

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PRUBADOR DE LIQUIDOS DIELECTRICOS

Pablo Murillo P.
Jorge Idrovo I.

Hernando Merohán M.
Universidad de Cuenca

RESUMEN

Este trabajo describe el diseño y construcción de un probador de líquidos dieléctricos, constituido básicamente de: a) un transformador de alta tensión, b) un mecanismo de control y c) una cámara de pruebas.

Este proyecto ha permitido dotar a la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cuenca, de un equipo que sirva como elemento didáctico, pudiendo además ponerse a disposición del público.

INTRODUCCION

Existe un criterio generalizado sobre una serie de factores que pueden calificar como bueno a un equipo eléctrico: elevado rendimiento, alta confiabilidad, seguridad de funcionamiento, alta relación potencia-peso y precio competitivo. Pero han aparecido nuevas tendencias en ciertas ramas de la ingeniería, imponiéndose el lema "hacer lo que sea necesario, a cualquier precio"; y siendo los objetivos cada vez más ambiciosos y dotados de mayor imaginación, es común que la pregunta más importante sea "¿puede hacerse todo lo que nos propongamos?", en vez de "¿cuál será su rendimiento?".

El ingeniero que se encuentra ante el problema de diseñar un equipo para un uso particular, sabe que al margen de como lo realice las cualidades de dicho equipo no serán excelentes, comparadas con las de los tipos convencionales. Ante este problema tropieza con el inconveniente de no encontrar bibliografía a la cual acudir; además una de las mayores dificultades en el diseño de un equipo o de una máquina está en el hecho de que se presentan más variables que ecuaciones, por lo que para intentar resolver dicho problema es preciso imponer ciertos supuestos, basados fundamentalmente en la experiencia obtenida en el diseño de otros equipos de estructura semejante. Por tal motivo, para estas realizaciones el proyectista tiene que ser una combinación de artista y científico, ya que debe conocer toda la experiencia acumulada sobre el tema y al mismo tiempo desarrollar una labor creativa.

Para cumplir el objetivo, se creyó conveniente tomar como referencia trabajos que de alguna manera están relacionados con el tema realizado, de igual manera se pidió asesoramiento a personas con conocimientos sobre el equipo construido y sobre los componentes del mismo. Además se tuvo dificultades en encontrar todos los elementos componentes necesarios debido a lo reducido de nuestro mercado, lo que determinó que ciertos componentes sean el resultado de la habilidad e ingenio de los constructores.

1. GENERALIDADES DEL EQUIPO

1.1 GENERALIDADES

Un Probador de líquidos dieléctricos es un conjunto de elementos que conforman un equipo, cuya función es evaluar el estado de los aisladores líquidos para poder dar un diagnóstico sobre los mismos. La evaluación se la realiza produciendo el rompimiento dieléctrico del líquido entre dos electrodos metálicos sumergidos en este, a una distancia que depende de la norma utilizada (en este trabajo es la ASTM 877) determinándose el valor real del voltaje de rompimiento a una frecuencia de 60 Hz.

1.2 PARTES CONSTITUTIVAS DE UN PRUBADOR DE LIQUIDOS DIELECTRICOS

Las partes constitutivas de un probador de líquidos dieléctricos son básicamente 3: transformador de alta tensión, sistema de control y cámara de pruebas, cuyo diseño debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Tener un tamaño cómodo para que su movilidad sea lo más fácil posible.
- Estar en condiciones de dar servicio cuando éste sea requerido.
- Cumplir con requisitos de efectividad en lo que a resultados se refiere.
- Tener alta confiabilidad y seguridad

2. CALCULO Y DISEÑO DEL TRANSFORMADOR

2.1 GENERALIDADES

Dadas las características del equipo, el componente en el cual se tomó las mayores precauciones tanto en lo que se refiere a su diseño así como también en su construcción, es el transformador, cuya finalidad es la de suministrar los diferentes niveles de tensión hasta alcanzar el rompimiento en la muestra bajo prueba. Este elemento se ha diseñado para obtener hasta 50 KV. en alta tensión.

Una característica importante del transformador cuando se encuentra en funcionamiento es que lo hace en vacío, induciéndose en su lado secundario tensiones que son aplicadas a los electrodos metálicos hasta que se produzca la disrupción en la muestra bajo prueba; en ese momento el transformador se ve sometido a un corto circuito a través de la muestra a prueba, el mismo que tendrá que ser despejado inmediatamente. Esta forma de actuar del transformador hace que no se considere su calentamiento.

Las características del transformador se sujetan a la norma ASTM 877.

A continuación se indican los datos del transformador:

ENFRIAMIENTO: Natural.
FRECUENCIA: 60 Hz.
NUMERO DE FASES: 1
POTENCIA: 2 KVA.
TENSION PRIMARIA : 110 V.
TENSION SECUNDARIA: 50000 V.

El diagrama de la figura 1 muestra la forma de conexión de los devanados del transformador, cuyo primario está compuesto de dos bobinas conectadas en paralelo, y el secundario de dos bobinas en serie con el punto medio aterrado para obtener una tensión simétrica con respecto a tierra.

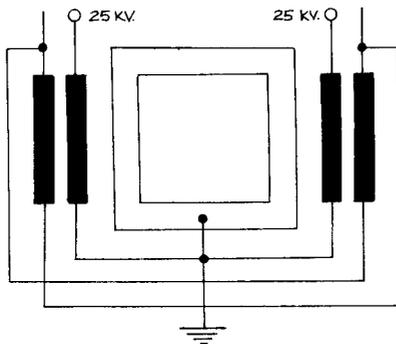


Fig. 1

2.2 NUCLEO Y DEVANADOS

La experiencia ha demostrado que los transformadores de columnas (o tipo núcleo) en comparación con los acorazados, tienen una construcción más simple, permiten montar y aislar a los devanados con mayor facilidad, especialmente los de alta tensión, y, son, en caso de cortocircuito, más resistentes mecánicamente. Estas son las razones por las cuales se decidió construir el núcleo de este tipo.

