

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**ANÁLISIS Y PRUEBAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE  
7 MVA 60/10 KV DE LA SUBESTACION BELLAVISTA  
ELECTROPUNO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**ISAAC ALBERTO TURPO COCHACHI**

**PROMOCIÓN  
2001- I**

**LIMA – PERÚ  
2006**

**ANALISIS Y PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 7 MVA  
60/10 KV DE LA SUBESTACION BELLAVISTA - ELECTROPUNO**

*Dedico este trabajo a:  
Mis padres, ejemplo de amor y valentía,  
A Rosa, la mujer y compañera de mi vida,  
Y mi hermana Inés y su esposo Julio, por el apoyo  
incondicional en el transcurso de mi carrera.*

## **SUMARIO**

Este trabajo describe los ensayos eléctricos realizados al Transformador de 7 MVA, 60/10kV de ELECTROPUNO S.A.A., según el procedimiento establecido en la norma IEC 60076-I y la metodología del fabricante, en aplicación de la misma, con la finalidad de verificar los diversos parámetros de diseño y los valores garantizados por el fabricante, así como el comportamiento del Transformador en Operación normal y en Regímenes Transitorios.

## ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION Y POTENCIA</b>	
1.1 Introducción	3
1.2 Ensayos establecidos en la norma IEC	3
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>ANÁLISIS Y DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS INDIVIDUALES</b>	
2.1 Ensayos Individuales	5
2.1.1 Medida de la Resistencia de los arrollamientos	5
2.1.2 Medida de la Relación de Transformación y Grupo de Conexión	8
2.1.3 Medida de Impedancia de Cortocircuito y las pérdidas debidas a la carga	16
2.1.4 Medida de las pérdidas y de la corriente en vacío	21
2.1.5 Prueba de Tensión Aplicada (Ensayo Dieléctrico Individual)	22
2.1.6 Prueba de Tensión Inducida (Ensayo Dieléctrico Individual)	27
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>ANÁLISIS Y DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS DE TIPO</b>	
3.1 Ensayos de Tipo	29
3.1.1 Ensayo de Calentamiento	29
3.1.2 Ensayo Dieléctrico de Tipo (Ensayo de Impulso)	34
<b>CONCLUSIONES</b>	39
<b>ANEXOS</b>	40
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	42

## **PROLOGO**

La energía eléctrica es fundamental para las actividades que se llevan a cabo diariamente, con ella funcionan los equipos industriales, de oficina y residenciales, por lo que la suspensión del suministro de energía, debido a la falla del Transformador de Distribución y/o Potencia de la Subestación, trae consecuencias desastrosas, como molestias a los usuarios, pérdidas de confort, productividad y aplicación de penalidades a la Concesionaria, por parte del ente Regulador (OSINERG).

En los últimos años se ha presentado reportes de fallas en Transformadores de Potencia, debido a sobre corrientes, sobre tensiones y sobrecargas prolongadas, en muchos casos por configuración inapropiada del sistema (Deficiencia en la Coordinación de aislamiento y de la protección) y en otros por la falta de interpretación y/o consideración de los valores de diseño establecidos en el protocolo de pruebas.

El objetivo del presente trabajo es analizar e interpretar los valores establecidos en los Protocolos de Prueba del Fabricante, en particular del Transformador de 7 MVA, 60/10 kV de la Subestación Bellavista-ELECTROPUNO, para ello se realizara un análisis y descripción detallada de los ensayos al Transformadores de Potencia realizados según la metodología del fabricante, en aplicación de la norma IEC 60076-I, para que finalmente dichos valores se establezcan en el Protocolo de prueba respectivo. El presente trabajo estará compuesto por:

El capítulo I, en la que se detalla una descripción general de los Ensayos Individuales, de Tipo y Especiales establecidos en norma IEC 60076-I.

El Capítulo II y III, se detalla el procedimiento de los Ensayos Individuales y Tipo aplicados al Transformador de Potencia de 7 MVA, según la metodología del fabricante, en aplicación de la norma IEC y finalmente las respectivas conclusiones.

Deseo expresar mi agradecimiento a la COMPAÑÍA CONSTRUCCIONES ELECTROMECAÑICAS DELCROSA S.A., por las facilidades prestadas en su laboratorio para los ensayos individuales y de tipo, en especial al Ingeniero Amilcar Bedoya Castillo e Ingeniero Edwin Choque Pillco, por el apoyo brindado en la asesoría técnica, de igual forma, agradezco a los Ing. Willy Vidalon, Ing. Héctor Salas, Ing. Hugo Murillo por las informaciones brindadas.

# **CAPÍTULO I**

## **DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y DE POTENCIA SEGÚN NORMA IEC 60076-1**

### **1.1 Introducción**

En este capítulo describimos en forma general los ensayos establecidos en la norma IEC 60076-1, a los que son sometidos los Transformadores de Distribución y Potencia. La realización de estos ensayos nos sirven para comprobar que el transformador construido por el fabricante, esta de acorde al requerimiento establecido por el comprador y/o bajo normas de fabricación establecida, tanto en características eléctricas como su comportamiento ante condiciones normales o transitorios del sistema eléctrico (Sobre corrientes y sobre tensiones).

### **1.2 Ensayos**

#### **1.2.1 Consideraciones Generales**

Los ensayos se efectúan a una temperatura ambiente cualquiera comprendida entre  $-25^{\circ}\text{C}$  y  $+40^{\circ}\text{C}$ , para equipos con circulación natural o forzada de aire, mientras que para equipos con intercambiadores refrigerados por agua, la temperatura del agua no debe sobrepasar los  $+25^{\circ}\text{C}$ .

#### **1.2.2 Ensayos Individuales, de Tipo y Especiales**

Los ensayos establecidos en la norma IEC 60076-1 son:

Ensayos Individuales.- Ensayo efectuado sobre cada transformador tomado

Individualmente y estos son:

- a) Medida de la resistencia de los arrollamientos (IEC 76-1)
- b) Medida de la relación de transformación y verificación del acoplamiento (IEC 76-1)
- c) Medida de la impedancia de cortocircuito y de las pérdidas debida a la carga (IEC 76-1)
- d) Medida de las pérdidas y de la corriente en vacío (IEC 76-1)
- e) Ensayos dieléctricos individuales (IEC 76-3)

f) Ensayos en los cambiadores de tomas de regulación en carga (IEC 76-1)

Ensayo de Tipo.- Ensayo efectuado sobre un transformador que es representativo de otros transformadores, para demostrar que estos transformadores cumplen con las condiciones especificadas que no son controladas por lo ensayos individuales. Dentro de este tipo de ensayo, se establece:

- a) Ensayo de calentamiento (IEC 76-2)
- b) Ensayo dieléctricos de tipo (IEC 76-3)

Ensayo Especial.- Esto refiere a un ensayo de tipo o a un ensayo individual, definido por acuerdo entre fabricante y comprador

- a) Ensayos dieléctricos especiales (IEC 76-3)
- b) Medida de la capacitancia entre arrollamientos y tierra, y entre los arrollamientos
- c) Medida de las características de transmisión de tensiones transitorias
- d) Medida de la impedancia homopolar en transformadores trifásicos (IEC 76-1)
- e) Ensayo de cortocircuito (IEC 76-5)
- f) Determinación del nivel de ruido (IEC 551)
- g) Medida de los armónicos de la corriente en vacío (IEC 76-1)
- h) Medida de la potencia absorbida por los motores de bombas de aceite y de ventiladores
- i) Medida de la resistencia del aislamiento respecto a tierra de los arrollamientos, y/o factor de disipación ( $\tan \delta$ ) de las capacidades del sistema de aislamiento.

## **CAPÍTULO II**

### **ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS INDIVIDUALES**

#### **2.1 Introducción**

La norma de fabricación y ensayos de Transformadores de Distribución y Potencia a emplear como base para el presente trabajo es la IEC 60076.

Los ensayos descritos a continuación son los realizados en el laboratorio del fabricante, siendo algunos de ellos realizables en el lugar de instalación del transformador por el propietario, como parte de su programa de puesta en servicio y mantenimiento. Los ensayos individuales realizados por el fabricante según lo establecido en la norma IEC 60076-1 son:

#### **2.1.1 Medición de la Resistencia de los arrollamientos**

##### **a) Procedimiento**

Este es el primer ensayo que se debe de realizar en el laboratorio del fabricante y para realizarse esta medición, el transformador debe haber estado desconectado de la red, el tiempo suficiente para garantizar que el bobinado se encuentra a la misma temperatura ambiente (Al menos 4 horas desenergizado).

La medición de la resistencia nos servirá para:

- Determinar la resistencia de los arrollamientos
- Cálculo de las pérdidas Joule, que a su vez se requieren para efectuar la separación de las pérdidas totales medidas, en sus componentes de pérdidas Joule y pérdidas Adicionales.
- Calculo de la sobre temperatura de los arrollamientos mediante la variación del valor de la resistencia (Prueba tipo - Prueba de Calentamiento).

Método de la Caída de Potencial .- Este método está mas generalizado y se pueden obtener resultados bastantes exactos, el circuito empleado es de la figura 2.1

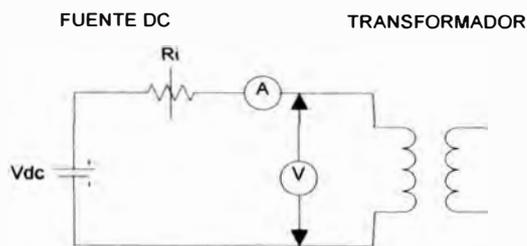


FIG. 2.1 MEDICIÓN DE RESISTENCIA

Donde:

$V_{dc}$  : Tensión Continua (Batería)

$R_i$  : Resistencia serie (para amortiguar el Transitorio DC)

$A$  : Amperímetro

$V$  : Voltímetro

Equipo a utilizar es el multímetro Fluke 175, con precisión del 1% para tensión y 1.5% para corriente.

Procedimiento para el cálculo de la resistencia de los arrollamientos

- Determinar el valor del voltaje continuo ( $V_{dc}$ ) a aplicar para la prueba, generalmente es 12 Vdc.
- Conectar el equipo de medición de resistencia ohmica, a un par de bornes de AT del Transformador de Prueba (U-V , V-W, W-U) y posteriormente entre bornes de BT (u-v, v-w, w-u).

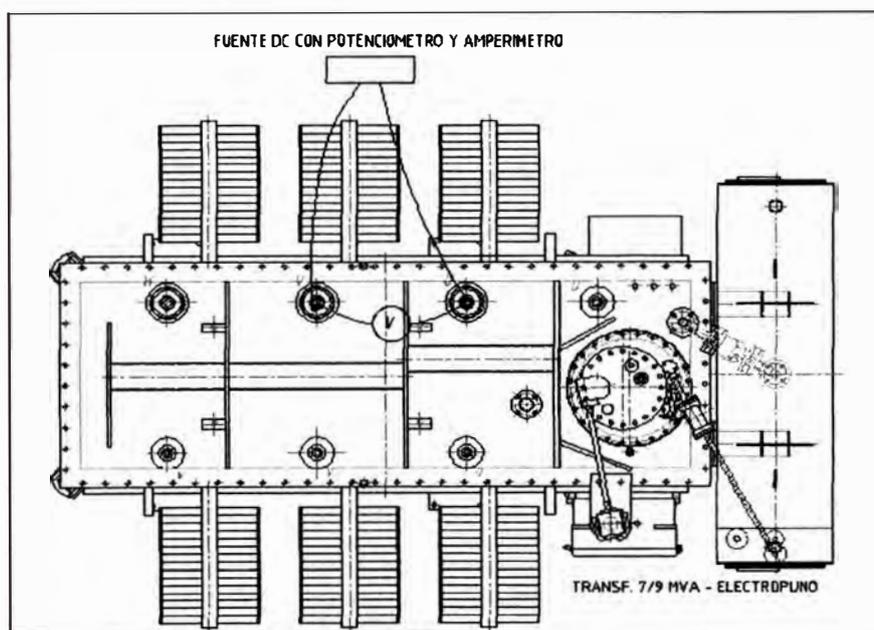


FIG. 2.2 CONEXION DE FUENTE DC

- Debido al Transitorio en el cierre de la alimentación al transformador, dado que se tiene un circuito R-L con fuente externa DC (Fig. 2.1), donde la inductancia actúa como fuente de almacenamiento de energía, se dispone de una resistencia  $R_i$  en serie para que el transitorio se estabilice muy rápidamente, al menos en 4 segundos, para posteriormente realizar la conexión y lectura del voltímetro, caso contrario el voltímetro puede ser dañado.
- Una vez tomada las lecturas del voltímetro y amperímetro, primero se debe desconectar el voltímetro, posteriormente desenergizar el circuito, para evitar que el transitorio del circuito RL (Descarga de circuito RL), pueda dañar el voltímetro.
- Realizar este procedimiento para el tap superior, tap intermedio o nominal y el tap inferior del devanado entre bornes de AT inicialmente seleccionado en b), luego proseguir con los demás bornes de AT y finalmente los bornes de BT y/o MT.
- Efectuar el cálculo de las resistencias medidas mediante el cociente del voltaje medido entre la corriente medida.
- Se registra la temperatura del medio ambiente ( $T_a$ )
- Una vez obtenida las resistencias medidas, se buscara la resistencia promedio de las mediciones. Por lo que en AT se tendrá 3 resistencias promedio según tap o toma elegida y un único valor promedio de la resistencia de bornes del secundario y otra del terciario, en caso de esta última existir.
- Por estandarización y considerando la clase de Aislamiento del Transformador tipo A, se realiza el cálculo de la resistencia de los arrollamientos referido a  $75^\circ\text{C}$ , utilizando la ecuación (2.1)

$$R_{75^\circ\text{C}} = Ra \frac{(235.4 + 75)}{235.4 + Ta} \quad (2.1)$$

$Ra$  = Resistencia a Temperatura ambiente

$Ta$  = Temperatura ambiente

#### a) Causas frecuente de falla

Se producen falsas lecturas en la medición a causa de:

