una vez realizada la conexión del VARIAC y el acople del servomotor al eje del mismo, se verifica el funcionamiento del incremento de voltaje con la ayuda de un multímetro, el voltaje que varía entre 0 – 120V alimenta al devanado primario del transformador.

### 4.1.2 PRUEBA DE FUENTE DE 1500 VDC

Para la verificación del voltaje entregado por el circuito multiplicador, se utilizó una punta de pruebas para alto voltaje con su respectivo multímetro. Los terminales de esta punta fueron conectados en el contacto positivo (tambor metálico) y en el contacto negativo (cuba de agua).

El voltaje obtenido en esta prueba fue de 1533V.



**FIGURA 4.2. Medición de Alto Voltaje DC**

FUENTE: Investigación de campo.

## 4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC Y TOUCH SCREEN

En primer lugar se verifica que el voltaje de alimentación del PLC sea adecuado para su correcto funcionamiento.



**FIGURA 4.3. Medición Voltaje de alimentación del PLC**

FUENTE: Investigación de campo.

Se verifica que el Led indicador del PLC se encuentra en estado RUN sin presentar inconvenientes. A demás se verifica el estado lógico de las entradas digitales del PLC las mismas que se pueden visualizar mediante sus Leds indicadores.

También se realizó pequeños programas para comprobar el funcionamiento de las salidas.



**FIGURA 4.4.Verificación de estado del PLC.**

FUENTE: Investigación de campo.

Para el funcionamiento de la touchscreen se realiza la medición del voltaje entregado por la fuente Siemens de 24V.



**FIGURA 4.5.Verificación de voltaje de salida de fuente Siemens**

FUENTE: Investigación de campo.

La comunicación entre el PLC y la TouchScreen se lo realiza gracias a sus puertos Ethernet con la ayuda de un cable de red.

Una vez realizada la conexión entre estos dispositivos se realizaron pruebas para verificar que a través de los controles de la pantalla touch se puedan encender y apagar las salidas del PLC.



**FIGURA 4.6.Conexión entre el PLC y el Pantalla Touch.**

FUENTE: Investigación de campo.

### 4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE PRUEBA DE CONTINUIDAD

Se procedió a colocar una muestra de alambre en el mecanismo para la realización de una prueba de continuidad y se obtuvieron los siguientes resultados:

El tambor metálico el cual esta acoplado al eje del motor recoge el alambre sin inconvenientes, mientras el motor trifásico está en funcionamiento.

Las poleas que sirven como guías del alambre realizaron su función correctamente y con esto se verificó que el alambre consiga el contacto necesario con el agua y con las escobillas.



**FIGURA 4.7. Sistema mecánico para prueba de continuidad**

FUENTE: Investigación de campo.

Se comprobó que después de la recolección de los 30 metros de alambre, este no se desparrama debido a la guía inicial que se colocó al inicio del recorrido.



**FIGURA 4.8. Guía inicial en el trayecto del alambre**

FUENTE: Investigación de campo.

#### **4.4 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO**

La calibración se la realizó después de comprobar que cada dispositivo que forma parte del equipo esté funcionando adecuadamente.

El proceso de calibración se lo realizó en dos partes: para prueba de continuidad y para prueba de rigidez.

##### **4.4.1 CALIBRACION PRUEBA DE CONTINUIDAD**

Para la calibración de la prueba de continuidad del equipo construido se volvió a comprobar que entre los contactos tambor y agua o escobillas exista 1500 VDC  $\pm 2\%$ .

Posteriormente para verificar que el número de fallas detectadas por el equipo construido sea semejante al número de fallas del sistema antiguo se procedió a realizar pruebas bajo las mismas condiciones en ambos sistemas.

Se escogió 3 calibres de cables diferentes para someterlos a la prueba de continuidad.

En primer lugar se realizó las pruebas mediante el sistema manual utilizado en la fábrica, obteniendo los siguientes resultados:

**TABLA 4.1. Número de fallas obtenidas en distintos calibres***(Prueba de continuidad mediante método antiguo).*

<b>Calibre AWG #</b>	<b># de fallas método antiguo</b>
17	15
17	16
17	14
17	14
18	0
18	0
18	1
18	0
25	4
25	4
25	6
25	7

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Posteriormente se tomaron 3 muestras nuevas de los mismos carretes de alambre, para probarlas en el equipo construido mediante el contacto de agua, y se obtuvieron los siguientes resultados.