Para construir el núcleo se utilizó chapa de acero al silicio de grano orientado tipo M4, de espesor 0.2794 mm. con doble aislamiento (espesor de chapa con aislamiento = 0.29 mm.), la cual puede tomar una densidad de flujo de 14 a 16 KGauss, este material produce unas pérdidas de 0.85 Watt/Kg y su saturación se produce aproximadamente a los 20 KGauss.

El flujo magnético necesario en el núcleo para cumplir con las especificaciones del transformador es:

$$\phi = 0.00274 \text{ Wb}$$

tomando una densidad de flujo de 1.5 Wb/m² se tiene:

$$\begin{aligned} \text{sección neta} &= 18.266 \text{ cm}^2 \\ \text{sección bruta} &= 20.757 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Para transformadores de pequeña potencia la sección más apropiada para el núcleo es la de tipo rectangular, por lo que se adoptó esta configuración.

ancho de las chapas = 38.1 mm.

número de chapas para las columnas y culatas = 168

Conocido el flujo magnético y la frecuencia, se obtiene el voltaje inducido en cada espira

$$V/\text{esp.} = 0.7299$$

Considerando que las caídas de tensión debidas a la resistencia del bobinado y a la dispersión, son pequeñas, las dos tensiones, la de entrada V1 y la de salida V2 están prácticamente en fase, por lo tanto $V1 \times I1 = V2 \times I2$ y $V1/N1 = V2/N2$; se obtiene:

número de espiras para el devanado primario = 150.5 esp.

número de espiras para el devanado secundario = 68500 esp.

De la figura 1 y de los resultados obtenidos, el devanado primario se compone de 2 bobinados conectados en paralelo, cada uno de ellos de 150.5 espiras y el secundario, al ser de dos bobinas en serie cada una de ellas tiene 34250 espiras.

Tomando una densidad de corriente de 3.8 A/mm² se obtiene:

Sección del conductor para el devanado primario = 2.39 mm² (conductor #13 AWG).

Debido a que la corriente que circula "normalmente" por el devanado primario es la de vacío, se utilizó un conductor de menor calibre el mismo que tiene capacidad para soportar por corto tiempo la corriente de corto circuito que se produce al momento de la interrupción en el circuito secundario; para determinar el nuevo calibre del conductor, se realizó un análisis de tiempos cortos, concluyéndose que el conductor #15 AWG está en capacidad de soportar una corriente superior a la que circulará en condiciones de corto circuito y durante un tiempo relativamente grande, por lo que se eligió este conductor para el devanado primario.

Sección del conductor para el devanado secundario = 0.0105 mm² (conductor #36 AWG).

2.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA VENTANA

Para el dimensionamiento de la ventana se debe tener presente el espacio ocupado por el cobre y el material aislante en las dos columnas y sobre todo el valor de la tensión a la que va a funcionar el transformador. Esto implica el cálculo del volumen del cobre que se encuentra en la ventana tanto del devanado primario como del secundario, tomando en cuenta el espacio necesario para el aislamiento. Para determinar el dimensionamiento de la ventana se requiere de experiencia y criterio práctico.

1.2.1.1 ALTURA DE LA COLUMNA

La altura de la columna viene determinada por la razón entre los amperios-vuelta del primario (o secundario) y la densidad lineal en A-esp/cm.

$$N_p \times I_p = N_s \times I_s = 2739.96 \text{ A-v}$$

Tomando una densidad lineal de 105 A-esp/cm. se obtiene:

$$\text{Altura de la columna} = H = 26 \text{ cm.}$$

Los 26 cm. es la altura existente entre culatas. La longitud total de los devanados no ocupa toda la altura de la columna (260 mm.) debido a que se han considerado ciertas distancias de seguridad, siendo estas las siguientes:

- Espacio entre culatas y bordes del carrete (16 mm.).- Estos espacios (8 mm. a cada lado) sirven para aislar los bordes de los bobinados con las culatas del núcleo.

- Espacio ocupado por las bastas del papel (22 mm.).- En el papel se efectúan bastas de 11 mm., las que dan una distancia de seguridad para que no se produzca disrupción entre capa y capa de los bobinados, tomando en cuenta que en el secundario se tiene un alto voltaje. Estas a la vez sirven para evitar el corrimiento del alambre hacia el exterior.

Por lo tanto, de la altura total de la columna (260 mm.), se dispone para bobinar de una longitud de:

$$260 - 2(8) - 2(11) = 222 \text{ mm.}$$

Del análisis precedente se determina que el ancho del papel aislante para la construcción de los devanados es igual a la longitud disponible para bobinar más los espacios que ocupan las bastas, esto es :

$$\begin{aligned} \text{Ancho del papel aislante} &= 222 + 2 \times 11 \\ &= 244 \text{ mm.} \end{aligned}$$

2.2.1.2 ANCHO DE LA VENTANA

Para determinar el ancho de la ventana, se toma en cuenta el espesor ocupado por el conductor de los devanados, papel aislante y el espacio entre devanados de las dos columnas, interviniendo además varios factores como son: calidad del aceite dieléctrico en el cual va sumergido el transformador, el aislamiento de los bobinados y coeficientes de seguridad, partiendo de la tensión entre bobinados. Conocidos todos los factores anteriormente mencionados se ha determinado que un espacio de 3 cm entre los bobinados de las dos columnas garantiza el correcto funcionamiento del transformador, sin que en el futuro se presente problema alguno.

La vida útil de un transformador depende totalmente de la eficacia de su aislamiento para resistir efectos perjudiciales como por ejemplo esfuerzos mecánicos, eléctricos, etc.. Por lo tanto, un aislamiento apropiado constituye la característica más importante de la construcción de un transformador.

Con referencia al aislamiento, cabe distinguir:

1. Aislamiento entre espiras.
2. Aislamiento entre capas.
3. Aislamiento entre bobinas.
4. Aislamiento entre devanados.
5. Aislamiento respecto a masa.

El aislamiento entre devanados y el aislamiento respecto a masa, constituyen los aislamientos principales, que tienen extraordinaria importancia en los transformadores de alta tensión.

El número de espiras, diámetro del conductor y la longitud disponible para bobinar, obliga a realizar para el devanado primario dos capas aisladas entre sí, en cada columna.