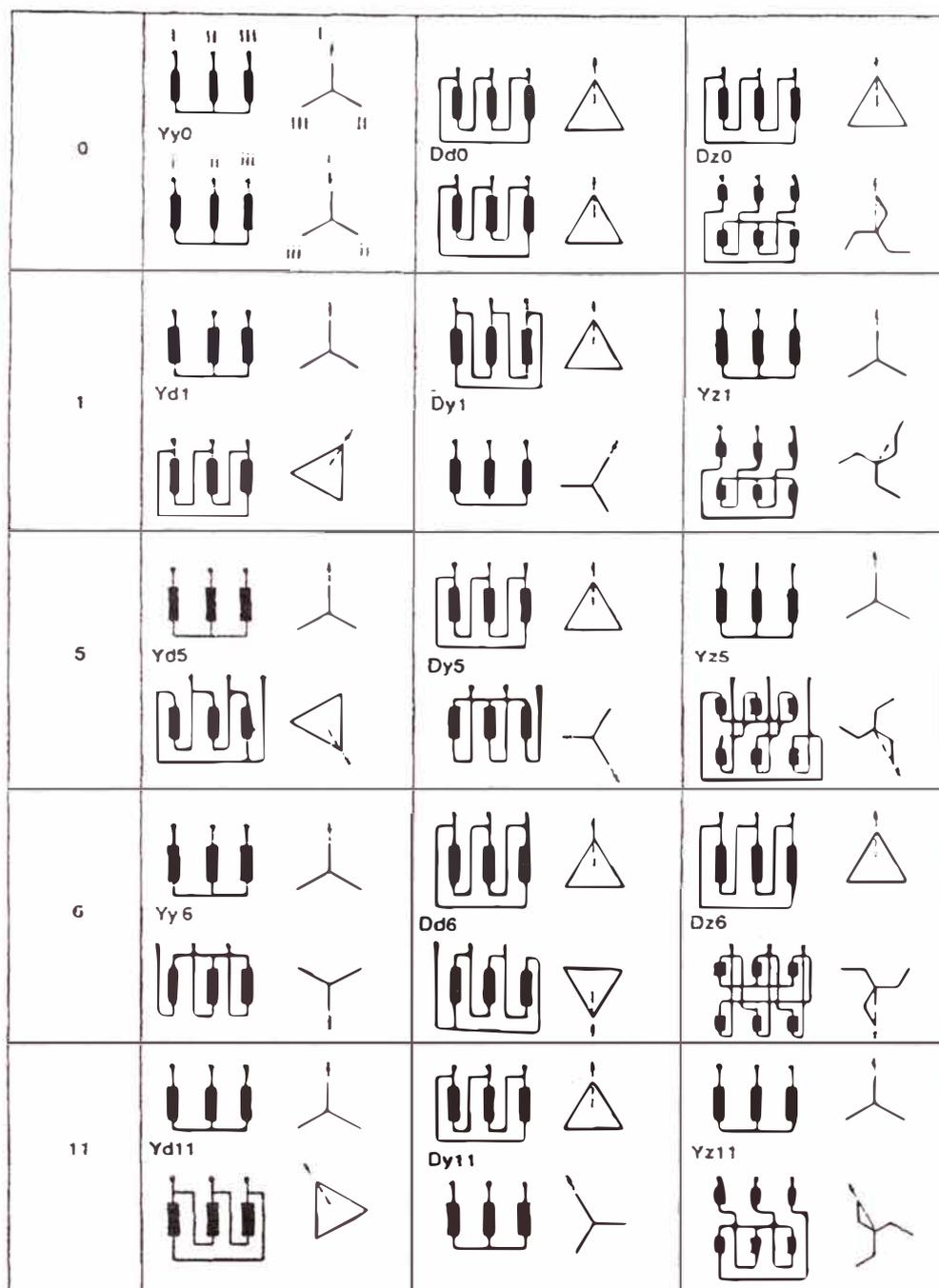
- a) Batería de Alimentación o fuente DC defectuosa.
- b) Falso contacto de los conectores del equipo con los bornes del Transformador

- c) Conmutador de AT en punto flotante, para lo cual se debe de realizar la maniobra del conmutador desde la posición máxima a la posición mínima.

### 2.1.2 Medida de la relación de Transformación y verificación del acoplamiento.

Los grupos de conexión establecidos en la norma IEC son diversos, tal como se visualiza en las figuras 2.3 y 2.4.

#### GRUPO DE CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS



(Continúa en página siguiente)

Fig 2.3 Grupo de Conexión – Parte 1

**GRUPO DE CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS  
(CONTINUACIÓN)**

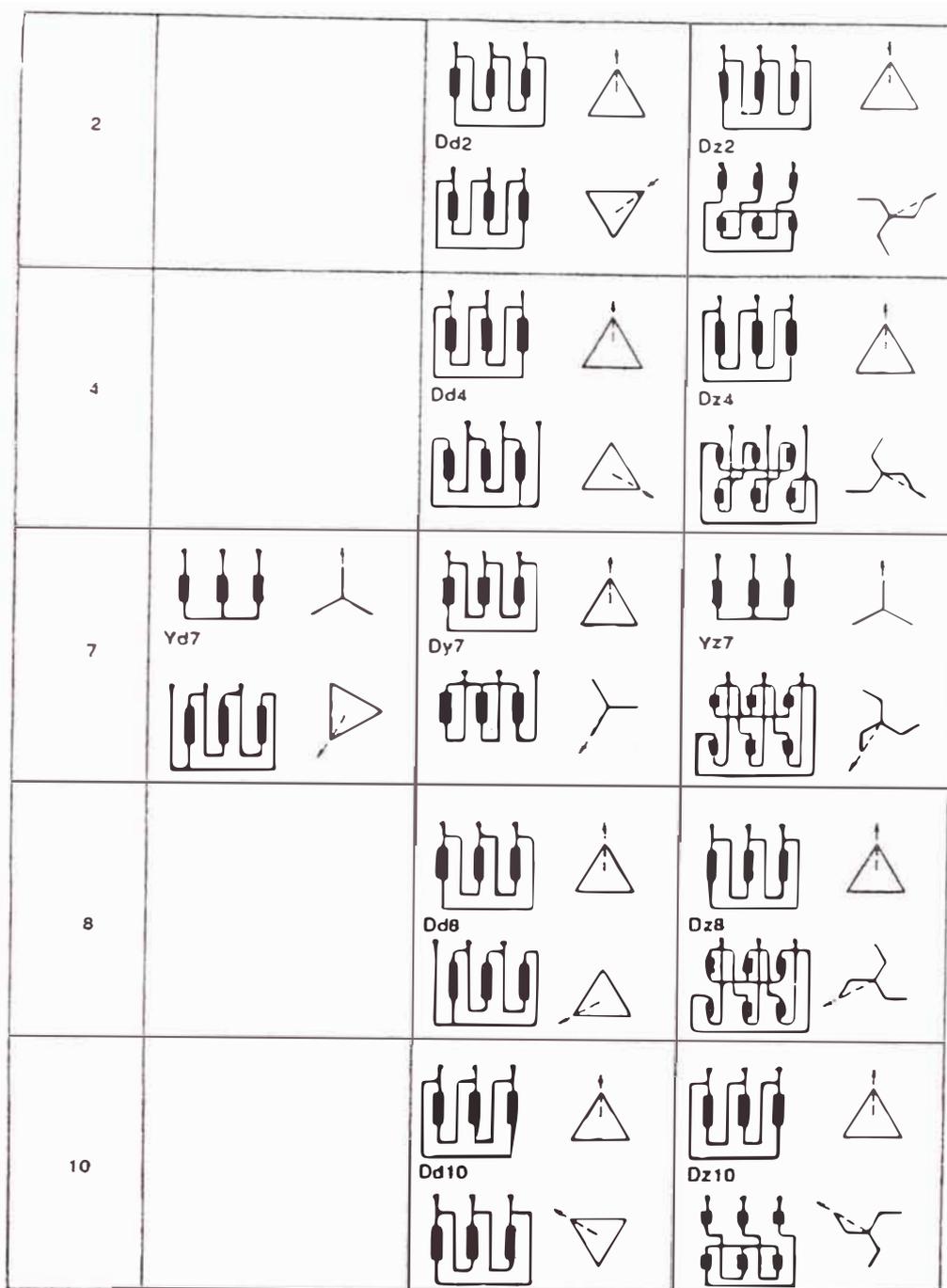


Fig 2.4 Grupo de Conexión – Parte 2

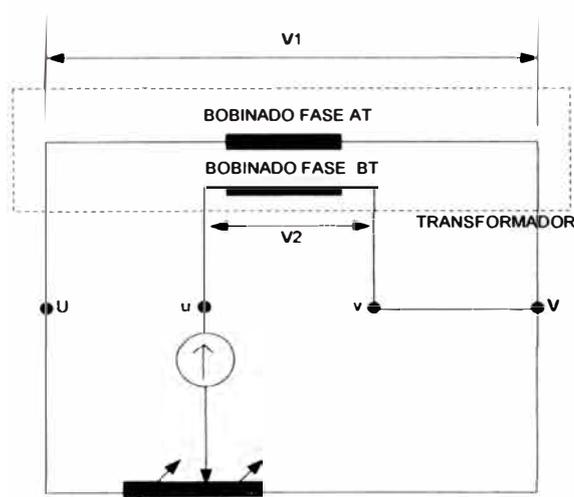
### a) Procedimiento

La medición de la relación de Transformación, tiene por finalidad verificar que la relación de voltajes del transformador sea el especificado. La Tolerancia para esta relación es de 0.5%, tal como lo establece en la norma IEC 60076-1 y el Anexo A.

Como el proceso de medición para transformadores trifásicos involucran la comparación de tensión AT/BT, que están en fase, este hecho comprueba en forma simultanea el grupo de conexión.

En el laboratorio o en el campo, la medición de la relación de transformación y grupo de conexión, se realiza generalmente a través de un Puente o equipo MEDIDOR DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN MONOFÁSICO O TRIFÁSICO (TTR). Para nuestro caso analizaremos la medición de la relación de transformación a través de un TTR Monofásico, modelo DTR 8500, marca AEMC Instruments, con rango de 0.8 s 1500.0:1, con precisión de  $\pm 0.2\%$ .

El conexionado del TTR Monofásico para transformadores trifásicos es de acuerdo con la norma ANSI/IEEE C57.12.90, es decir, dos bornes del devanado primario y dos bornes del devanado secundario, tomando en cuenta el grupo de conexión correspondiente, tal como muestra la figura 2.5..



TTR MONOFASICO

FIG. 2.5 MEDICIÓN DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Considerando que los grupos de conexión se encuentran establecidos, la relación de transformación estará dada por la Tabla 2.1, estos valores son una deducción de la relación de Transformación de Transformadores Trifásicos, utilizando el TTR Monofásico.

Con la finalidad de demostrar que el valor establecido en la Tabla 2.1 es igual al valor que se muestra en el Display del TTR Monofásico, se deducirá mediante vectores la relación de Transformación para un Devanado Dyn5 (Fig. 2.6 y 2.7).

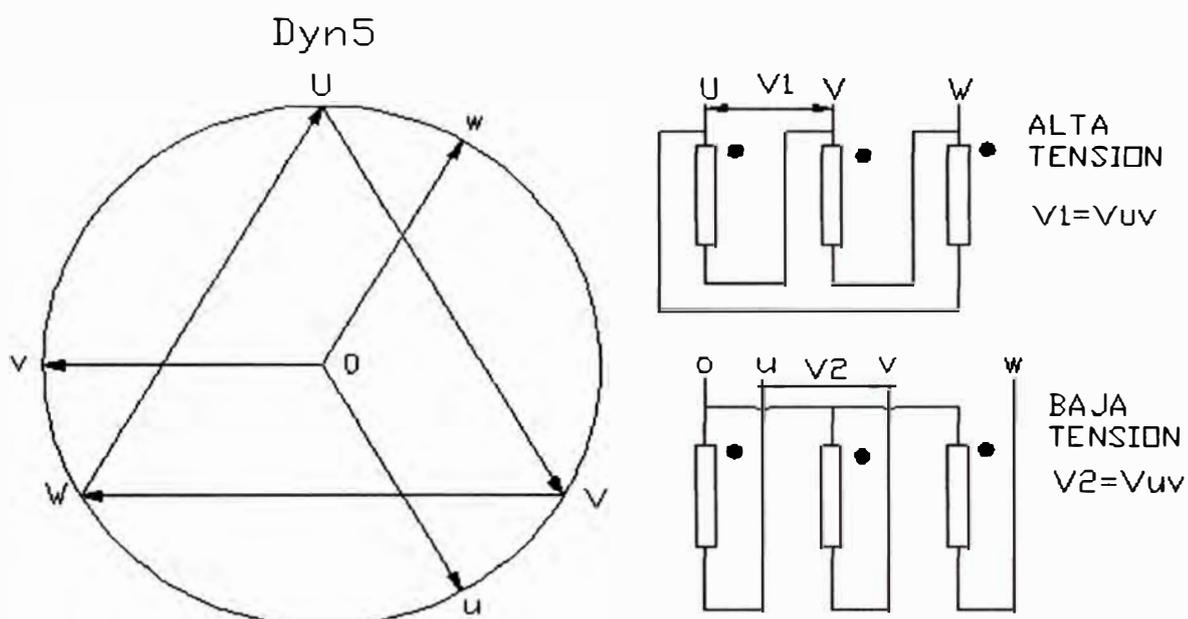


Fig 2.6 Conexión Dyn5

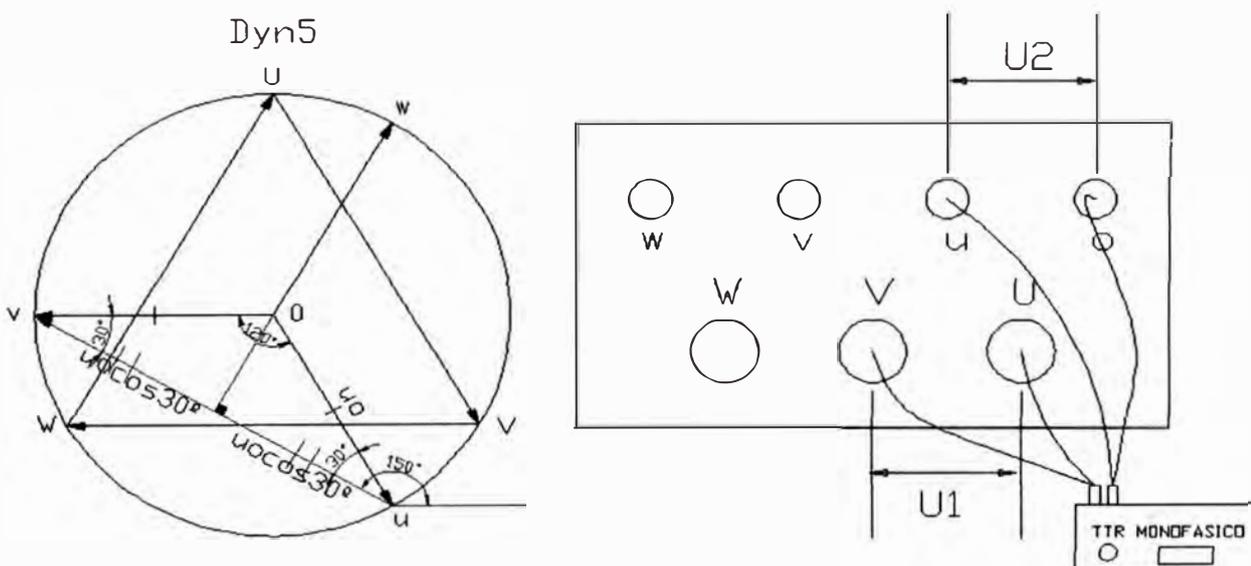


Fig 2.7 Conexión del TTR Monofásico-Dyn5

De la Figura 2.7, por Geometría:

$$uv = 2uo \cos 30 \quad (2.2)$$

$$uo = \frac{uv}{2 \cos 30^\circ} = \frac{uv}{\sqrt{3}} \quad (2.3)$$

De la figura 2.3.b) se observa :

$$V_{U-V} = U1 \quad (2.4)$$

$$V_{u-v} = U2 \quad (2.5)$$

Luego, reemplazando (2.5) en (2.3)

$$uo = \frac{uv}{\sqrt{3}} = \frac{U2}{\sqrt{3}} \quad (2.6)$$

Según Tabla 2.1, la conexión y medida para un grupo de conexión Dyn5 es

$$\frac{U-V}{0-u} = \frac{U1}{uo} = \frac{U1}{\frac{U2}{\sqrt{3}}} = \frac{U1 \times \sqrt{3}}{U2} \quad (2.7)$$

En la Tabla 2.1, detallamos las diferentes relaciones de transformación que se tienen para cada grupo de conexión establecido, cuando la medición la realizamos mediante un TTR monofásico.