**TABLA 4.2. Número de fallas obtenidas en distintos calibres***(Prueba de continuidad en equipo nuevo método agua).*

<b>Calibre AWG #</b>	<b># de fallas equipo (método agua)</b>
17	17
17	16
17	15
17	17
18	0
18	0
18	1
18	1
25	5
25	8
25	9
25	7

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Como se puede observar en la Tabla 4.1 y 4.2 el número de fallas detectado por el equipo construido es semejante al número de fallas del sistema antiguo.

No se pueden obtener los mismos resultados debido a que el esmaltado del alambre no es totalmente uniforme en todo el carrete y por lo tanto no se pueden encontrar el mismo número de fallas en cada muestra de 30m, pero si valores semejantes.

Finalmente se tomaron 3 muestras nuevas de los mismos carretes de alambre, para probarlas en el equipo construido mediante el contacto de escobillas, y se obtuvieron los siguientes resultados.

**TABLA 4.3. Número de fallas obtenidas en distintos calibres***(Prueba de continuidad en equipo nuevo método escobillas).*

<b>Calibre AWG #</b>	<b># de fallas equipo (método escobillas)</b>
17	4
17	3
17	5
17	4
18	0
18	0
18	0
18	0
25	2
25	2
25	3
25	2

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Debido a la diferencia de resultados entre el contacto por agua y el contacto por escobillas, la empresa hace énfasis en realizar la prueba únicamente por agua debido a que las fallas detectadas con este tipo de contacto son mucho más confiables para la política de calidad que persigue la empresa.

#### **4.4.2 CALIBRACION PRUEBA DE RIGIDEZ**

La prueba de rigidez consiste en obtener el valor de voltaje de ruptura del esmalte del alambre, gracias a la entrada analógica del PLC se pudo registrar este valor.

Debido a que la entrada analógica del PLC recibe una entrada en bits se procedió a realizar un escalamiento para visualizar el valor de voltaje en KV, siendo esta la principal calibración para esta prueba.

Los datos obtenidos para el escalamiento se encuentran en el ANEXO L, los mismos que fueron procesados mediante un algoritmo en el PLC.

Se realizó una medición directa en el devanado secundario del transformador con una punta de alto voltaje para comprobar que el escalamiento este correcto, comparando de esta manera el valor visualizado en la pantalla y el valor entregado por el multímetro.

**TABLA 4.4. Número de fallas obtenidas en distintos calibres**

<b>Voltaje medido (KV)</b>	<b>Voltaje Visualizado en la Pantalla (KV)</b>	<b>% Error</b>
3.1	3.2	3.2
5.4	5.3	1.85
7.7	7.8	1.29
10.3	10.1	1.94
12.5	12.7	1.6
14.6	14.8	1.36
17.8	17.6	1.12
		<b>Promedio de Error :</b>
		<b>1.77%</b>

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Después del proceso de calibración se realizaron pruebas de rigidez dieléctrica a muestras de alambre con el sistema antiguo y con el equipo nuevo.

**TABLA 4.5. Número de fallas obtenidas en distintos calibres***(Prueba de rigidez dieléctrica mediante sistema antiguo).*

<b>Calibre AWG #</b>	<b># de fallas</b>
17	7
17	7
17	6
17	7
18	12
18	11
18	12
18	12

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

**TABLA 4.6. Número de fallas obtenidas en distintos calibres***(Prueba de rigidez dieléctrica mediante equipo nuevo).*

<b>Calibre AWG #</b>	<b># de fallas</b>
17	7.5
17	7.3
17	7.7
17	7.1
18	11.9
18	11.5
18	12.3
18	12.7

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Como se puede observar en las tablas 4.5 y 4.6 existe relación en los voltajes de ruptura del esmalte de las muestras de alambre. Es importante aclarar que en el sistema antiguo la visualización del voltaje era analógica por lo que existían errores en el operador al momento de registrar este valor.

## 4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.5.1 ANTECEDENTES PRUEBA DE CONTINUIDAD

La prueba de continuidad que se realizaba mediante el sistema manual presentaba varios inconvenientes para el personal de laboratorio de la empresa.

El inconveniente principal era el tiempo total para la ejecución de la prueba detallado a continuación.