En lo que se refiere al devanado secundario, desde el punto de vista económico y constructivo, el devanado continuo por paquetes es el más adecuado para el propósito perseguido. Las características del devanado secundario son:

$$\text{voltaje de cada devanado} = 25000 \text{ voltios.}$$

$$\text{número de paquetes} = 4$$

$$\text{voltaje por paquete} = 6250 \text{ V.}$$

$$\text{capas por paquete} = 8.33$$

Debido a que no se obtiene un número entero de capas por paquete, el devanado secundario se ha conformado de la siguiente manera: un paquete de 9 capas, dos paquetes de 8 capas y el último paquete de 8 capas más una de 361 espiras; la figura 2 muestra la conformación de los devanados.

El aislamiento entre primario y secundario, entre paquetes del secundario y entre capas es de papel kraft de 0.254 mm.

$$\text{aislamiento entre capas} = 1 \text{ papel.}$$

$$\text{aislamiento entre primario y secundario} = 15 \text{ capas de papel.}$$

$$\text{aislamiento entre paquetes} = 5 \text{ capas de papel.}$$

$$\text{recubrimiento final} = 10 \text{ capas de papel.}$$

En base a lo expuesto se obtiene:

$$\text{ancho de la ventana} = 93.024 \text{ mm}$$

Este espacio es el que teóricamente ocuparían los bobinados en la ventana. Durante el proceso de construcción aumentará dicho espacio debido a muchos factores, como por ejemplo: la calidad del bobinado, equipo en el que se bobina, etc.

La salida del devanado de alta tensión va aislada de tal manera que permita controlar el voltaje inducido en el devanado (25000 V.); consta de 4 spaguetis para alta tensión que soportan una tensión de 9000 V. cada uno colocados uno dentro del otro; se realiza el aislamiento de esta manera para que la alta tensión se distribuya entre varias disposiciones aislantes.

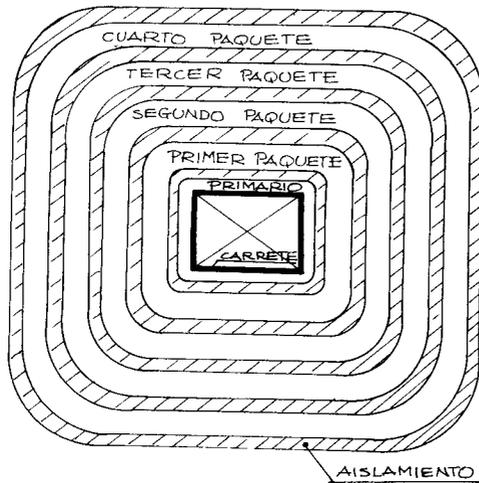


Fig. 2

El material para el núcleo al ser acero silicio de grano orientado, debe cortarse de tal manera que las uniones entre columnas y culatas presenten la reluctancia más baja posible, esto se logra realizando los cortes de las chapas a 45° respecto a la dirección del grano.

Conociendo la sección bruta, altura de las columnas y ancho de la ventana se tiene definido el núcleo; en la figura 3 se puede observar al núcleo con sus dimensiones.

El armado del núcleo se realiza trasladando 5 mm. entre chapas, de esta manera columnas y culatas forman un solo cuerpo; luego se recubren a las dos columnas y a una culata con pega epóxica Grilonit para que el conjunto adquiera consistencia; los yugos se realizan de madera de pino, sus dimensiones son:

longitud = 25 cm.
sección = 4 cm. x 2.5 cm.

Los pernos para la sujeción de los yugos son de 3/8" x 5"

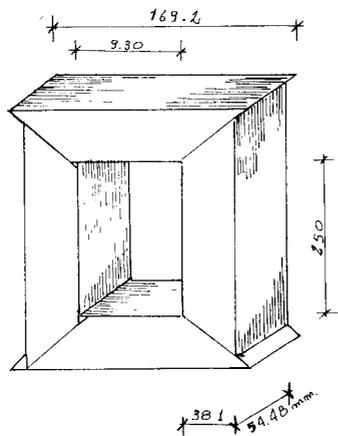


Fig. 3

2.3 TANQUE

Dadas las características del transformador, el tanque es de tipo liso; con un

criterio similar al tomado para la separación entre devanados, se determinó el distanciamiento entre devanados y tanque, siendo este de 5 cm.

Sus dimensiones se determinaron de acuerdo con los resultados obtenidos en el proceso de diseño del transformador, siendo las siguientes:

ancho = 35 cm.
altura = 42 cm.
profundidad = 24 cm.

y está construido con lámina de hierro de 2.8 mm. de espesor (figura 4).

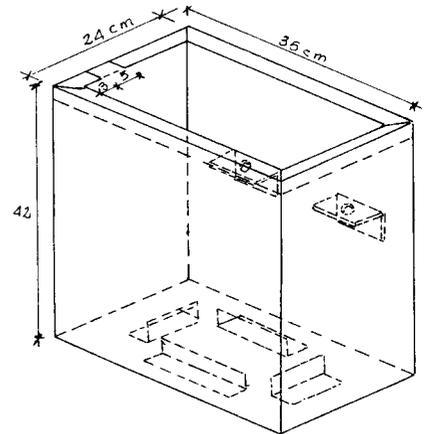


Fig. 4

La tapa del tanque se aprovecha para usarla como base para la cámara de pruebas; los terminales de puesta a tierra son pernos de 3/8" x 3/4" que van soldados al tanque, uno en la base interior, que sirve para aterrar el núcleo y el punto central del devanado secundario del transformador, y otro en la parte posterior del tanque que sirve para hacer la conexión a tierra.

Para determinar el volumen de aceite necesario, se procedió de la siguiente manera:

Se determinó el volumen total que necesitaría el tanque para llenarse de aceite hasta 3 cm. más arriba del punto más alto del transformador, y de este se resta el volumen ocupado por el transformador totalmente armado.

Cantidad necesaria de aceite = 6.5 galones

3. SISTEMA DE CONTROL

La obtención de los niveles de voltaje necesarios para someterlos a la muestra bajo prueba, su desconexión inmediata luego de producida la chispa, y la medición del valor de voltaje de descarga, son los principales objetivos del sistema de control.