TABLA 2.1 – GRUPO DE CONEXION

1 DE 3

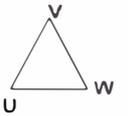
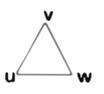
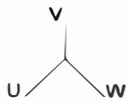
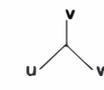
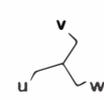
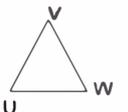
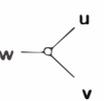
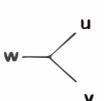
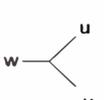
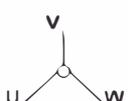
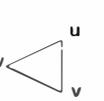
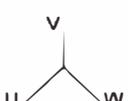
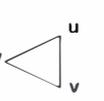
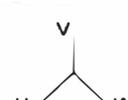
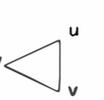
GRUPO DE CONEXIÓN VDE 0532/8.64	TRANSFORMADOR A MEDIR		CONEXIÓN DEL INSTRUMENTO			VALOR DE MEDICION
	Alta Tensión	Baja Tensión	Alimentación	Conexión y medida	Cortocircuito	
Dd0			U-V V-W W-U	U-V/u-v V-W/v-w W-U/w-u	--- --- ---	$\frac{U_1}{U_2}$
			U-V V-W W-U	U-V/u-v V-W/v-w W-U/w-u	--- — —	$\frac{U_1}{U_2}$
			U-V V-W W-U	U-V/u-v V-W/v-w W-U/w-u	--- --- —	$\frac{U_1}{U_2}$
Dyn5			U-V V-W W-U	U-V/O-u V-W/o-v W-U/o-w	— --- ---	$\frac{U_1\sqrt{3}}{U_2}$
			U-V V-W W-U	U-V/v-u V-W/w-v W-U/u-w	v-w w-u u-v	$\frac{U_1}{U_2 \cdot 0.866}$
			U-W V-U W-V	U-W/w-u V-U/u-v W-V/v-w	W-V U-W V-U	$\frac{U_1 \cdot 0.866}{U_2}$
YNd5			U-O V-O W-O	U-O/w-u V-O/u-v W-O/v-w	— --- ---	$\frac{U_1}{U_2\sqrt{3}}$
			U-V V-W W-U	U-V/w-u V-W/u-v W-U/v-w	V-W W-U U-V	$\frac{U_1 \cdot 0.866}{U_2}$
			U-V V-W W-U	U-V/v-u V-W/w-v W-U/u-w	v-w w-u u-v	$\frac{U_1}{U_2 \cdot 0.866}$

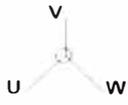
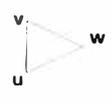
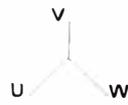
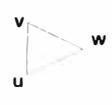
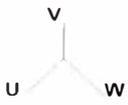
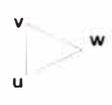
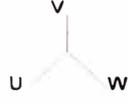
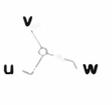
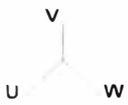
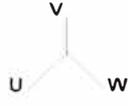
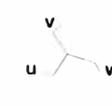
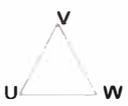
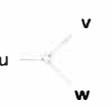
TABLA 2.1 – GRUPO DE CONEXION

2 DE 3

GRUPO DE CONEXIÓN VDE 0532/8.64	TRANSFORMADOR A MEDIR		CONEXIÓN DEL INSTRUMENTO			VALOR DE MEDICION
	Alta Tensión	Baja Tensión	Alimentación	Conexión y medida	Cortocircuito	
Yzn5			U-V V-W W-U	U-V/O-u V-W/O-v W-U/O-w	--- --- ---	$\frac{U1\sqrt{3}}{U2}$
			U-V V-W W-U	U-V/v-u V-W/w-v W-U/u-w	v-w w-u u-v	$\frac{U1}{U2 \cdot 0.866}$
			U-V V-W W-U	U-V/w-u V-W/u-v W-U/v-w	V-W W-U U-V	$\frac{U1 \cdot 0.866}{U2}$
Dd6			U-V V-W W-U	U-V/v-u V-W/w-v W-U/u-w	--- --- ---	$\frac{U1}{U2}$
			U-V V-W W-U	U-V/v-u V-W/w-v W-U/u-w	--- --- ---	$\frac{U1}{U2}$
			U-V V-W W-U	U-V/v-u V-W/w-v W-U/u-w	--- --- ---	$\frac{U1}{U2}$
Dyn11			U-V V-W W-U	U-V/u-O V-W/v-O W-U/w-O	--- --- ---	$\frac{U1\sqrt{3}}{U2}$
			U-V V-W W-U	U-V/u-v V-W/v-w W-U/w-u	v-w w-u u-v	$\frac{U1}{U2 \cdot 0.866}$
			U-V V-W W-U	U-V/u-v V-W/v-u W-U/w-v	v-w w-u u-v	$\frac{U1 \cdot 0.866}{U2}$

TABLA 2.1 – GRUPO DE CONEXION

3 DE 3

GRUPO DE CONEXIÓN VDE 0532/8.64	TRANSFORMADOR A MEDIR		CONEXIÓN DEL INSTRUMENTO			VALOR DE MEDICION
	Alta Tensión	Baja Tensión	Alimentación	Conexión y medida	Cortocircuito	
YNd11			U-O V-O W-O	U-O/u-w V-O/v-u W-O/w-v	--- --- ---	$\frac{U_1}{\sqrt{3}}$ U <sub>2</sub>
			U-V V-W W-U	U-V/u-w V-W/v-u W-U/w-v	V-W W-U U-V	$\frac{U_1 \cdot 0.866}{U_2}$
			U-V V-W W-U	U-V/w-u V-W/u-v W-U/v-w	V-W W-U U-V	$\frac{U_1}{U_2 \cdot 0.866}$
Yzn11			U-V V-W W-U	U-V/u-O V-W/v-O W-U/w-O	--- --- ---	$\frac{U_1 \sqrt{3}}{U_2}$
			U-V V-W W-U	U-V/u-v V-W/v-w W-U/w-u	v-w w-u u-v	$\frac{U_1}{U_2 \cdot 0.866}$
			U-V V-W W-U	U-V/u-w V-W/v-u W-U/w-v	V-W W-U U-V	$\frac{U_1 \cdot 0.866}{U_2}$
Dyn1			U-V V-W W-U	U-V/O-v V-W/O-w W-U/O-u	--- --- ---	$\frac{U_1 \sqrt{3}}{U_2}$

## b) Causas frecuentes de falla

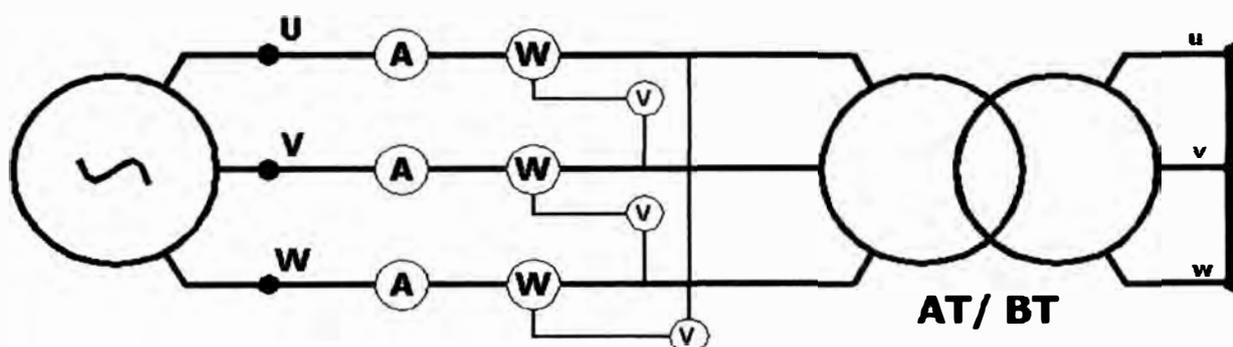
Las principales causas de falla de esta prueba son:

- Los terminales del equipo están invertidos
- Uno de los terminales internos esta descompuesto
- Conmutador de AT en punto flotante, para lo cual se debe de realizar la maniobra del conmutador desde la posición máxima a la posición mínima.
- Hay un corto entre espiras.

### 2.1.3 Medida de la impedancia de cortocircuito y de las pérdidas debidas a la carga

#### a) Procedimiento del ensayo

Para esta prueba se emplea la simulación de plena carga, para lo cual se pone en cortocircuito los tres bornes del devanado de mayor corriente (Fig 2.8 y Fig 2.10), alimentando con un voltaje reducido el otro devanado de mayor tensión, a frecuencia nominal y a una corriente entre el 25% y 100% de la nominal en este bobinado, se miden las pérdidas y el voltaje rápidamente para que los calentamientos no introduzcan errores significativos, se toma la temperatura del ambiente, en caso de que la medición no se haya realizado a corriente nominal (Usualmente en los ensayos, debido a las escalas de los aparatos de medida es imposible encontrar con exactitud la corriente nominal), se efectúa la corrección de los valores medidos a la corriente nominal, para luego referirlas a 75°C (Según norma) y compararlas con las pérdidas garantizadas, la cual no deberá superar las tolerancias establecidas en la norma IEC y Anexo A.



**Fig 2.8 Conexión para prueba de Impedancia y Pérdidas en Bobinados**

Los Amperímetros, Voltímetros y Vatímetros de la mesa de pruebas es modelo F/05, marca SEB, de clase de precisión 0.5, con rangos de corriente hasta 5A y tensión hasta 150V.

#### b) Cálculo de la Tensión de Cortocircuito o Impedancia.

El voltaje aplicado a uno de los devanados estando el otro en cortocircuito y que hace circular la  $I_n$ , sirve para calcular la tensión de cortocircuito ( $V_{cc}$ ). Por este motivo en 2.1.3.1 se señala que se debe medir el voltaje durante este ensayo, dicho valor nos permite calcular la tensión de cortocircuito como sigue:

$$V_{cc}\% = \frac{V_r}{V_n} \times 100 \quad (2.8)$$

Donde:

$V_r$  : Tensión del devanado en la Prueba de cortocircuito a la cual se hace circular la  $I_n$ .

$V_n$  : Tensión nominal del devanado

c) Corrección de Pérdidas y Tensión de Cortocircuito para la corriente nominal

En el caso de que la medición de pérdidas y tensión de cortocircuito se hayan efectuado con una corriente inferior a la nominal, debido a escalas de los instrumentos de medición, estas se corrigen para la corriente nominal, de acuerdo a la ecuación (2.9) y (2.10)

$$P_1 = P_m \times \left( \frac{I_n}{I} \right)^2 \quad (2.9)$$

$$V_{cc}\% = \left( \frac{V}{V_n} \right) \times \left( \frac{I}{I_n} \right) \times 100 \quad (2.10)$$

Donde:

$V$  = Tensión de lectura durante el ensayo

$I$  = Corriente de lectura durante el ensayo ( $I < I_n$ )

$V_n$  = Tensión nominal del bobinado del transformador

$I_n$  = Corriente nominal del bobinado del Transformador

$P_m$  = Potencia medida a la Tensión y Corriente de prueba  $V$  e  $I$

$P_1$  = Pérdidas en cortocircuito a  $I_n$  y  $T_1$

$V_{cc}\%$  = Tensión de cortocircuito a  $I_n$  y  $T_1$

$T_1$  = Temperatura en la parte superior del transformador, la cual será considerado de idéntico valor, que la Temperatura ambiente ( $T_a$ ).

d) Corrección de Pérdidas de Cortocircuito e Impedancia para  $I_n$  y 75 °C

El ensayo de medición de pérdidas debidas a la carga se realiza a la temperatura ambiente. Estas pérdidas se componen de unas “pérdidas ohmicas” por efecto Joule y de unas “pérdidas adicionales”, por flujos axiales y radiales en los bobinados. Por lo que es necesaria la separación de las pérdidas para referirlas a 75 °C, ya que las pérdidas de Joule varían directamente con la temperatura y las pérdidas adicionales en forma inversa.

$$P_{a1} = P_1 - P_{joule} \quad (2.11)$$

Donde:

$P_{a1}$  = Pérdidas adicionales debido al flujo de dispersión en los bobinados a temperatura Ambiente.