**TABLA 4.7. Duración de una prueba de continuidad método antiguo**

<b>Tarea</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Recolección de 1 muestra	4
Registro de datos	1
Ejecución de la prueba	10
<b>Total</b>	<b>15</b>

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Como se observa en la Tabla 4.7 el tiempo estimado para realizar la prueba a una sola muestra de alambre era de 15 minutos. Debido a que el número total de muestras a ser analizadas para un mismo calibre es de 13, el tiempo aumenta considerablemente para la revisión de todas las muestras. Este proceso resultaba agotador para el operario encargado de realizar esta actividad, tardándose hasta 2 días en concluir todas las pruebas.

Otro de los inconvenientes en la prueba de continuidad era la disponibilidad inmediata del megger debido a que este equipo es utilizado principalmente para pruebas en transformadores.

#### 4.5.2 ANTECEDENTES PRUEBA DE RIGIDEZ

En esta prueba el inconveniente principal era la disponibilidad del equipo del voltaje aplicado para realizar la prueba, debido a que este equipo se usa frecuentemente para una de las pruebas principales en los transformadores. Sabiendo que los voltajes que se manejan en esta prueba son altos resultaba un tanto peligroso para el personal de laboratorio que se encontraba realizando sus actividades normales en los transformadores.

#### 4.5.3 BENEFICIOS OBTENIDOS CON EL EQUIPO

Con el funcionamiento del nuevo equipo para las pruebas de continuidad y rigidez se redujo notablemente el tiempo para la ejecución de dichas pruebas.

En primer lugar para la prueba de continuidad se elimina el tiempo de recolección de la muestra de alambre ya que el equipo recoge directamente del carrete los 30 metros a ser probados.

**TABLA 4.8. Duración de una prueba de continuidad método nuevo**

<b>Tarea</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Recolección de 1 muestra	0
Registro de datos	1
Ejecución de la prueba	2
<b>Total</b>	<b>3</b>

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

Como se puede observar en la Tabla 4.6, el tiempo para la ejecución de una prueba es de 3 minutos, reduciendo en un 80% el tiempo anteriormente utilizado por el operario.

Hay que tener en cuenta que se elimina el tiempo perdido de cuando los equipos no se encontraban disponibles, ya que la máquina es totalmente independiente.

#### 4.6 ESTUDIO ECONÓMICO

El presente proyecto conto con el apoyo económico de la empresa Ecuatrán S.A, presentando a continuación el costo de cada uno de los elementos utilizados para la construcción del mismo.

**TABLA 4.9. Costo de elementos del equipo**

Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total(\$)
TouchScreen Siemens KTP 400	1	980	980
PLC S7-1200	1	320	320
Variador de Frecuencia	1	220	220
Motor-reductor	1	415	415
Fuente Siemens 24V	1	90	90
Fuente 24V	1	25	25
Guarda-motor	1	40	40
Contactora	3	15	45
Transformador 110V/220V	1	50	50
Relé 5ª	6	6	36
Breakers	5	6	30
Micro – Relé	8	3	24
Sensores ópticos	3	2	6
Elementos electrónicos			75
Escobillas de Carbono	1	300	300
Garruchas	4	16	64
Cilindro Metálico	1	30	30
Poleas Guías	4	3	12
Ventanas de vidrio templado	2	12	24
<b>Total</b>			<b>\$2786</b>

ELABORADO POR: Acosta, J y Garcés, A.

La materia prima existente en la empresa fue acero al carbono AISI 1008, planchas de baquelita, razón por la cual no se detalla en los gastos el valor de estos materiales.

Después de saber en detalle el costo de cada uno de los elementos del equipo y la materia prima proporcionada por la empresa se observa que el gasto es mínimo para el beneficio que se obtiene y es un apoyo muy significativo para el laboratorio de la empresa.

#### **4.7 VALIDACION DE LA HIPOTESIS**

La hipótesis planteada para el proyecto es:

“El diseño y construcción de un equipo automático permitirá la realización de las pruebas de continuidad del esmaltado y rigidez dieléctrica del alambre redondo de cobre en menor tiempo y mayor confiabilidad”

Finalizada la construcción e implementación del proyecto en el laboratorio de control de calidad de la empresa Ecuatrán S.A se verifica la hipótesis comprobando la reducción de los tiempos en las pruebas de continuidad y rigidez dieléctrica del alambre esmaltado de cobre.