Para su diseño se tuvieron los siguientes criterios:

a) Simplicidad.- Así se evitará complicaciones en la construcción y operación del sistema.

b) Eficiencia.- La actuación de todos sus componentes debe realizarse ordenadamente para garantizar su correcto funcionamiento.

c) Seguridad.- Debe proporcionar todas las garantías para una operación segura del equipo, es decir, protección tanto para el equipo como para el operador.

3.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control consta de los siguientes mecanismos:

3.2 VARIADOR DE TENSION

Este mecanismo está compuesto de un variador de tensión desde cero hasta la tensión primaria nominal del transformador (110 V), de manera que en su lado secundario se obtenga un incremento de tensión desde cero hasta su nominal (50 KV) o hasta que ocurra la disrupción; la subida de tensión debe realizarse a una razón fija de 3 KV/sg. según la norma utilizada (ASTM 877).

Debido a que el cursor del variac debe tener un movimiento continuo y uniforme durante su actuación, el elemento idóneo para hacer que actúe de esta manera es un motor eléctrico con una velocidad reducida y uniforme.

Para fijar los valores mínimo y máximo de variaciones de voltaje (0 y 110 V) que proporcione el mecanismo variador de tensión, se utilizó un sistema de levas que accionan a unos interruptores sensibles a la presión (micro switches), estas levas van montadas sobre el mismo eje de accionamiento del variac.

3.3 SENSOR DE LA DISRUPCION

Al momento de ocurrir el rompimiento de la muestra bajo prueba en el lado de alta tensión del transformador, éste queda sometido a un "corto circuito" el mismo que provoca el incremento de la corriente en su lado primario, fenómeno que sirve para detectar la presencia de la disrupción.

Para detectar la elevación de la corriente primaria debido al fenómeno anteriormente expuesto se utiliza un relé instantáneo de sobrecorriente, que abre sus contactos cuando por su bobina circula una corriente previamente determinada, superior a la corriente de vacío del transformador.

3.4 DISPOSITIVO DE MEDICION

Para determinar el voltaje de ruptura de la muestra bajo prueba, se utilizó un voltímetro conectado en el lado primario del transformador, y con escala en KV, de acuerdo con la relación de transformación determinada mediante ensayo.

Para la protección del personal se dispone de un switch que desconectará al equipo cuando la cubierta de vidrio de la cámara de pruebas, no se encuentre cerrada.

3.5 FUNCIONAMIENTO

El circuito de control funciona de la siguiente manera:

Al encontrarse el variac en la posición de reposo (0 voltios), el micro switch 1 se encuentra en la posición 2 habilitando al pulsante A e inhabilitando al pulsante B. Cuando la cubierta transparente de la cámara de pruebas está cerrada, el micro switch 3 se encuentra en la posición 1.

Al accionar el pulsante A se energiza la bobina del contactor CI que comanda al motor M, provocando su giro en el sentido adecuado para que el variac actúe subiendo su tensión de salida; el micro switch 1 pasa a la posición 1, inhabilitando al pulsante A y habilitando al pulsante B.

Al momento de producirse la disrupción en la muestra bajo prueba, por la bobina del relé R circula la sobrecorriente reflejada en el devanado primario del transformador, provocando la actuación de su contacto normalmente cerrado cortando la alimentación al contactor CI desconectando al transformador y al motor que acciona al variac. Al estar conectado el voltímetro directamente a la salida del variac y al no haberse suprimido la alimentación desde la línea queda indicando la tensión a la cual se produjo la disrupción. Si por alguna razón no ocurre la actuación del relé R, ya sea porque la muestra de prueba tiene una rigidez dieléctrica muy elevada o porque al probador se lo hizo funcionar en "vacío", el variac al llegar a la posición en la que entrega 110 voltios acciona el micro switch 2 desenergizando al contactor CI y provocando los fenómenos anteriormente expuestos.

Para regresar al mecanismo a su posición de reposo se procede de la siguiente manera:

Al encontrarse el micro switch 1 en la posición 1 y el contactor CI desenergizado, se acciona el pulsante B energizando la bobina del contactor CV que es el encargado de efectuar la inversión de rotación del motor.

Al llegar el variac a su posición de reposo actúa sobre el micro switch 1 llevándolo a la posición 2, desconectando la alimentación al contactor CV y habilitando la operación de CI e impidiendo la operación de CV.

El interruptor IG sirve para la alimentación general del mecanismo.

El sistema de control está ubicado junto al tanque del transformador, para lo cual se prolongan las paredes laterales en una longitud de 15 cm.

Los pulsantes de marcha y retorno, lámparas de señalización, interruptor general y voltímetro van montados en un panel frontal de aluminio.

La acometida del equipo se realiza con conductor tipo 2x14, con una longitud de 2.5 metros. En su extremo se colocó un enofoque para servicio pesado.