$P_{Joule}$  = Pérdidas por Efecto Joule, debidas a la carga medidas a temperatura ambiente

Las pérdidas por Efecto Joule a temperatura ambiente, en un Transformador Trifásico esta dado por:

$$P_{Joule} = 3xP_{Joule-fase} = 3xIn_{fase}^2 xR_{fase} \quad (2.12)$$

Según la conexión del Transformador tendremos:

Conexión Estrella

$$P_{Joule} = 3xIn_{fase}^2 xR_{fase} = 3xIn_{fase}^2 x \frac{R_a}{2} = 1.5xIn_{linea}^2 xRa \quad (2.13)$$

Conexión Delta

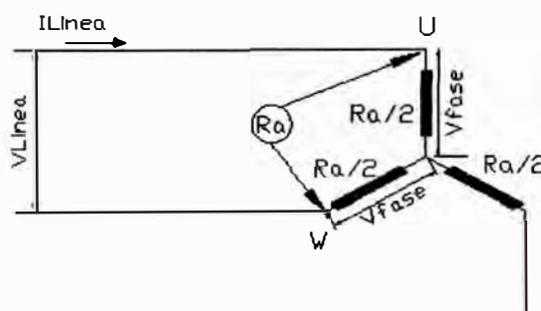
$$P_{Joule} = 3xIn_{fase}^2 xR_{fase} = 3x \left( \frac{I_{linea}^2}{3} \right) x \frac{3R_a}{2} = 1.5xIn_{linea}^2 xRa \quad (2.14)$$

Donde:

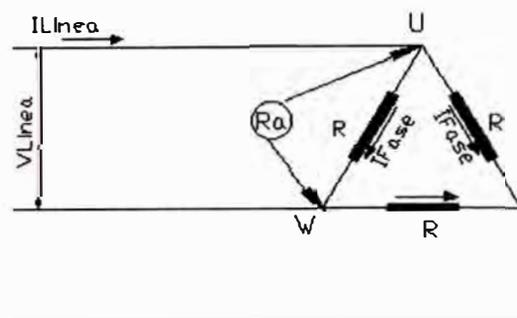
$R_a$  = Resistencia entre dos bornes AT o BT del Transformador a temperatura ambiente

(Calculada en 2.1.1-Medición de la resistencia)

$In_{Linea}$  = Corriente nominal de Línea del Bobinado



(a) Conexión Estrella



(b) Conexión Triángulo

Fig. 2.9 Pérdidas por fase

Una vez conocido las pérdidas Joule a temperatura ambiente, se calcula las pérdidas Adicionales ( $P_{al}$ ), mediante la ecuación 2.11 y se efectúa la corrección a 75°C, según norma, para la cual se aplican las ecuaciones 2.15 y 2.16.

$$P_{Joule-75^{\circ}C} = P_{Joule} \left( \frac{235 + T_{75^{\circ}C}}{235 + T_a} \right) = P_{Joule} \left( \frac{310}{235 + T_a} \right) \quad (2.15)$$

$$P_{a75^{\circ}C} = P_{al} \left( \frac{235 + T_a}{235 + T_{75^{\circ}C}} \right) = P_{al} \left( \frac{235 + T_a}{310} \right) \quad (2.16)$$

$$P_{Total-75^{\circ}C} = P_{Joule-75^{\circ}C} + P_{a75^{\circ}C} \quad (2.17)$$

Donde:

$P_{Joule-75^{\circ}C}$  = Pérdidas Joule referidas a 75°C

$P_{a75^{\circ}C}$  = Pérdidas adicionales referidas a 75°C

$P_{Total-75^{\circ}C}$  = Pérdidas Totales a 75°C

#### e) Causas frecuentes de falla

Las principales causas de falla de esta prueba son:

- a) Conmutador de AT en punto flotante, para lo cual se debe de realizar la maniobra del conmutador desde la posición máxima a la posición mínima.
- b) Mala conexión o sección insuficiente del puente de Baja Tensión

## LABORATORIO DE PRUEBAS

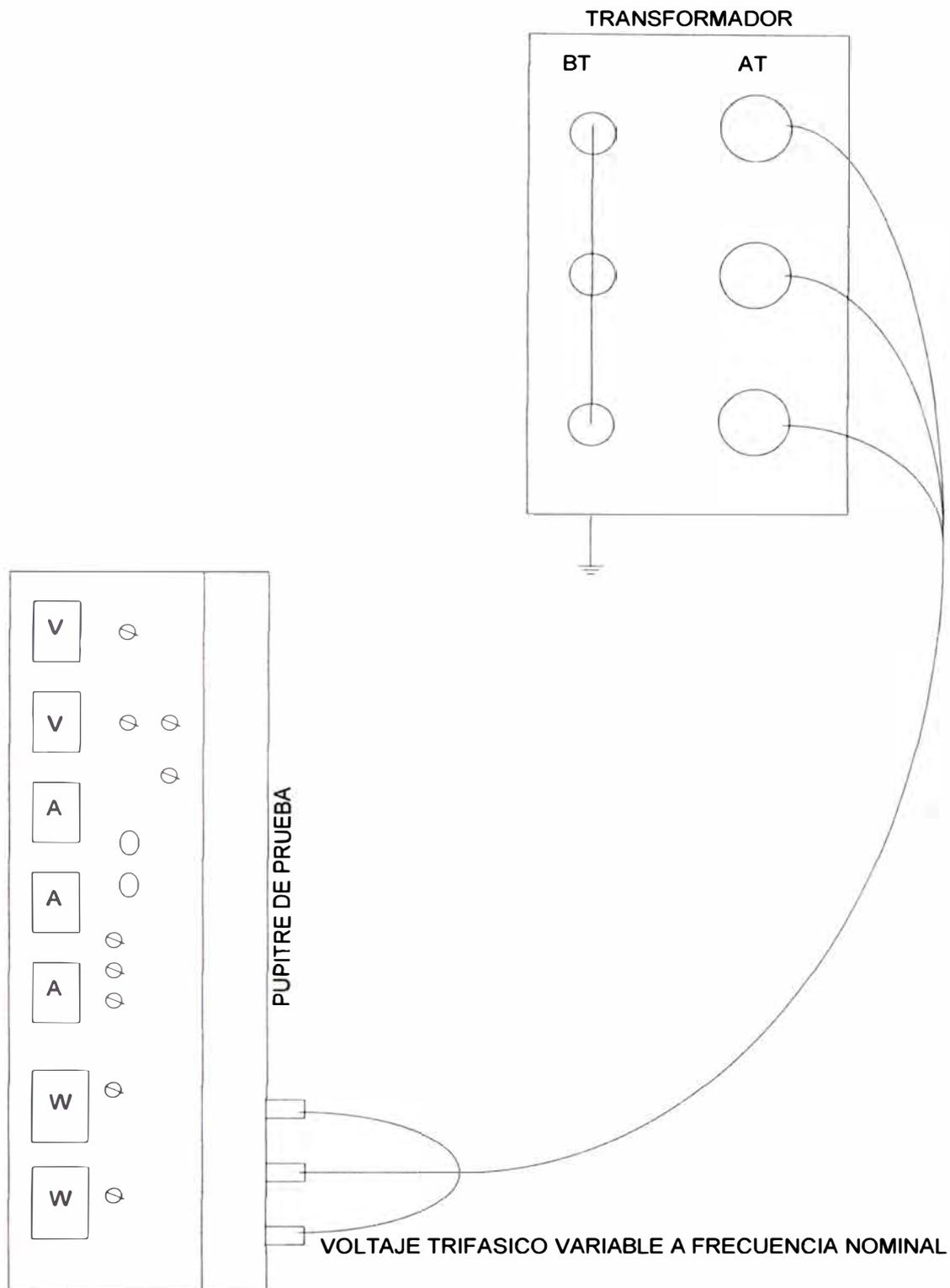
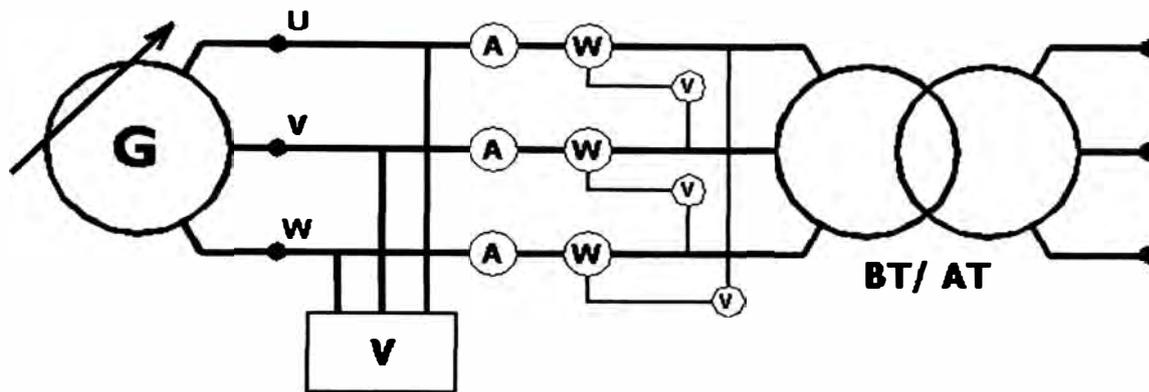


FIG. 2.10 MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO Y DE LAS PERDIDAS DEBIDAS A LA CARGA

### 2.1.4 Medida de las pérdidas y de la corriente en vacío

Esta prueba verifica el valor de las pérdidas en la estructura magnética (fierro silicoso) y mide el valor de la corriente de vacío del Transformador, para la realización de esta prueba, se alimenta con tensión nominal trifásica, 60 Hz, normalmente al devanado de menor tensión y el otro devanado queda libre de conexiones. Se mide voltajes, corrientes y potencias (Fig. 2.11).



**Fig 2.11 Conexion de Equipo para Prueba en Vacío**

Los Amperímetros, Voltímetros y Vatímetros de la mesa de pruebas es modelo F/05, marca SEB, de clase de precisión 0.5, con rangos de corriente hasta 5A y tensión hasta 150V.

Como la corriente de vacío no es perfectamente senoidal, debida a la característica B-H del Fierro Silicoso, la norma IEC 60076-1, establece un factor de corrección para obtener el valor correcto de las pérdidas totales.

Las pérdidas en vacío estaría dado por:

$$P_c(T_m) = \frac{P_m}{P_1 + kP_2} \quad (2.18)$$

$$k = \left( \frac{U_r}{U_a} \right)^2 \quad (2.19)$$

Donde:

$P_c(T_m)$  = Pérdidas sin carga, corregidas por forma de onda a temperatura  $T_m$

$P_m$  = Pérdidas sin carga medidas a temperatura  $T_m$

$P_1$  = Pérdidas por histéresis por unidad, referidas a  $P_m$ , usualmente se asume 0.5

$P_2$  = Pérdidas por corrientes parasitas por unidad, referidas a  $P_m$ , usualmente se asume 0.5

$T_m$  = Temperatura en la parte superior del aceite

$U_r$  = Tensión de prueba medida por el voltímetro de lecturas de valor eficaz (rms)

$U_o$  = Tensión de prueba medida por el voltímetro de lecturas de valor promedio.

### 2.1.5 Ensayo de Tensión Aplicada

Este ensayo se efectúa para determinar si los niveles de aislamiento de los arrollamientos con respecto a masa cumplan con las exigencias señaladas en la norma IEC 60076-3, esta prueba es también conocida como prueba de aislamiento de frecuencia industrial y su duración es de un minuto.

Las figuras 2.12 y 2.13 muestran el circuito de conexión del ensayo de Tensión Aplicada para los Bornes Alta Tensión y Baja Tensión respectivamente.

#### a) Procedimiento del ensayo

- La tensión a aplicar a los devanados del transformador será según lo indicado en la Tabla 2.2
- Puentear los bornes de AT y todos los bornes BT
- Conectar a tierra los bornes de BT o bornes no sometidos a tensión con el tanque del transformador.
- Conectar la salida de tensión variable del tablero general (Solo dos bornes – monofásico) con los bornes de alimentación del transformador Monofásico elevador (Transformador de relación de transformación 1/500). De ser el caso, se utilizara Transformadores auxiliares de relación 1/2, antes de la alimentación del Transformador Monofásico elevador para tensiones de prueba altas,
- Conectar la salida del transformador Monofásico elevador a los bornes de AT del transformador a ensayar
- Alimentar con voltaje gradual desde el tablero general al Transformador Elevador, hasta llegar al valor de la tensión de prueba indicado en la Tabla 2.2
- Alcanzado el valor de tensión de prueba, medir el tiempo de prueba (60 s) con un cronometro y el valor de tensión y corriente deben mantenerse constantes.

#### b) Criterio de aceptación

Una vez finalizado el ensayo se considera satisfactorio, si es que en el desarrollo del mismo no se presentaron anomalías en el transformador como las descargas por flameo externo o arco interno con incremento drástico de la corriente de prueba.

## c) Causas frecuentes de falla

Las causas frecuentes de falla son:

- Bajo aislamiento entre arrollamientos y respecto a masa
- Bajo nivel del aceite
- Existencia de Humedad o perdida de propiedades físicas químicas del aceite