Para la prueba de continuidad se quitó la toma de muestras manual, debido a que la máquina recibe el alambre directamente del carrete y con esto se evita la posibilidad de daño en la muestra del alambre.

A demás se pueden realizar pruebas al alambre en cualquier instante sin necesidad de utilizar los equipos necesarios para las pruebas de los transformadores como el megger o el equipo de voltaje aplicado que no siempre están disponibles.

Con este proyecto se eliminó el esfuerzo físico realizado por el operario al ejecutar las pruebas y se optimizó el sistema de registro de datos de cada carrete de alambre a través de las prestaciones de la TouchScreen.

## CAPÍTULO 5

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño y construcción de la máquina de pruebas de continuidad y rigidez dieléctrica del alambre esmaltado, permitiendo de esta manera evitar el uso de los equipos que se utilizan normalmente para los transformadores.
- En la prueba de continuidad la norma NEMA MW-35C indica que el contacto debe ser por escobillas de carbono, pero la empresa no confía en los resultados obtenidos, por lo que la empresa se mantiene en el uso del contacto por agua. El equipo quedó calibrado para este método.
- La calibración para la prueba de continuidad se realizó mediante una comparación de resultados entre el sistema antiguo y el sistema de la máquina, obteniendo valores similares en los resultados.
- El número de fallas en cada muestra de alambre de un mismo carrete en la prueba de continuidad no es el mismo pero si se mantiene en un rango, debido a que cada muestra que se prueba es nueva y el esmaltado no es totalmente continuo.
- El equipo cuenta con un sistema de detección de presencia del alambre para la prueba de continuidad. En caso de que el alambre se rompa la máquina se detiene automáticamente.
- La prueba de rigidez dieléctrica del alambre esmaltado antes se realizaba con un equipo que contaba con un voltímetro analógico, por

lo que el valor del voltaje de rigidez registrado por el operador no era el exacto. El equipo construido registra el valor exacto del voltaje de rigidez del alambre, permitiendo visualizar este valor en la pantalla.

- El operador tiene mayor seguridad en la prueba de rigidez dieléctrica gracias al equipo construido. Anteriormente la prueba resultaba peligrosa por el alto voltaje que se suministra a la muestra de alambre para provocar la ruptura del esmalte.
- La implementación de la HMI con una interfaz amigable permitió que los operadores manipulen la maquina sin inconvenientes.
- El registro de datos de las muestras de alambre se almacenen en una memoria USB externa para una posterior verificación de resultados.
- Los resultados obtenidos tanto en la prueba de continuidad como en la de rigidez dieléctrica en la maquina son más confiables que los resultados obtenidos en el sistema anterior.
- Se redujo notablemente hasta en un 80% el tiempo de realización de las pruebas, permitiendo de esta manera que se prueben más muestras de alambre sin inconvenientes y con tan solo un operador.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar mantenimiento preventivo en el tablero de control, para prolongar la vida útil de la máquina.
- Trimestralmente realizar una prueba de TTR al transformador de 18KV, ubicado en la parte inferior de la máquina.
- Verificar siempre la conexión a tierra que debe tener la máquina para la prueba de rigidez dieléctrica.
- No olvidar retirar el esmalte del extremo del alambre antes de ajustarlo al tambor metálico.
- Durante la prueba de continuidad del alambre no tocar el tambor metálico que recoge el alambre, ya que en el tambor tiene el contacto positivo de 1500V DC.
- Verificar que el nivel del agua en la cuba para la prueba de continuidad se encuentre en el indicado.
- Durante la prueba de rigidez dieléctrica del alambre, mantenerse a dos pasos de distancia de la máquina, ya que el voltaje que se le aplica al alambre está en el rango de 0 a 18KV.
- La muestra de alambre que ingresa a la urna de baquelita para la prueba de continuidad debe contar con un par de aislantes ubicados en los extremos superiores de la muestra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

Chapman, S. (2000). *Máquinas Eléctricas*. (págs. 61). Tercera edición.

Gelabert, P. & Prados, E. (1974), *Transformadores-Convertidores*. (págs. 26-31). Barcelona: CEAC S.A.

Kosow, I. (1993). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*. (págs.503). México: Prentice- Hall.