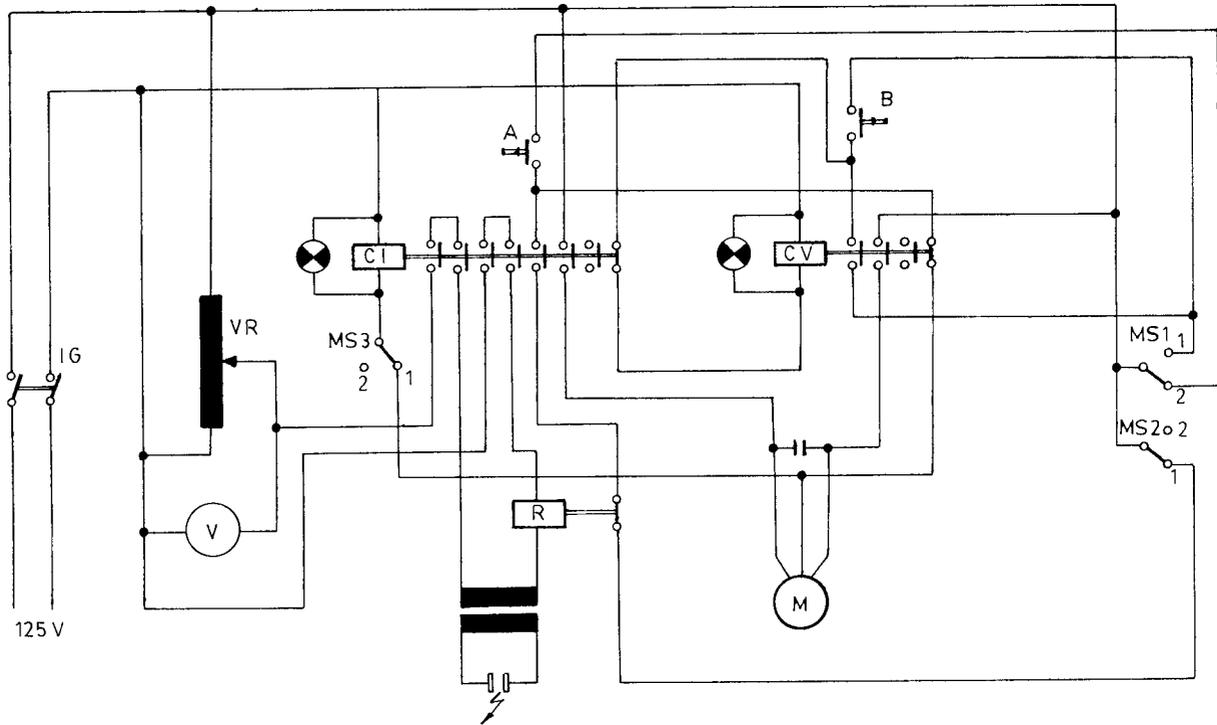


Fig. 5 Sistema de control

4. DISEÑO DE LA CÁMARA DE PRUEBAS

La cámara de pruebas es el lugar en donde se efectúan los ensayos para la evaluación del estado de cualquier líquido dieléctrico. Para dichos ensayos los líquidos dieléctricos se ven sometidos a altas tensiones, razón por la cual, el diseño se debe realizar tomando en cuenta la teoría de las altas tensiones.

Teniendo el diseño del tanque se aprovecha su configuración para ubicar, en su parte superior, la cámara de pruebas.

4.2 COMPONENTES DE LA CÁMARA DE PRUEBAS

4.2.1 BASE AISLANTE

Esta sirve como tapa del transformador y base de la cámara de pruebas.

Las dimensiones de la cámara de pruebas son las siguientes:

Largo = 35 cm.
Ancho = 24 cm,

Las que proporcionan el área suficiente para una correcta disposición de los elementos que van sobre la base. Para escoger el material adecuado se ha tomado en cuenta que tenga las siguientes propiedades:

Eléctricas

1. Alta rigidez dieléctrica.
2. Alta resistencia de aislamiento.
3. Alta constante dieléctrica.
4. Bajo factor de pérdidas dieléctricas (ángulo de pérdidas).
5. Bajo factor de potencia.
6. Alta resistencia al arco.

Mecánicas

1. Alta resistencia al choque.
2. Alta dureza.
3. Alto módulo de elasticidad.
4. Fácil maquinado.

Físicas

1. Bajo peso específico.
2. Baja higroscopicidad.

Térmicas

1. Bajo calor específico.
2. Que no sea inflamable.

Químicas

1. Alta resistencia al ozono.
2. Alta resistencia a los aceites.
3. Alta resistencia a la luz solar.

Mediante un análisis técnico-económico de los materiales que se disponían en el mercado, se eligió el Grilón pues posee las características necesarias para este propósito, el espesor de la base es 1 cm.

La base aislante va sobre un marco de ángulos metálicos, su sujeción se realiza mediante pernos de 1/4" x 1".

4.2.2 CUBA

La cuba es el recipiente en el cual se coloca la muestra a analizarse, tiene un volumen efectivo de 300 a 500 ml. (la cantidad de líquido dieléctrico no debe ser inferior a 250 ml.), se sitúa en la parte central de la base aislante; es de vidrio y de forma cilíndrica.

Si bien el volumen de la cuba debe ser el indicado anteriormente (200 a 300 ml.), para el trabajo realizado dependió de las disposición y configuración de los elementos que contienen a los electrodos; tomando en cuenta lo indicado las dimensiones mínimas de la cuba son:

Diámetro = 115 mm.
Altura = 60 mm.

4.2.3 PASATAPAS

Los pasatapas son elementos en cuya parte superior se encuentran los terminales de salida de los devanados de alta tensión sobre los que descansan los brazos de sujeción de los electrodos.

Considerando que, para tensiones comprendidas entre 36 KV. y 110 KV. se emplean pasatapas con relleno de pasta compound (resinas sintéticas), se ha considerado conveniente que el material a emplearse para la construcción de los pasatapas sea la resina sintética (Grilón).

Debe tenerse presente que los pasatapas van asentados sobre la base aislante, y su sujeción no se realiza mediante bridas, lo que hace que no existan esfuerzos eléctricos.

Debido a la configuración de la cuba y de los elementos que contienen los electrodos, la altura de los pasatapas es de 65 mm.

La localización de los pasatapas en la base aislante se indica en la figura 6, en donde $d = 17.5$ cm. y $h = 12$ cm.

Con la disposición de los pasatapas así determinada, el aislamiento entre los terminales de salida de alta tensión, y entre estos y masa queda asegurado.

Con respecto a la configuración de los pasatapas, para evitar posibles problemas

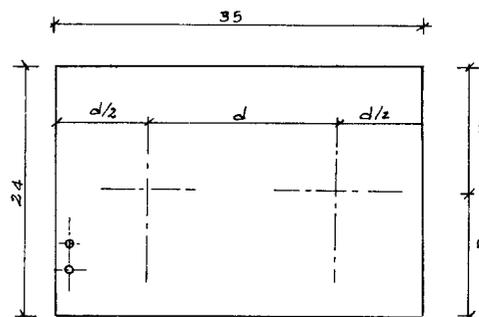


Fig. 6

de contorneo debido a la contaminación a la que pueden estar expuestos y al envejecimiento del material se les ha dado la forma de un aislador tipo exterior.

La sujeción de los pasatapas a la base aislante se realizó mediante tuercas construidas de Grilón. En la figura 7 se ve al pasatapas con el sistema de sujeción, terminal de alta tensión (bronce) y su manera de acoplamiento, dimensiones y detalles.