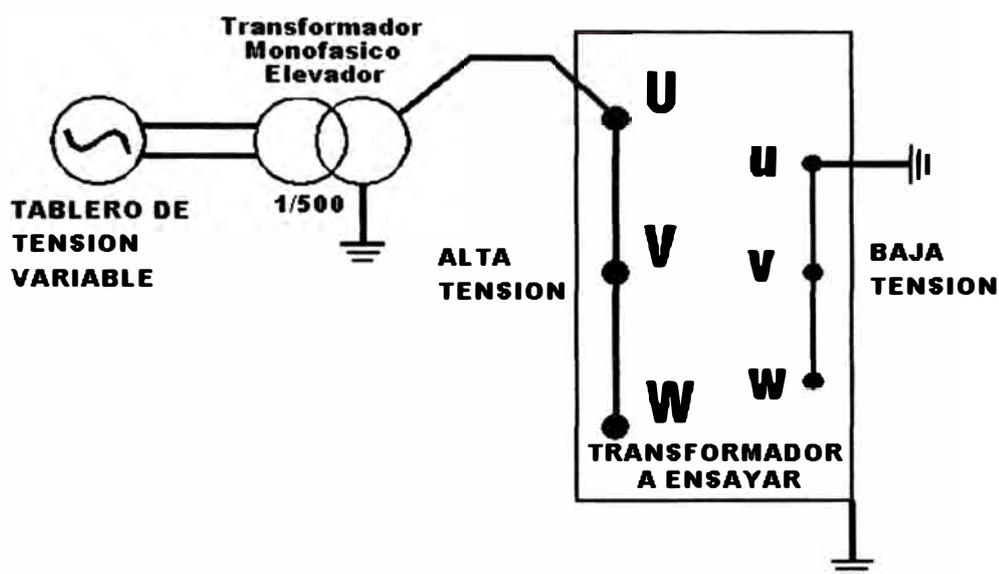


Fig. 2.12 Conexionado para Ensayo de Tension Aplicado - AT

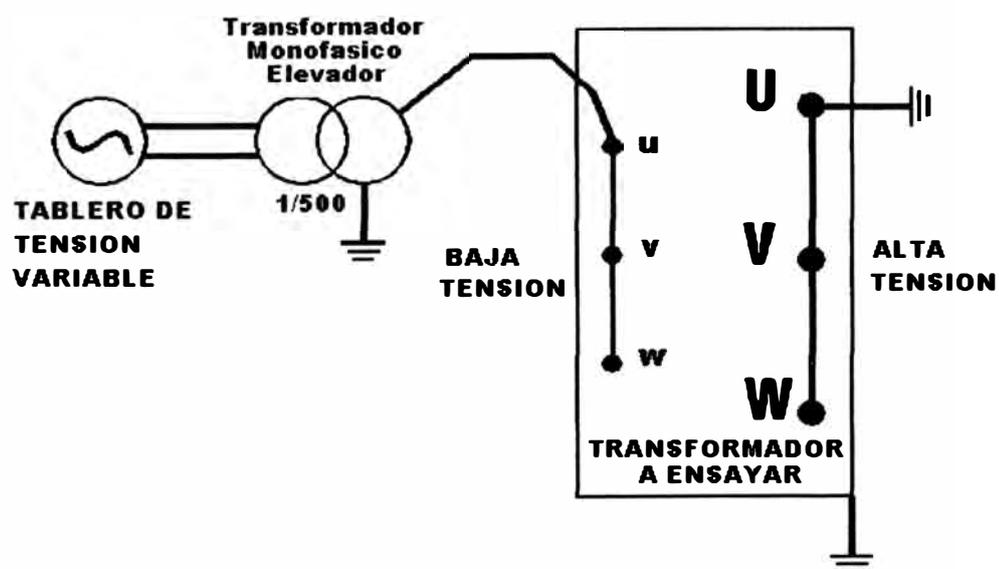


Fig. 2.13 Conexionado para Ensayo de Tension Aplicado - BT

**TABLA 2.2 Voltaje nominales aplicados para los devanados del transformador con voltajes  $U_m \leq 169$  kV**

**Serie basado en la práctica europea**

Highest voltage for equipment $U_m$ kV r.m.s.	Rated lightning impulse withstand voltage kV peak	Rated short duration induced or separate source AC withstand voltage kV r.m.s.
3.6	20	10
7.2	40	20
12	60	28
17.5	75	38
24	95	50
36	125	70
52	145	95
60	170	115
72.5	250	140
100	280	150
123	325	185
145	380	230
170	450	275
	550	325
	650	
	750	

Devanados con  $U_m \leq 1.1$  kV debera ser probado con la tensión aplicada de 3 kV

**TABLA 2.3 Voltaje nominales aplicados para los devanados del transformador con voltajes  $U_m \leq 169$  kV**

**Serie basado en la práctica americana**

Highest voltage for equipment $U_m$ kV r.m.s.	Rated lightning impulse withstand voltage kV peak		Rated short-duration induced or separate source AC withstand voltage kV r.m.s.	
	Distribution (note 1) and class I transformers (note 2)	Class II transformers (note 3)	Distribution and class I transformers	Class II transformers
	15	95 125	110 --	34 40
26.4	150	150	50	50
36.5	200	200	70	70
48.3	250	250	95	95
72.5	350	350	140	140
121		350 450		140 185
145		550 650		230 275
169		750		325

NOTE 1 Distribution transformer transfer electric energy from a primary distribution to a secondary distribution circuit.

NOTE 2 Class I power transformers include high-voltage windings of  $U_m \leq 72.5$  kV

NOTE 3 Class II power transformers include high-voltage windings of  $U_m \geq 121$  kV

**TABLA 2.4**

**Voltajes aplicado a los devanados de Transformadores con Voltajes > 170 kV**

Highest voltage for equipment Um  kV r.m.s.	Rated switching impulse withstand voltage phase-to- earth  kV peak	Rated lightning impulse withstand voltage  kV peak	Rated short-duration induced or separate source AC withstand voltage  kV r.m.s.
245	550	650	325
	650	750	360
	750	850	395
	850	950	460
	950	1050	510
300	850	1175	
	950	1175	
362	950	1175	
	1175	1175	
420	850	1050	460
	950	1175	510
	1050	1300	570
550	1175	1425	630
	1300	1550	680
800	1300	1675	Nota 3
	1425	1800	Nota 3
	1550	1950	Nota 3
	1950	2100	Nota 3
	2100	2100	Nota 3

NOTE 1 Dotted lines are not in line with IEC 60071-1 but are current practice in some countries

NOTE 2 For uniformly insulated transformers with extremely low values of rated AC insulation levels, special measures may have to be taken to perform the short-duration AC induced test

NOTE 3 Not applicable, unless otherwise agreed

NOTE 4 For voltages given in the last column, higher test voltages may be required to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met. This is valid for the lower insulation levels assigned to the different Um in the table

### 2.1.6 Ensayo de Tensión Inducida

Este ensayo tiene como finalidad, verificar los esfuerzos dieléctricos producido en los aislamientos entre todos los puntos donde se induce tensión, esto es, entre espiras, entre capas, entre derivaciones, entre salidas, etc.

Con ese fin se aplica al arrollamiento de menor tensión, el doble de la tensión nominal, durante un tiempo de prueba establecido. Para que el núcleo no se sature con el doble de la tensión inducida se debe también duplicar la frecuencia, en el caso de utilizar en el ensayo frecuencias mayores a la nominal, el tiempo establecido para la prueba estará dada por:

$$T_i = 120x \frac{f_n}{f_i} \quad (2.20)$$

$T_i$  = Tiempo de prueba

$f_n$  = Frecuencia nominal

$f_i$  = Frecuencia de prueba

La figura 2.14 muestra el circuito de conexión a emplearse para el ensayo de Tensión inducida.

#### a) Procedimiento del ensayo

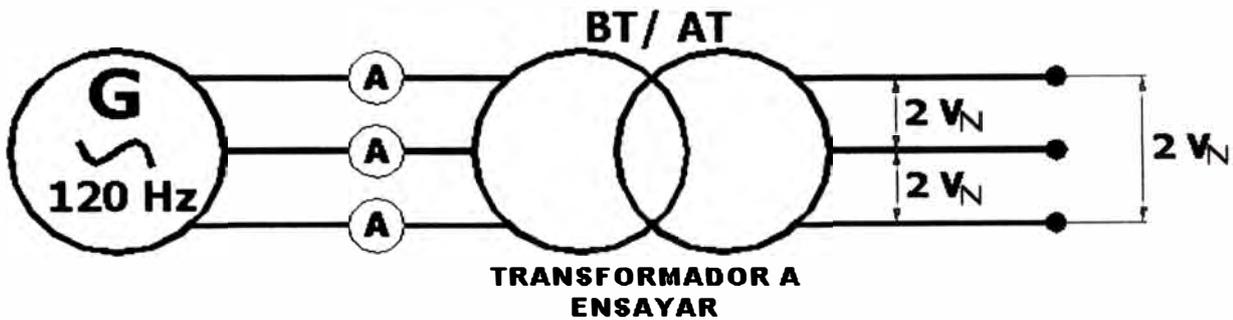
- Colocar la salida del grupo convertidor de frecuencia-transformador auxiliar a los bornes de menor tensión del transformador de prueba (en caso de no requerirse transformador auxiliar, la conexión será directa al grupo convertidor al transformador de prueba), conectar el tanque a tierra.
- Alimentar desde el tablero general al motor del grupo convertidor de frecuencia
- Incrementar la tensión de alimentación al motor del convertidor hasta alcanzar el voltaje y frecuencia nominal de prueba. A la salida del convertidor se conectan los instrumentos respectivos para efectuar las mediciones de frecuencia y voltaje.
- Alcanzado el valor de tensión de prueba se empieza a medir el tiempo indicado en la norma IEC 60076 o la ecuación (7)

#### b) Criterio de aceptación

Una vez finalizado el ensayo se considera satisfactorio, si es que en el desarrollo del mismo no se presentaron anomalías en el transformador como descargas internas o externas, acompañadas de un brusco aumento de corriente.

#### c) Causas frecuentes de fallas:

Si durante el ensayo se observa un aumento súbito de la corriente de alimentación y simultáneamente se dispara la protección (fusible o disyuntor) es indicio de que ocurrió un cortocircuito que pueda estar localizado entre el devanado de baja tensión contra el núcleo o el devanado de alta tensión contra algún otro elemento conectado a tierra.



**Fig. 2.14 Tension Inducida**

Los Amperímetros, Voltímetros de la mesa de pruebas es modelo F/05, marca SEB, de clase de precisión 0.5, con rangos de corriente hasta 5A y tensión hasta 150V.

## CAPITULO III

### ANALISIS Y DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS DE TIPO

#### 3.1 Introducción

Los ensayos de tipo se efectúan en una unidad del lote ó según acuerdo entre el fabricante y el propietario, por la totalidad del lote. Estos ensayos verifican el comportamiento frente a regimenes transitorios de sobre tensiones así como la capacidad del transformador para suministrar su potencia nominal. Estos ensayos son exclusivamente realizados en el laboratorio del fabricante

Los ensayos de tipo establecidos en la norma IEC 60076-1 son:

- Ensayo de Calentamiento
- Ensayo de impulso

#### 3.1.1 Ensayo de Calentamiento

##### a) Objetivo

.La prueba de calentamiento tiene por objeto determinar el calentamiento final de los arrollamientos y del aceite respecto al medio ambiente, en condiciones nominales de funcionamiento, con lo cual queda garantizado que el equipo puede suministrar su potencia nominal especificada.

##### b) Procedimiento del ensayo

El procedimiento se basa exigir al transformador el suministro de su potencia nominal, para lograr esto se aplica el método de cortocircuito. Este método es similar a la prueba de cortocircuito, es decir alimentar por el devanado de mayor tensión y el otro devanado en cortocircuito, de modo que se logre una corriente de prueba (Corriente mayor a la  $I_n$ ), que cargue el transformador de modo que la potencia medida sean las pérdidas totales es decir:

$$P_{Total} = P_{Fe} + P_{Cu(75^{\circ}C)} \quad (3.1)$$

En esta condición se simula la operación del Transformador a potencia nominal. Lo importante de esta prueba es mantener las pérdidas totales constantes a lo largo de todo el ensayo, ya que como es sabido al variar la temperatura de los arrollamientos variara la corriente de ensayo por lo que es necesario efectuar las correcciones al voltaje aplicado a fin de tener las pérdidas totales constantes.

Se toman lecturas de Potencia, Tensión, corriente, temperatura del ambiente, Temperatura del aceite y temperatura en los radiadores, en caso exista, con intervalos de media hora hasta que establezca el calentamiento del aceite respecto al medio ambiente. Se considera que el calentamiento esta establecido cuando no existe variación de mas de 1°C durante un periodo de tres horas. Después de determinado el calentamiento del aceite (Temperatura en la parte superior del aceite), el ensayo continuara inmediatamente, reduciendo la corriente de ensayo a un valor igual a la corriente nominal ( $I_n$ ). Esta condición de ensayo se mantendrá durante una hora con observación continua de las temperaturas del aceite y del medio de refrigeración, para luego desconectar el circuito y realizar la medición de las resistencias de los devanados y calcular la temperatura media del arrollamiento por el Método de Variación de Resistencia.



### c) Calentamiento del aceite

El calentamiento superior del aceite y la temperatura media del aceite se determinan mediante la alimentación a Pérdidas Totales y mediciones respectivas:

$$T_{as} = T_A - T_a \quad (3.2)$$

$$T_{am} = T_{as} - \left( \frac{T_S - T_I}{2} \right) \quad (3.3)$$

$T_{as}$  = Calentamiento superior del aceite con pérdidas aplicadas en el ensayo (°C)

$T_{am}$  = Calentamiento Medio del aceite con pérdidas aplicadas en el ensayo (°C)

$T_A$  = Temperatura del aceite, parte superior, medición con termómetro (°C)

$T_S$  = Temperatura de parte superior de las aletas o radiadores (°C)

$T_I$  = Temperatura de parte inferior de las aletas o radiadores (°C)

$T_a$  = Temperatura ambiente (°C)

### d) Calentamiento del aceite referido a pérdidas nominales

Cuando las pérdidas totales del transformador, difieren de las pérdidas nominales, el calentamiento del aceite se corrige de la siguiente manera:

$$T_{AS} = T_{as} \left( \frac{P_n}{P} \right)^x \quad (3.4)$$

$$T_{AM} = T_{am} \left( \frac{P_n}{P} \right)^x \quad (3.5)$$

$P_n$  = Pérdidas totales nominales (Watt)

$P$  = Pérdidas aplicadas durante el ensayo

$x$  = Para enfriamiento natural en aire es 0.8 y  
para enfriamiento con aire forzado es 1

$T_{as}$  = Calentamiento superior del aceite con pérdidas aplicadas en el ensayo(°C)

$T_{am}$  = Calentamiento Medio del aceite con pérdidas aplicadas en el ensayo (°C)

### e) Calentamiento de los arrollamientos

Una vez establecido y determinado el calentamiento en la parte superior del aceite y reducido la corriente a la corriente nominal, determinaremos la temperatura media de los arrollamientos.

#### f) Método de Variación de Resistencia

Se mide la resistencia de los devanados en frío (medida tomada del Ensayo Individual del transformador) y en caliente (Valor hallado de la extrapolación de valores después del corte) y por su variación se determina la temperatura media de las bobinas.

Para el cálculo de esta temperatura, usaremos la siguiente ecuación.

$$T_c = \left( \frac{R_c}{R_a} (T_a + 235) \right) - 235 \quad (3.6)$$

Donde:

$T_c$  = Temperatura media del devanado (°C)

$R_c$  = Resistencia del devanado, al momento de desconexión

$T_a$  = Temperatura inicial o ambiente

$R_a$  = Resistencia inicial, calculada del ensayo individual de medida de la resistencia.

Considerando que para el calculo de  $R_c$ , se toman en cuenta limitaciones de medición, se realizaran una serie de mediciones de la resistencia inmediatamente después de desconectado el transformador y se trazara la curva resistencia versus tiempo, extrapolando hacia el inicio, para  $t=0$  (momento de la desconexión), con la finalidad de calcular la Resistencia  $R_c$  y mediante la ecuación 3.6 calculamos la temperatura media del devanado.