Wildi, Theodore. (2007), *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia*. (págs. 235). México: Pearson

### LINKOGRAFÍA

Canto, C. (2006). *Facultad de Ciencia*. Recuperado el 14 de Junio de 2013, de [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/APUNTES\\_CURSO/CAPITUL2.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/APUNTES_CURSO/CAPITUL2.PDF)

CENTElsa (2014). *Alambre Magneto*. Recuperado el 03 de Julio de 2013, de CENTElsa: <http://www.centelsa.com.co/index.php?lp=0001>

Cobo, R. (2008). *HMI*. El ABC de la automatización. Recuperado de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>

ELEKTRISOLA (2012). *Cobre*. Recuperado el 24 de Junio de 2013, de ELEKTRISOLA: <http://www.abet.org/special-reports/>

EMB (2011). *Una definición para HMI*. Recuperado el 12 de Diciembre del 2013, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=837>

Escobar, I. (2010). *Tecnológico De Estudios Superiores Del Oriente Del Estado De México*. Recuperado de <http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2010.022.pdf>

GUILENIA (2012). *Normas NEMA*. Recuperado el 15 de Mayo del 2013, de GUILENIA:[http://www.guilenia.com/new/interup\\_4l.asp](http://www.guilenia.com/new/interup_4l.asp)

Peña, J. (2003). *Introducción a los Autómatas Programables*. Aragon: UOC.

ProCobre. (2010). Tubos de Cobre. Recuperado de: [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fprocobre.org%2Fes%2Fwp-content%2Fplugins%2Fdownload-monitor%2Fdownload.php%3Fid%3D142&ei=k86VU8\\_ELYWWyASxvYBA&usg=AFQjCNHhwYrXAnw6euKm9Bnm6YDY6ZOu7Q&bvm=bv.68445247,d.aWw](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fprocobre.org%2Fes%2Fwp-content%2Fplugins%2Fdownload-monitor%2Fdownload.php%3Fid%3D142&ei=k86VU8_ELYWWyASxvYBA&usg=AFQjCNHhwYrXAnw6euKm9Bnm6YDY6ZOu7Q&bvm=bv.68445247,d.aWw)

SPELLMAN (2014). *Multiplicador de Voltaje*. Recuperado el 14 de Julio de 2013, de <http://www.spellmanhv.com/es/Technical-Resources/Faqs/Technology-Terminology/What-is-a-voltage-multiplier.aspx>

Siemens. (2013). Manual de sistema SIMATIC STEP 7 Professional V12.0 SP1. Recuperado de: [https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/68113678/STEP\\_7\\_Basic\\_V12\\_esES\\_es-ES.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=68113788&forcedownload=true](https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/68113678/STEP_7_Basic_V12_esES_es-ES.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=68113788&forcedownload=true)

Tecnoquim.(2013). Plásticos de Ingeniería. Recuperado de: [http://www.tecnoquim.com.mx/productos/baquelita\\_Micarta/Baquelita.pdf](http://www.tecnoquim.com.mx/productos/baquelita_Micarta/Baquelita.pdf)

# ANEXOS

## ANEXOS

**ANEXO A1:** Dimensiones en milímetros para el alambre de cobre desnudo y con capa aislante

**ANEXO A2:** Voltajes mínimos de ruptura del esmaltado del alambre de cobre.

**ANEXO B1:** Especificaciones técnicas del diodo 1N4007.

**ANEXO B2:** Especificaciones técnicas del diodo zener 1N4738.

**ANEXO C:** Circuito de inversión de giro y PWM.

**ANEXO D1:** Especificaciones técnicas del Sensor óptico TCRT 5000.

**ANEXO D2:** Especificaciones técnicas del Sensor óptico tipo herradura.

**ANEXO E1:** Especificaciones técnicas del PLC- S7 1200 - CPU 1212C.

**ANEXO E2:** Especificaciones técnicas del Panel Touch KTP400 Comfort.

**ANEXO E3:** Especificaciones técnicas del variador de frecuencia del SINAMICS G110.

**ANEXO F:** Propiedades físicas del cobre.

**ANEXO G:** Planos Mecánicos.

**ANEXO H:** Planos eléctricos.

**ANEXO I:** Propiedades de la baquelita.

**ANEXO J:** Parámetros de configuración del Variador de frecuencia.

**ANEXO K:** Programación del PLC.

**ANEXO L:** Bits recibidos por el PLC vs Voltaje en el VARIAC.

**ANEXO M:** Manual de Usuario.