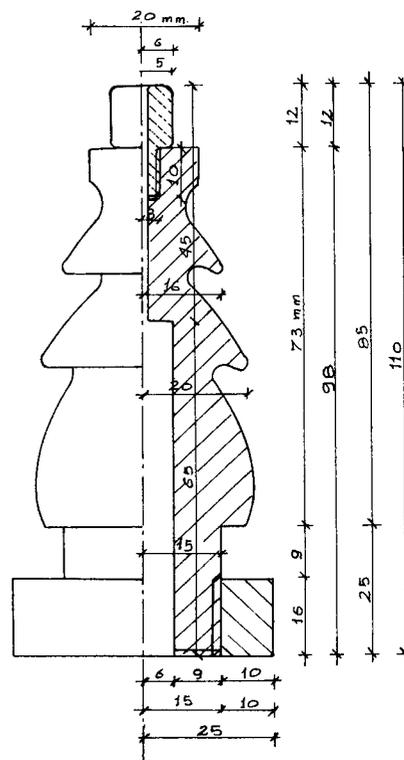


Fig. 7

El pasatapas de la figura 7 muestra el agujero pasante que sirve para la salida de alta tensión; su parte inferior es de mayor diámetro con el fin de poder introducir las salidas con los spagettis de aislamiento hasta una altura de 65 mm.; por la longitud restante del agujero va desnudo el conductor de salida.

Largo: 35 cm.
Ancho: 24 cm.
Espesor: 5mm.

5. CONSTRUCCION DEL TRANSFORMADOR

5.1 DEVANADO PRIMARIO

Las características del devanado primario para cada columna son las siguientes:

Conductor: alambre de cobre # 15 AWG
Número de vueltas: 150.5
Número de capas: 2
Aislamiento utilizado: Papel Kraft
Voltaje: 110 voltios

5.2 DEVANADO SECUNDARIO

Los bobinados para el lado de alta tensión del transformador quedaron conformados de la siguiente manera:

PAQUETES # 1

Número promedio de espiras por capa: 932
Número de capas: 10
Voltaje total del paquete: 6603 V

PAQUETES # 2

Número promedio de espiras por capa: 923
Número de capas: 10
Voltaje total del paquete: 6742 V

PAQUETES # 3

Número promedio de espiras por capa: 949
Número de capas: 9
Voltaje total del paquete: 6236 V

PAQUETES # 4

Número promedio de espiras por capa: 938
Número de capas completas: 7
Última capa: 310 espiras
Voltaje total del paquete: 5218 V

La foto A muestra una capa del devanado de alta tensión; la B, los bobinados y el material para el núcleo

4.2.3 ELECTRODOS

Los electrodos son los elementos encargados de aplicar a la muestra bajo prueba la diferencia de potencial necesaria para que se produzca su rompimiento.

Los electrodos van sujetos a unos brazos conductores, estos brazos tienen terminales en sus extremos que se apoyan sobre las salidas de alta tensión de los pasatapas.

Los dos brazos de sujeción van empotrados en la tapa de la cuba, la separación entre estos es de 80 mm., siendo ésta el resultado de un análisis sobre la distancia a la cual deben encontrarse dos elementos bajo tensión; el material utilizado para la construcción es hierro, las dimensiones dependen de la separación entre los pasatapas, distancia entre la base de la cuba y el eje de los electrodos. La figura 6 muestra los brazos de sujeción con sus dimensiones.

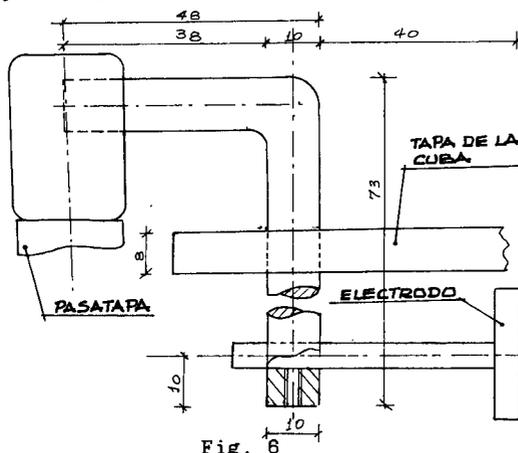


Fig. 6

Como se puede apreciar en la figura 8, las partes verticales de los brazos de sujeción van recubiertos mediante tubos de baquelita con el objeto de volver estables posibles descargas por efluvios sin dar origen a su transformación en descargas de chispa.

La tapa de la cuba es de material aislante, se le da la configuración necesaria sabiendo que los brazos de los electrodos van empotrados en ella.

Los electrodos son de bronce y tienen la forma de discos planos con bordes rectos con un diámetro de 1 pulgada (figura 6) y se ajustan a una distancia de 0.1 pulgadas entre sí.

4.2.4 TAPA TRANSPARENTE

Es la tapa de la cámara de pruebas, construida en vidrio, y sus dimensiones son:



Foto A

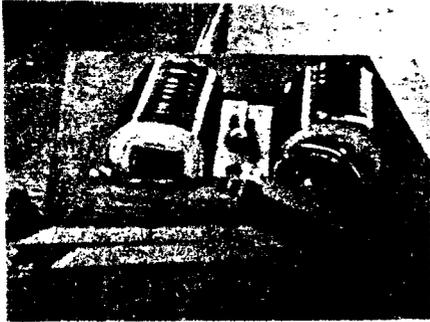


Foto B

5.3 ENSAYOS

PRUEBAS DE AISLAMIENTO

Las pruebas de aislamiento se realizaron mediante el uso de un Megger, siendo las siguientes:

DEVANADO DE ALTA TENSION-TIERRA

Con 5000 V. - 2000 M Ω

DEVANADOS DE ALTA TENSION-BAJA TENSION

Con 5000 V. - 4000 M Ω

DEVANADO DE BAJA TENSION-TIERRA

Con 5000 V. - 4000 M Ω

MEDICION DE LAS RESISTENCIAS

Devanado de baja tensión : 0.175 Ω

Devanado de alta tensión : 13.195 K Ω

RELACION DE TRANSFORMACION

Relación de transformación : 468.096

Además de las pruebas indicadas se realizaron las de vacío y corto circuito.

En la foto C se observa al transformador sometiendo a pruebas.