#### g) Calentamiento del arrollamiento con intensidad nominal

La intensidad que circula por los arrollamientos, en la prueba para determinar su calentamiento respecto al aceite, no debe estar más alejado del  $\pm 10\%$  de la corriente nominal. Cuando la intensidad de prueba es diferente a la nominal dentro del rango indicado, el calentamiento del arrollamiento, se corrige según.

$$T_c' = T_c \left( \frac{I_n}{I} \right)^y \quad (3.7)$$

Donde:

$I_n$  = Intensidad nominal del arrollamiento

$I$  = Intensidad durante la prueba de calentamiento del aceite

$y$  = Para refrigeración natural del aceite o forzado es 1.6 y

Para refrigeración por circulación dirigida del aceite es 2.0

## h) Calentamiento Arrollamiento-Aceite

Esto estará dado por:

$$T_{\text{ARROLLAMIENTO-ACEITE}} = T_C' - T_{AM} \quad (3.8)$$

Donde:

$T_{\text{ARROLLAMIENTO-ACEITE}}$  = Temperatura Media del arrollamiento (°C)

$T_C'$  = Temperatura media del devanado corregido a la corriente nominal

$T_{AM}$  = Temperatura media del aceite corregida a la perdidas totales nominales

### 3.1.2 Ensayo de Impulso

#### a) Introducción

Debido a los fenómenos de origen atmosférico se originan sobre tensiones internas en los bobinados de transformadores que exigen a los aislamientos de manera muy diferente a las pruebas a frecuencia industrial.

El efecto de las sobre tensiones de origen atmosférico en los transformadores, son fenómenos que se pueden describir mediante modelos simplificados del tipo capacitivo.

#### b) Objetivo

Comprobar que los aislamientos del bobinado pueden soportar los esfuerzos eléctricos cuando son sometidos a sobre tensiones de origen atmosférico.

La simulación de la sobre tensión atmosférica, se realiza mediante las formas de ondas normalizadas, las cuales son de exigencia similar a las sollicitaciones que recibiría el transformador en una descarga atmosférica cualquiera.

#### c) Comportamiento del Transformador frente a las sobre tensiones de Origen Atmosférico

El circuito equivalente del arrollamiento de un Transformador (A-B), considerando que sus parámetros inductivos y capacitivos están uniformemente distribuidos a lo largo del arrollamiento, se muestra en la siguiente figura 3.2.

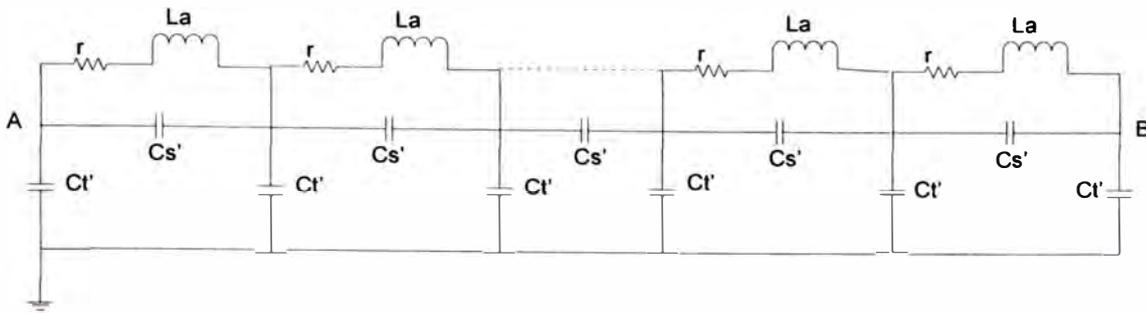


FIG. 3.2 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL ARROLLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR

Donde:

$C_s'$  = Capacidad entre espiras del arrollamiento

$C_t'$  = Capacidad entre espiras del arrollamiento y masa (tierra)

$r$  = Resistencia de los arrollamientos

$L_a$  = Inductancia de los arrollamientos

A-B = Principio y fin del arrollamiento respectivamente

Al inicio de la sobre tensión  $V_0$  ( $t=0$ ), las corrientes solo fluyen por las capacidades, puesto que  $L_a = \infty$ . Considerando que las resistencias de los arrollamientos pueden despreciarse, además y si además se considera que las capacitancias entre espiras consecutivas, a lo largo del arrollamiento, así como entre cada espira y masa, son uniformes, se obtiene el siguiente circuito equivalente (Fig 3.3), El cual nos sirve para calcular la distribución inicial de la tensión de impulso a lo largo de todo el arrollamiento.

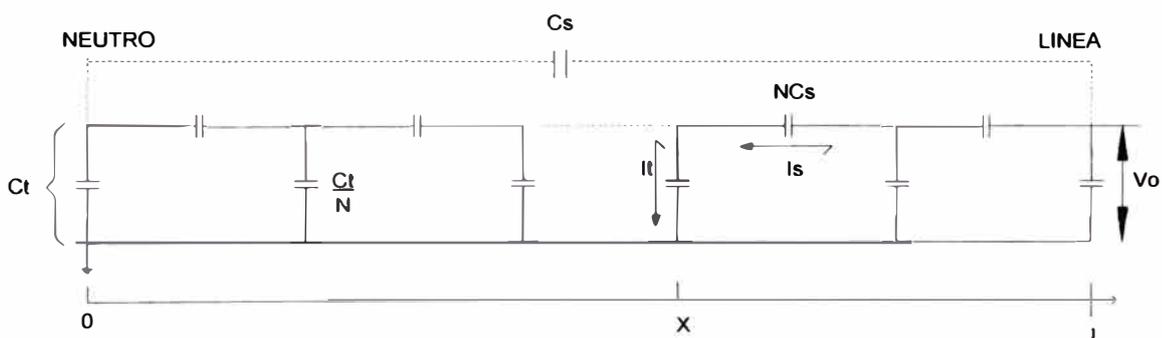


FIG. 3.3 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL ARROLLAMIENTO

Donde:

$L$  : Longitud total del arrollamiento

$x$  : Coordenada de un punto genérico medido en el sentido del eje del Arrollamiento

$N$  : Numero de espiras

$C_s$  : Capacidad equivalente entre principio y fin del arrollamiento, debido a las capacitancias a lo largo del arrollamiento, entre espiras, entre capas, etc

$C_t$  : Capacidad equivalente entre arrollamiento y masa, debido a las capacidades de cada arrollamiento con respecto a los otros arrollamientos, al núcleo y al tanque.

Si el neutro del Transformador esta conectado a tierra o si es aislado, el valor de la distribución de impulso queda definido por las siguientes ecuaciones

Neutro Aislado

$$V = V_0 \frac{\cosh\left[\left(\frac{x}{L}\right)\alpha\right]}{\cosh(\alpha)} \tag{3.9}$$

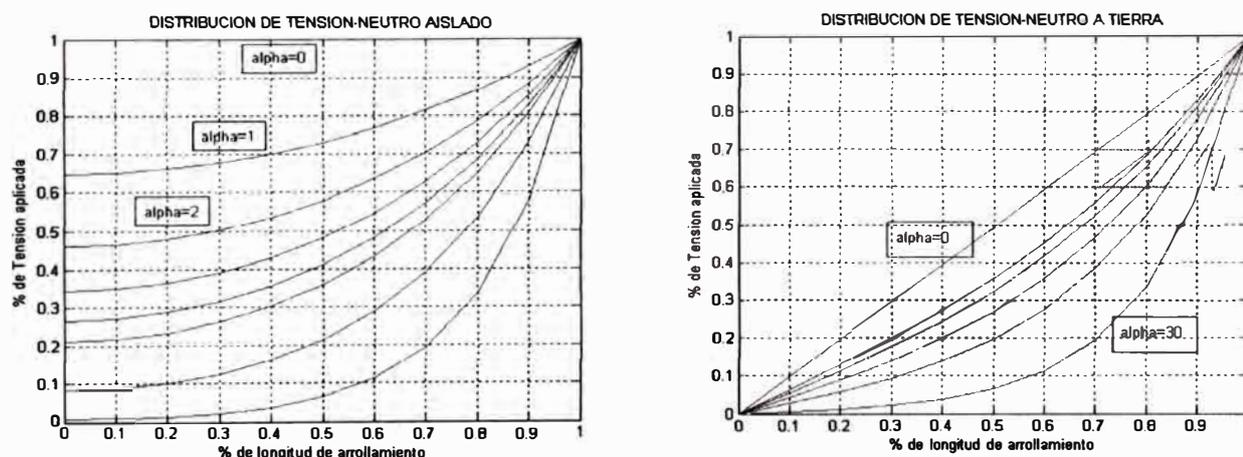
Neutro aterrado

$$V = V_0 \frac{\sinh\left[\left(\frac{x}{L}\right)\alpha\right]}{\sinh(\alpha)} \tag{3.10}$$

Donde

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_t}{C_s}}$$

Graficando la distribución de tensión a lo largo del arrollamiento, expresadas según las expresiones (3.9) y (3.10), se obtiene:



**FIGURA 3.4 DISTRIBUCION DE LA TENSION**



C1	:	Capacitancia del lado de alta tensión del divisor
C2	:	Capacitancia del lado de baja tensión
R1	:	Resistencia
S	:	Espinterometro de esferas
Z	:	Cable coaxial de medida $Z_0=75 \Omega$
O	:	Osciloscopio de dos canales
Vc	:	Voltímetro de cresta
T	:	Transformador en prueba
D	:	Medición para la medida de la corriente en el arrollamiento en prueba
Cc	:	Condensador de carga

#### e) Detección de Fallas

El método de detección de fallas es mediante la comparación de oscilogramas de tensión y corriente al 50% del BIL y al 100%.

Estos oscilogramas no deben presentar distorsiones en la forma de onda ya que de existir grandes variaciones entre la forma de onda al 100% y 50% del BIL, indican fallas del equipo en prueba; que de acuerdo a los oscilogramas pueden ser descargas a masa, descargas entre espiras.

## CONCLUSIONES

1. Los transformadores conectados a redes en la que no se cuentan con la respectiva coordinación de la protección y de aislamiento se encuentran muy propensos a ser susceptibles de fallas, por lo que las características del transformador y del sistema ha de considerarse para la implementación de la misma.
2. Los transformadores proyectados a trabajar en zona de alto nivel de descargas atmosféricas, han de ser construidos de manera que soporten las solicitudes generadas por las sobre tensiones, que se presentan al incidir dichas descargas, para esto es necesario conocer y comprobar la distribución de la tensión en la prueba de impulso.
3. También se debe considerar que a pesar de que muchos transformadores no están instalados zonas de alto nivel isoceraunico, pueden ser afectados por las sobre tensiones atmosféricas si forman parte de un sistema interconectado.
4. La prueba de calentamiento nos indica la operatividad del transformador entregando su potencia nominal, sin sobrepasar los límites de temperatura máximas establecidas en el diseño.

**ANEXO A**  
**TOLERANCIAS ESTABLECIDAS POR IEC 60076-1 EN ENSAYOS**  
**INDIVIDUALES**

## TOLERANCIAS ESTABLECIDAS POR IEC 60076-1 EN ENSAYOS INDIVIDUALES

Tabla 1 – Tolerancias

Apartado	Tolerancia
1 a) Pérdidas totales b) Pérdidas parciales } (Véase nota 1)	+ 10% de las pérdidas totales  + 15% de cada una de las pérdidas parciales a condición de no sobrepasar la tolerancia sobre las pérdidas totales
2 Relación de transformación en vacío en la toma principal para un primer par especificado de arrollamientos  Relación de transformación en otras tomas del mismo par  Relación de transformación en otros pares	El menor de los valores siguientes: a) $\pm 0,5\%$ de la relación especificada b). $\pm 1/10$ de la impedancia porcentual real en la toma principal.  Sujeto a acuerdo, pero sin ser inferior al más bajo de los valores a) y b) anteriores  Sujeto a acuerdo, pero sin ser inferior al más bajo de los valores a) y b) anteriores
3 Impedancia de cortocircuito para: – un transformador de arrollamientos separados, con dos arrollamientos, o – un primer par especificado de arrollamientos separados, en un transformador con más de dos arrollamientos  a) Toma principal  b) Cualquier otra toma del par	    Cuando el valor de la impedancia $\geq 10^{\circ}$ $\pm 7,5\%$ del valor especificado  Cuando el valor de la impedancia $< 10^{\circ}$ $\pm 10\%$ del valor especificado  Cuando el valor de la impedancia es $\geq 10^{\circ}$ $\pm 10\%$ del valor especificado  Cuando el valor de la impedancia es $< 10^{\circ}$ $\pm 15\%$ del valor especificado
4 Impedancia de cortocircuito para – un par de arrollamientos autoconectados, o – un segundo par especificado de arrollamientos separados dentro de un transformador de más de dos arrollamientos  a) Toma principal b) Cualquier otra toma del par  – Otros pares de arrollamientos	    $\pm 10\%$ del valor declarado $\pm 15\%$ del valor declarado para dicha toma  Sujeto a acuerdo, pero $\geq 15\%$
5 Corriente en vacío	+30% del valor especificado

**NOTAS**

1. En el caso de transformadores con más de dos arrollamientos, las tolerancias sobre las pérdidas se entienden para cada par de arrollamientos a menos que la garantía especifique que se aplican a unas condiciones de carga dadas.
2. En el caso de ciertos autotransformadores y adicionadores-sustractores, su impedancia pequeña justifica una tolerancia más amplia. Los transformadores con unas amplias extensiones de tomas pueden necesitar consideración especial, sobre todo si la extensión es asimétrica. Por otra parte, por ejemplo cuando el transformador se combina con unidades ya existentes, puede estar justificado especificar y acordar unas tolerancias más restringidas de la impedancia. Es necesario señalar el tema de tolerancias especiales en la etapa de la elaboración de la oferta, y las tolerancias revisadas serán objeto de un acuerdo entre fabricante y cliente.
3. "Valor declarado" debería ser interpretado que significa valor declarado por el fabricante.

**ANEXO B**

**PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE 7 MVA, 60/10 KV DE  
LA SUBESTACION BELLAVISTA – ELECTROPUNO.**

# PROTOCOLO DE PRUEBA DE TRANSFORMADOR

Cliente **ELECTRO PUNO S.A.** N° T 10179  
 Orden del cliente O. T. N° : 162162 T

## DATOS DE PLACA Y CARACTERÍSTICAS

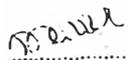
Transformador	tri fasico	" DELCROSA "	N° 162162 T
tipo :	TO CH - ONAN ;	de 2 arrollamientos ;	frecuencia nom : 60 HZ
refrigeración :	ONAN ;		servicio : CONTINUO
instalación :	Int - Ext	altura : 4500 m. ;	liquido dieléctrico ACEITE
grupo de conexión :	YNd5		

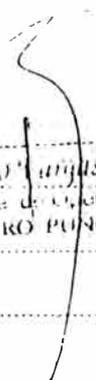
	Potencia Nominal ( MVA )	Tensión Nominal ( KV )	Tipo de conmutador	Conexion
A T	7	60 +4 X1.25% -12 X1.25%	BAJO CARGA	ESTRELLA + N
B T	7	10		TRIANGULO

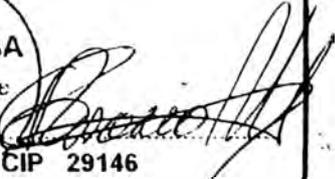
La prueba fue realizada según Norma : **IEC 76**

## FECHA Y LUGAR DE LA PRUEBA

Esta prueba se realizó en la fecha del 11 al 13 de agosto del 2005  
 en la sala de Pruebas de Construcciones Electromecánicas DELCROSA S.A. ;  
 ante la presencia de los Ings. Lucio Vargas y Luis Mamani

  
 A. Mamani Coyla  
 JEFE DE OPERACIONES  
 Electro Puno S.A.A  
 por el cliente :

  
 Ing. Lucio Vargas  
 Gerente de Operaciones  
 ELECTRO PUNO S.A.A

Por DELCROSA S.A.   
 Control de Calidad  
 Ing. CIP 29146  
**César Rosario Maldonado**

## TABLA DE RESULTADOS

### 1.- Perdida (Kw) Y corriente en vacio (%).

	a Vn - 10 %		a Vn		a Vn + 10 %	
	P <sub>0</sub>	I <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	I <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	I <sub>0</sub>
Valor medido	5.18	0.09	6.56	0.14	8.54	0.35
Valor garantizado			6.2	Tol + 15 %		
Nota - La I <sub>0</sub> esta referida a la potencia de : 10 MVA						

### 2.- Perdidas en el Cu debido a la carga a 75 °C (KW)

Potencia Ref. (KVA)	7000	7000	7000			
Relación (KV)	63 / 10	60 / 10	51 / 10			
Valor medido	35.538	32.466	43.364			
Valor garantizado		34		Tol + 15 %		

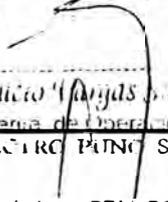
### 3.- Tensión de corto circuito a 75 °C (%).

Potencia Ref. (KVA)	7000	7000	7000			
Relación (KV)	63 / 10	60 / 10	51 / 10			
Valor medido	7.91	7.60	7.41			
Valor garantizado		7.40		Tol + 1/10		

### 4.- Sobretemperatura (°C)

Potencia (KVA)	7000					
Relación (KV)	60 / 10					
	Medido	Garant.	Medido	Garant.	Medido	Garant.
Max. en el aceite	42.39	60				
Media en el aceite	33.19					
Media en el arroll. AT	43.44	65				
Media en el arroll. BT	44.18	65				

162162 T

  
 Ing. Víctor Rojas  
 Gerente de Operaciones  
 ELECTRO PUNO S.A.

  
 DELCROSA  
 Control de  
 Calidad

Lic. A. Mamani Coyla  
 ASISTENTE DE OPL  
 Electro Puno S.A.

Consultaciones Electromecánicas DELCROSA S.A. Av. Argentina 1515 AP.-48 Lima 100 - PERU | 336-6614 - Fax: 336-8 189  
 e mail: postmast@delcrosa.com.pe

MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS								
Metodo : VOLT AMPERIMETRICO			162162 T					
Arrollamiento : PRIMARIO posición del conmutador : # 1			Arrollamiento : PRIMARIO posición del conmutador : # 5			Arrollamiento : PRIMARIO posición del conmutador : # 17		
ENTRE LOS TERMINALES	LECTURA volt/amp	RESISTENCIA ( Ohm )	ENTRE LOS TERMINALES	LECTURA volt/amp	RESISTENCIA ( Ohm )	ENTRE LOS TERMINALES	LECTURA volt/amp	RESISTENCIA ( Ohm )
U - V	7.18	2.331169	U - V	7.1	2.232704	U - V	7.4	2.371795
	3.08			3.18			3.12	
V - W	7.2	2.337662	V - W	7.1	2.246835	V - W	7.34	2.360129
	3.08			3.16			3.11	
W - U	7.21	2.356209	W - U	7.09	2.236593	W - U	7.44	2.384615
	3.06			3.17			3.12	
Promedio a 18 °C =	2.341680		Promedio a 18 °C =	2.238711		Promedio a 18 °C =	2.372180	
Promedio a 75 °C =	2.870297		Promedio a 75 °C =	2.744083		Promedio a 75 °C =	2.907682	
Arrollamiento : SECUNDARIO posición del conmutador : .....			Arrollamiento : posición del conmutador : .....			Arrollamiento : ..... posición del conmutador : .....		
ENTRE LOS TERMINALES	LECTURA mvolt/amp	RESISTENCIA ( Ohm )	ENTRE LOS TERMINALES	LECTURA	RESISTENCIA ( Ohm )	ENTRE LOS TERMINALES	LECTURA	RESISTENCIA ( Ohm )
u - v	290.2	0.040194	u - v				V	
	7.22			A				
v - w	302.7	0.042159	v - w				V	
	7.18			A				
w - u	300.3	0.041708	w - u				V	
	7.2			A				
Promedio a 18 °C =	0.0413537		Promedio a ..... °C =			Promedio a ..... °C =	.....	
Promedio a 75 °C =	0.0506890		Promedio a 75 °C =			Promedio a 75 °C =	.....	

<b>MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION</b>							
( Equipo : PUNTE BARBAGELATA )							
60 / 10 Kv							
162162 T							
Posición Conmutador	Relación Teórica	Lectura Punte	Valor medido			Tolerancia ( ± 5 / 1000 )	
			$\frac{U - \text{O}}{w - u}$	$\frac{V - \text{O}}{u - v}$	$\frac{W - \text{O}}{v - w}$	Max.	Min.
1	6.300	3.637	3.6422	3.6425	3.6426	3.655	3.619
2	6.225	3.594	3.5989	3.5990	3.5989	3.612	3.576
3	6.150	3.551	3.5554	3.5553	3.5553	3.568	3.533
4	6.075	3.507	3.5118	3.5117	3.5117	3.525	3.490
5	6.000	3.464	3.4682	3.4680	3.4680	3.481	3.447
6	5.925	3.421	3.4247	3.4244	3.4245	3.438	3.404
7	5.850	3.377	3.3811	3.3808	3.3809	3.394	3.361
8	5.775	3.334	3.3374	3.3372	3.3373	3.351	3.318
9	5.700	3.291	3.2939	3.2936	3.2937	3.307	3.274
10	5.625	3.248	3.2503	3.2500	3.2501	3.264	3.231
11	5.550	3.204	3.2067	3.2064	3.2065	3.220	3.188
12	5.475	3.161	3.1630	3.1628	3.1629	3.177	3.145
13	5.400	3.118	3.1195	3.1192	3.1194	3.133	3.102
14	5.325	3.074	3.0759	3.0756	3.0758	3.090	3.059
15	5.250	3.031	3.0324	3.0320	3.0322	3.046	3.016
16	5.175	2.988	2.9887	2.9884	2.9887	3.003	2.973
17	5.100	2.944	2.9451	2.9449	2.9452	2.959	2.930

## MEDIDA DE AISLAMIENTO

### PRUEBA DE TENSION APLICADA

Posición del conmutador # 1

T (seg.)	F (Hz)	VL (Vol ts)	K (Divisor)	V (Kv)	Modalidad		Resultado
						KV	
60	60	76	500	38	AT / MASA + BT	38	FAVORABLE
60	60	76	500	38	BT / MASA + AT	38	FAVORABLE

### PRUEBA DE TENSION INDUCIDA ( AISLAMIENTO ENTRE ESPIRAS )

Posición del conmutador # 1

T (seg.)	F (Hz)	V (Vol ts)	K	VBT (Vol ts)		VAT (vol ts)	Resultado
40	180	460	43.478	20000		126000	FAVORABLE

### MEDIDA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

V (D.C.)	Modalidad	Resistencia (Mohms)
5000	AT / M	15000
5000	AT / BT	20000
5000	BT / M	8000

Observaciones:

162162 T



ENERGIA PARA EL PERU

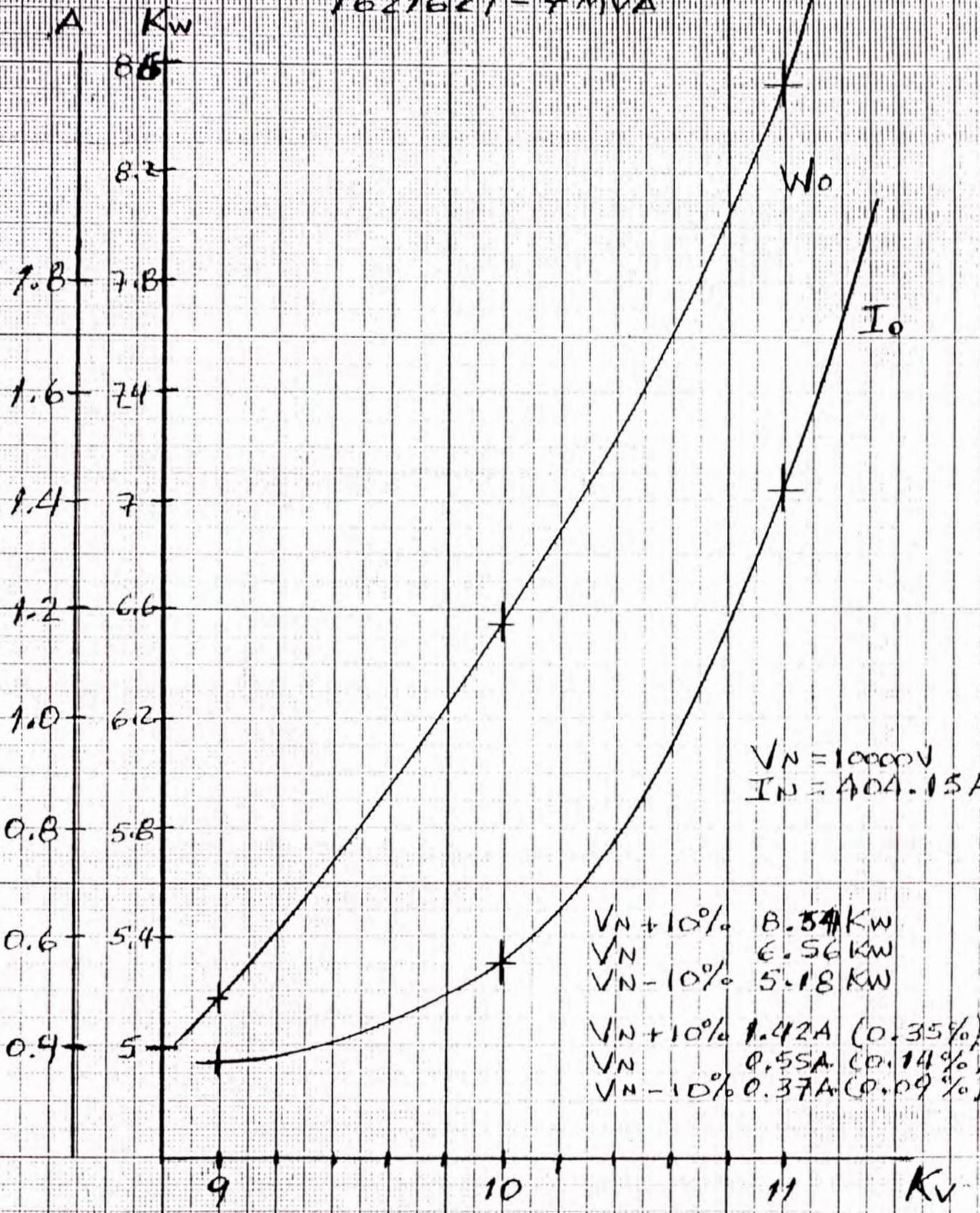
## MEDIDA DE LAS PERDIDAS Y CORRIENTE EN VACIO

Alimentación lado : B T ; posición del conmutador: # 1 Vn 10000 V ; In: 404.15 A ( a 7 MVA ) ; Frec.: 60 Hz

I	Kv	Kvm	Ka	Kw	V12	V23	V31	V12m	V23m	V31m	A1	A2	A3	W3f
1	100	100	0.5	250	110	111	110	110	111	109	3.16	2.86	2.85	34
2	100	100	0.5	250	108	108	107.5	108.5	109	108	2.45	2.11	2.10	32
3	100	100	0.25	125	105	105.5	105	106	107	105.5	3.75	3.14	3.30	59
4	100	100	0.25	125	103	103.5	103	104.5	105	103	3.11	2.56	2.66	56
5	100	100	0.25	125	100	100	99.5	101.5	101.5	100	2.51	2.00	2.11	51.5
6	100	100	0.25	125	97	97	96.5	99	99	98	2.14	1.70	1.80	48
7	100	100	0.25	125	95	95	95	97	97	96	2.00	1.56	1.69	46
8	100	100	0.25	125	93	93	93	94	94	93.5	1.84	1.40	1.51	44
9	100	100	0.25	125	90	90	90	91	91	90.5	1.70	1.30	1.39	40.5

I1	V (v)	Vm (v)	I (A)	Pm (kw)	0.5 + 0.5 k	P (kw)	Nota :
1	11033	11000	1.48	8.50	1.00303	8.474	Observaciones : V = Tensión eficaz Vm = Tensión media  <b>162162 T</b>
2	10783	10850	1.11	8.00	0.99387	8.049	
3	10517	10617	0.85	7.38	0.99063	7.445	
4	10317	10417	0.69	7.00	0.99045	7.068	
5	9983	10100	0.55	6.44	0.98852	6.512	
6	9683	9867	0.47	6.00	0.98159	6.113	
7	9500	9667	0.44	5.75	0.98291	5.850	
8	9300	9383	0.40	5.50	0.99116	5.549	
9	9000	9083	0.37	5.06	0.99087	5.109	

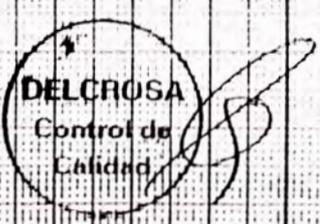
# CURVA DE VACIO 162162T-7MVA



$V_N = 10000V$   
 $I_N = 404.15A$

Luis A. Mardell Estilista  
Instituto de Ingeniería y Tecnología  
Escuela Politécnica

Mtro. Lucio Valdez  
Instituto de Ingeniería y Tecnología  
Escuela Politécnica



**MEDIDA DE LAS PERDIDAS DEBIDAS A LA CARGA Y TENSION DE CORTO CIRCUITO**

 Alimentación lado : A T      corto circuito lado    B T      Vn :    60    kV      In :      67.36 A    ( a      7 MVA )  
 Frec. : 60 Hz ;      T1 : 18 °C