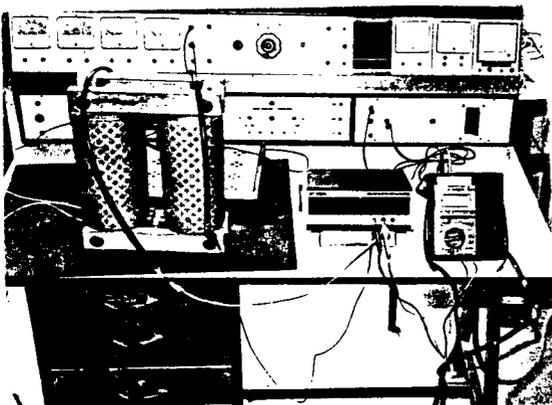


Foto C

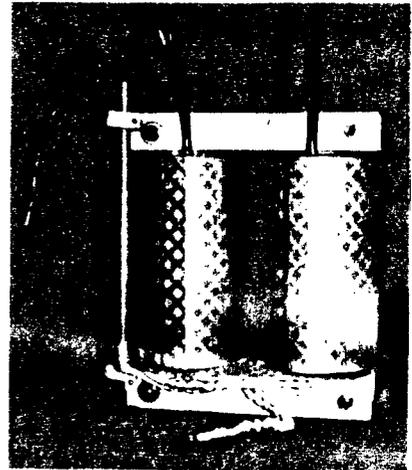


Foto D

La foto D muestra al transformador totalmente concluido.

5.4 TANQUE

Teniendo su diseño, su configuración no varió durante la fabricación, lo que si cambiaron son ciertas dimensiones, aquellas que dependen de los resultados obtenidos en la construcción del transformador. La foto E muestra el tanque con el compartimiento para el sistema de control y la cámara de pruebas.



Foto E

6. CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE CONTROL

Siguiendo las especificaciones del diseño, se realizó el circuito de control que fué montado sobre una base metálica como se muestra en la foto F.

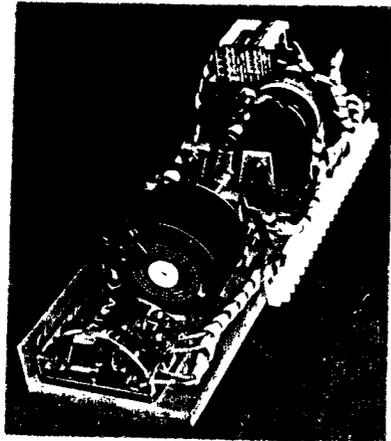


Foto F

Los elementos de comando, señalización y medición, fueron montados en el panel de aluminio como indica la foto G.

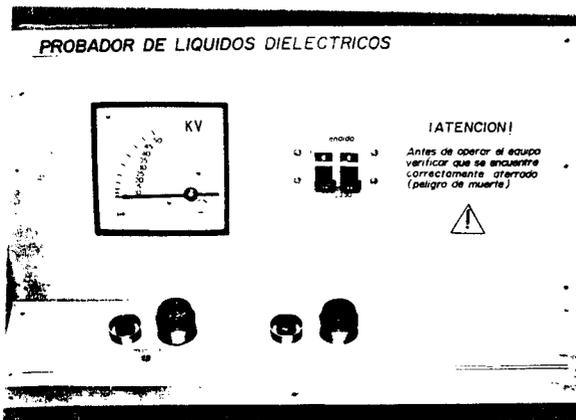


Foto G

7. CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE PRUEBAS

7.1 BASE AISLANTE

Debido a la variación de las dimensiones del tanque del transformador con respecto a su diseño, la base aislante quedó del siguiente tamaño:

Largo: 40 cm.
Ancho: 25 cm.
Espesor: 1 cm.

7.2 PASATAPAS

Las dimensiones de los pasatapas son las de diseño, la separación entre estos es

de 20 cm., y su distanciamiento con respecto del tanque es de 12.5 cm., de esta manera se garantiza aún más el aislamiento entre los terminales de alta tensión y entre estos y masa.

En la foto H se aprecian los pasatapas, tuercas y terminales metálicos.



Foto H

7.3 BRAZOS PARA LOS ELECTRODOS. ELECTRODOS Y CUBA

En la construcción de los brazos para los electrodos y electrodos se respetó casi totalmente el diseño, con pequeños cambios en sus dimensiones, más no en su configuración.

En la foto I, se observan los brazos de los electrodos recubiertos de baquelita y los electrodos.

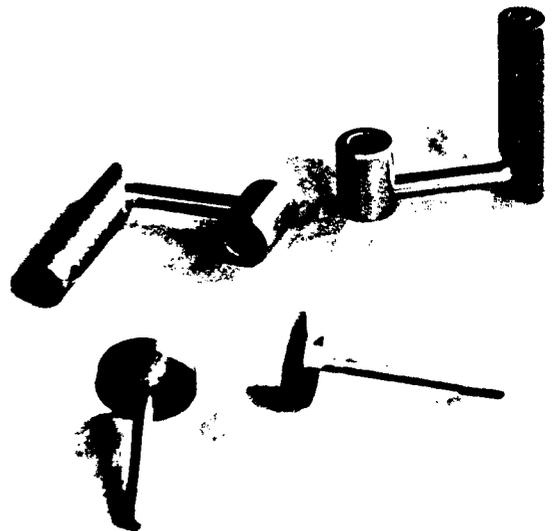


Foto I

De acuerdo a las especificaciones del diseño, se adquirió la cuba cuyas dimensiones son:

Diámetro: 115 mm.
Altura: 68 mm.
Espesor: 2mm.

La tapa de la cuba se realizó según el diseño, procediendo luego a su armado quedando como indica la foto J.

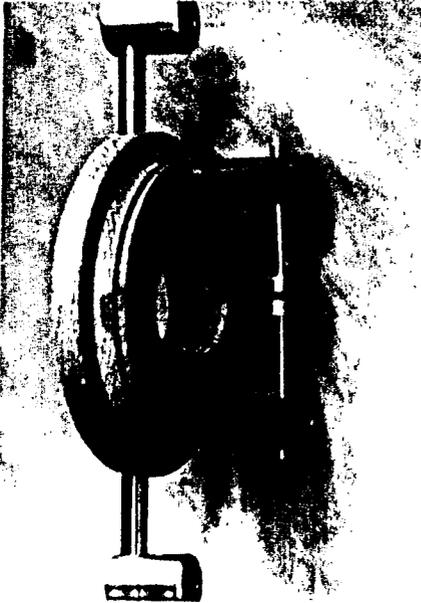


Foto J

La foto K muestra parte del conjunto de la cámara de pruebas en donde se incluyen los terminales para las salidas del devanado de baja tensión del transformador.

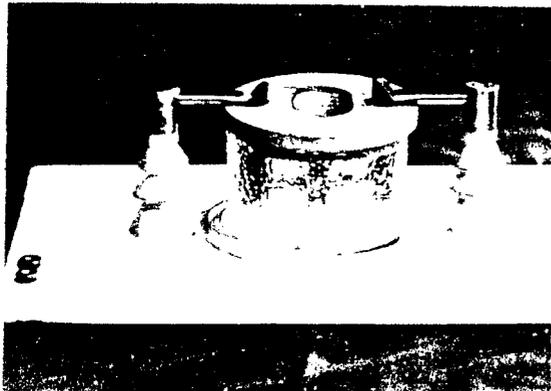


Foto K

8. ENSAMBLAJE Y PRUEBAS DEL EQUIPO

Para el ensamblaje del equipo, en primer lugar se secó al transformador introduciéndolo inmediatamente en el tanque, luego se vertió el aceite necesario, para posteriormente colocar los diferentes componentes en sus compartimientos. Las fotos L y M muestran dos etapas durante el proceso de ensamblaje.

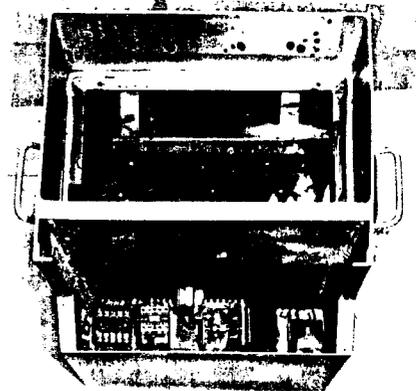


Foto L

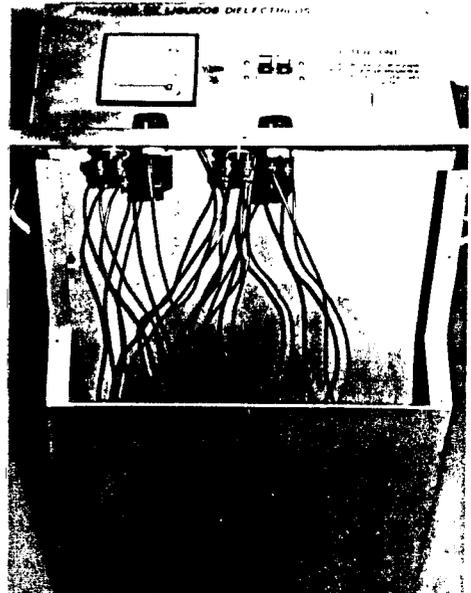


Foto M

Una vez ensamblado el equipo, se realizaron pruebas que dieron resultados válidos, demostrando que el equipo cumple las funciones para las cuales fue construido. Las fotos N y O muestran diferentes vistas del equipo.



Foto N

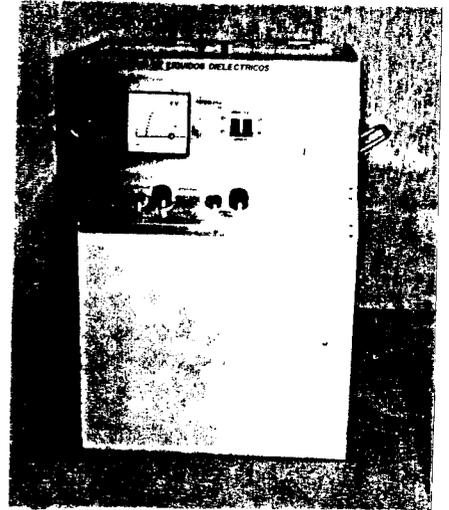


Foto O

CONCLUSIONES

Actualmente se puede verificar una tendencia a realizar trabajos prácticos con tecnología nacional, encontrándose que el principal problema es el económico. El presente proyecto demuestra que existe un rendimiento comparable con los normalizados a nivel internacional por lo que creemos que se debe responder a la pre-

gunta: ¿Existe interés en alcanzar un nivel tecnológico comparable con otros países? en caso de existir una respuesta afirmativa, la última palabra la tienen las instituciones técnicas, y todas aquellas que se interesen en el desarrollo de una industria con tecnología propia.

BIOGRAFIAS



Pablo Murillo P., Nació en Cuenca en 1961, obtuvo el bachillerato en el Colegio Técnico Salesiano, se graduó de Programador de Computadores en la Universidad de Cuenca en Agosto de 1985. Egresó de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Prestó sus servicios en calidad de ayudante de cátedra de la materia Álgebra, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca desde 1984 hasta 1986, Profesor de Electricidad en el Colegio Técnico Salesiano desde 1980 hasta 1985, Ayudante de Laboratorio de Máquinas eléctricas de la Escuela de Tecnología Industrial de la PUCE desde 1982 hasta 1985. Actualmente presta sus servicios en el Colegio Francisco Febres Cordero como Director del departamento de Cómputo y profesor de Computación.



Hernando Merchán M., Nació en Sigsig, Azuay, el 10 de Septiembre de 1956, Ingeniero Eléctrico en potencia, de la Escuela Politécnica Nacional, en 1983. Ha realizado cursos de perfeccionamiento en Alemania e Italia en las áreas de Control Industrial y energía alternativa. Desde 1982 trabaja como profesor de la Universidad de Cuenca.



Jorge Idrovo I., Nacido en Cuenca, Ecuador en 1957, obtiene el título de Bachiller en el Colegio Técnico Salesiano en la especialidad de Electromecánica; egresado de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cuenca. En la actualidad se desempeña particularmente en el área de la Ingeniería Eléctrica y presta sus servicios en el Colegio Experimental Benigno Malo.