Posición del conmutador : # 1      Ip / Is = 64.15 / 404.15

	Kv	Ka	Kw	V10	V20	V30	V12	V23	V31	A1	A2	A3	W1	W2	W3c	
1	40	15	3000				127.5	125	123	4.3	4.3	4.29	-49.5	60	10.5	
2	Valor medido						5100	5000	4920	64.5	64.5	64.35				31500
3	Promedio							5006.7			64.45					31500
4	Referido a In a      18 °C							4983.4			64.15					31207
5	Valores porcentuales							7.9101								0.44582

Posición del conmutador : # 5      Ip / Is = 67.36 / 404.15

1	40	15	3000				114.5	114	113	4.5	4.5	4.46	-48	57	9	
2	Valor medido						4580	4560	4520	67.5	67.5	66.9				27000
3	Promedio							4553.3			67.3					27000
4	Referido a In a      18 °C							4557.4			67.36					27048
5	Valores porcentuales							7.5957								0.38640

Posición del conmutador : # 17      Ip / Is = 79.24 / 404.15

1	40	15	3000				90	90	88	5	5	5	-40	51	11	
2	Valor medido						3600	3600	3520	75	75	75				33000
3	Promedio							3573.3			75.00					33000
4	Referido a In a      18 °C							3775.3			79.24					36837
5	Valores porcentuales							7.4026								0.52624

	Relación	Número de serie			Observaciones : 162162 T
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	
TA	75 / 5 A	374623		374625	
TV	6000 / 150 V	374627		374628	

## CALCULO DE LAS PERDIDAS Y DE LA TENSION DE CORTO CIRCUITO A 75 °C

entre los terminales de AT y BT a la potencia de 7 MVA ; pos. conm.			1
relación de tensión	63 / 10	Kv	relación de corriente 64.15 / 404.15 A
avv AT a 75 °C =	1.5	x	2.870297 x 64.15 <sup>2</sup> = 17718 W
avv BT a 75 °C =	1.5	x	0.050689 x 404.15 <sup>2</sup> = 12419 W
			Perdidas óhmicas a 75 °C = 30137 W
perdida óhmica a	18 °C	=	30137 ; 1.22574 = 24587 W
perdida adicional a	18 °C	=	31207 - 24587 = 6621 W
perdida adicional a	75 °C	=	6621 ; 1.22574 = 5401 W
perdida total a	75 °C	=	30137 + 5401 = 35538 W

valores porcentuales a	18 °C	$U_k = 7.91010$	$U_l = 0.44582$	$U_x = 7.89752$
tensión de corto circuito a	75 °C	$(U_x^2 = 62.3709 + U_l^2 = 0.25775)^{1/2} = U_k = 7.91$	%	

entre los terminales de AT y BT a la potencia de 7 MVA ; pos. conm.			5
relación de tensión	60 / 10	Kv	relación de corriente 67.36 / 404.15 A
avv AT a 75 °C =	1.5	x	2.744083 x 67.36 <sup>2</sup> = 18676 W
avv BT a 75 °C =	1.5	x	0.050689 x 404.15 <sup>2</sup> = 12419 W
			Perdidas óhmicas a 75 °C = 31095 W
perdida óhmica a	18 °C	=	31095 ; 1.22574 = 25369 W
perdida adicional a	18 °C	=	27048 - 25369 = 1679 W
perdida adicional a	75 °C	=	1679 ; 1.22574 = 1370 W
perdida total a	75 °C	=	31095 + 1370 = 32466 W

valores porcentuales a	18 °C	$U_k = 7.59565$	$U_l = 0.38640$	$U_x = 7.58582$
tensión de corto circuito a	75 °C	$(U_x^2 = 57.5447 + U_l^2 = 0.21511)^{1/2} = U_k = 7.60$	%	

entre los terminales de AT y BT a la potencia de 7 MVA ; pos. conm.			17
relación de tensión	51 / 10	Kv	relación de corriente 79.24 / 404.15 A
avv AT a 75 °C =	1.5	x	2.907682 x 79.24 <sup>2</sup> = 27386 W
avv BT a 75 °C =	1.5	x	0.0506890 x 404.15 <sup>2</sup> = 12419 W
			Perdidas óhmicas a 75 °C = 39805 W
perdida óhmica a	18 °C	=	39805 ; 1.22574 = 32474 W
perdida adicional a	18 °C	=	36837 - 32474 = 4362 W
perdida adicional a	75 °C	=	4362 ; 1.22574 = 3559 W
perdida total a	75 °C	=	39805 + 3559 = 43364 W

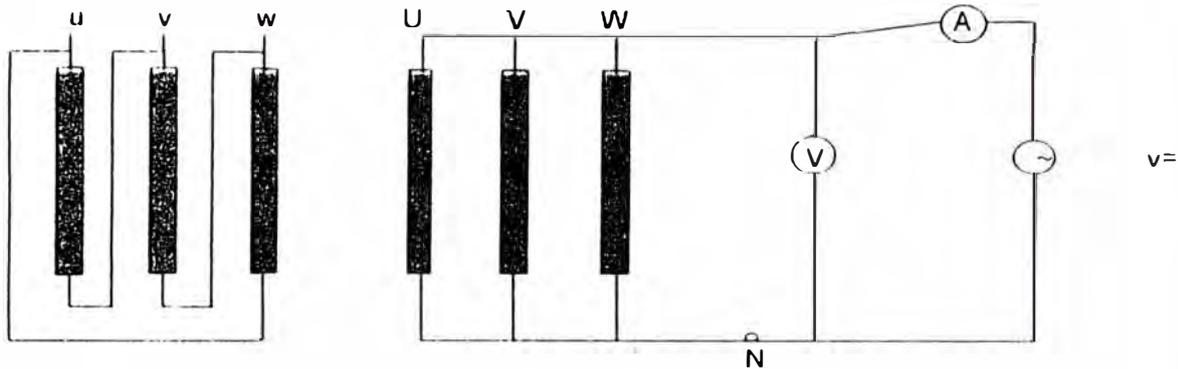
valores porcentuales a	18 °C	$U_k = 7.40264$	$U_l = 0.52624$	$U_x = 7.38391$
tensión de corto circuito a	75 °C	$(U_x^2 = 54.5221 + U_l^2 = 0.38376)^{1/2} = U_k = 7.41$	%	

**162 T**

## MEDICION DE LA IMPEDANCIA A LA CORRIENTE DE SECUENCIA CERO

Grupo de conexión : YNd5 Temp. amb 18 °C

### a) CIRCUITO DE MEDIDA

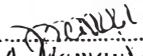


### b) VALORES OBTENIDOS

Pos. Connul	$I_l \times K_A$	I	$V_l \times K_V$	V	$W_l \times K_W$	W	$Z_0$
1	44 x 5	22	150 x 2	300	15 x 50	750	40.9 <u>183.4°</u>
5	49 x 5	24.5	148 x 2	296	16 x 50	800	36.2 <u>183.7°</u>
17	49 x 5	24.5	103 x 2	203	12.5 x 50	625	25.2 <u>182.9°</u>

### c) OBSERVACIONES :

$Z_0 = 3V/I (\Omega)$

  
 Luis A. Mamand Coyla  
 162160 INGENIERO DE OPERACIONES  
 Electro Puno S.A.A

  
 Ing. Luis Vargas  
 Gerencia de Operaciones  
 ELECTRO PUNO S.A.A



# PRUEBAS ADICIONALES

DESCRIPCION		Vº Bº	OBSERVACIONES	
MANDO CONMUTADOR BAJO CARGA	Mando local	X		
	Mando a distancia			
	Bloqueo mecanico extremos	X		
	Bloqueo electrico extremos	X		
	Indicador de pos / Remoto			
	Regulación aut con MK - 30			
RELE BUCHHOLZ	DEL TRANSFORMADOR	Cierre para alarma	X	
		Cierre para disparo	X	
	DEL CONMUTADOR	Cierre para disparo	X	
VENTILADORES	Arranque / parada ( Manual )			
	Arranque / parada ( Automatico )			
	Sistema de alarma			
MEDIDA DE AISLAMIENTO EN CIRCUITO DE CONTROL				
INDICADORES DE NIVEL	Transformador	Max	X	
		Min.	X	
	Conmutador	Max.	X	
		Min.	X	
TERMOMETRO DE ACEITE AKM	Cierre contacto alarma	X	Alarma °C	
	Cierre contacto disparo	X	Disparo °C	
RELE DE IMAGEN TERMICA AKM	Cierre cont. Arranq. de vent.	X	Arranque °C	
	Cierre cont. Parada de vent.	X		
	Cierre contacto alarma	X	Alarma °C	
	Cierre contacto disparo	X	Disparo °C	
VALVULA DE SEGURIDAD	Cierre para disparo	X		

162162

Luis A. Mamani Coyla  
ASISTENTE DE OPERACIONES  
Electro Puno S.A.A

Ing. Licio Vargas C. S.M.E.  
CS. gerente de Operaciones  
ELECTRO PUNO S.A.A



## PRUEBA DE CALENTAMIENTO

Trafo 3f TO-CH- ONAN - 7 Mva - 162162 T

1 -	HORAS	Tas	Tam	@	
	1	42.4	32.87	0.77577	prom. @ = 0.78308
	2	42.2	32.70	0.77488	
	3	41.9	32.87	0.78503	
	4	41.8	33.30	0.79665	

### 2 - DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO

$$T_{ASPP} = 42.37 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_{AS} = 42.39 \quad ^\circ\text{C}$$

### 3 - CALENTAMIENTO DEL ACEITE MEDIO PARA PERDIDAS TOTALES

$$T_{AMPT} = \text{prom @} * T_{AS} = 33.19 \quad ^\circ\text{C}$$

### 4 - LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS ARROLLAMIENTOS A $I_p$ SERÁ

$$T_{CAI} = 64.27 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_{CBI} = 75.13 \quad ^\circ\text{C}$$

### 5 - LA TEMPERATURA MEDIA DEL ACEITE A $I_p$ SERÁ

$$T_{AMIPAT} = T_{ASAT} - 1/2(T_9 - T_{10}) = 53.7 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_{AMIPBT} = T_{ASBT} - 1/2(T_9 - T_{10}) = 63.8 \quad ^\circ\text{C}$$

### 6 - CALENTAMIENTO COBRE - ACEITE A $I_p$ SERÁ

$$\text{AT } T_{CAIP} = T_{CAI} - T_{AMIP} = 10.57 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\text{BT } T_{CAIP} = T_{CBI} - T_{AMIP} = 11.33 \quad ^\circ\text{C}$$

LUEGO :

$$\text{AT } T_{CAIN} = T_{CAIP} * (I_H / I_P)^2 = 10.25 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\text{BT } T_{CAIN} = T_{CAIP} * (I_H / I_P)^2 = 10.99 \quad ^\circ\text{C}$$

### 7 - EL CALENTAMIENTO COBRE - AIRE PARA PERDIDAS TOTALES SERÁ

$$\text{AT } T_{CPT} = T_{AMPT} + T_{CAIN} = 43.44 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\text{BT } T_{CPT} = T_{AMPT} + T_{CAIN} = 44.18 \quad ^\circ\text{C}$$

**PRUEBA DE CALENTAMIENTO REALIZADA**

Nº 162162 T	TIPO DE REFRIGERACION :	ONAN	MEDIANTE :	6 Radiadores 1700x16
ALIM. : AT : C <sub>c</sub> C <sub>c</sub> BT	POS. CONM. :	5	DISPOSICION DE TERMOMETROS	
RELACION DE TENSION : 60 / 10 KV :	POTENCIA :	7 MVA	T1	Temperatura ambiente lado opuesto de conservador
RELACION DE CORRIENTE 67.36 / 404.15 A		60 HZ	T2	Temperatura ambiente lado de BT
PERDIDA DEBIDA A LA CARGA A 75 OC Y A In	=	32466 W	T3	Temperatura ambiente lado de conservador
PERDIDAS EN VACIO	=	6560 W	T7	Temperatura superior del aceite
PERDIDA TOTAL A 75 OC	=	39025.6 W	T9	Temperatura superior en radiadores lado de BT
			T11	Temperatura inferior en radiadores lado de BT

H O R A	C A R G A								T E M P E R A T U R A									
	TENSION	CORRIENTE			POTENCIA				AMBIENTE				ACEITE		RADIADORES			
	V	A1	A2	A3	W1	W2	W	P	T1	T2	T3	T4	Tm	T7	T <sub>o</sub>	T9	T11	
	K = 40	K = 15			K = 3000				Kw									
0	127	4.8	4.78	4.8	-56	69	13	39										
0.5	126	4.76	4.73	4.75	-55	68	13	39	18.0	19.0	18.0		18.3	27.0	8.7	19	18	
1	124	4.64	4.65	4.63	-52	65	13	39	18.0	19.0	18.0		18.3	35.3	17.0	26	20	
1.5	123	4.64	4.65	4.63	-52	65	13	39	18.0	19.0	18.0		18.3	40.2	21.9	33	23	
2	123	4.64	4.65	4.63	-52	65	13	39	18.0	19.0	18.5		18.5	43.1	24.6	36	24	
2.5	123	4.64	4.65	4.63	-52	65	13	39	18.0	19.0	18.5		18.5	45.1	26.6	37	26	
3	122	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	18.0	19.0	19.0		18.7	47.4	28.7	39	27	
3.5	122	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	18.0	19.5	19.0		18.8	50.1	31.3	42	29	
4	122	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	18.0	20.0	19.0		19.0	52.6	33.6	44	30	
4.5	122	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	18.0	20.0	19.0		19.0	53.5	34.5	45	31	
5	122	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	18.0	20.0	19.0		19.0	54.8	35.8	46	32	
5.5	122	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	18.5	20.0	19.0		19.2	56.1	36.9	47	32	
6	122	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	18.5	20.0	19.0		19.2	57.1	37.9	48	33	
6.5	122	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	18.9	20.0	19.5		19.5	57.6	38.1	49	33	
7	121	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	19.0	20.0	19.5		19.5	58.1	38.6	49	33	
7.5	121	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	19.5	20.0	19.5		19.7	59.3	39.6	50	33	
8	121	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	20.0	20.0	19.5		19.8	59.8	40.0	51	34	
8.5	121	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	20.0	20.0	19.5		19.8	60.0	40.2	51	34	
9	121	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	20.0	20.5	19.0		19.8	60.3	40.5	51	34	
9.5	121	4.6	4.62	4.59	-50	63	13	39	20.0	21.0	19.0		20.0	60.0	40.0	51	34	
10	120	4.56	4.6	4.55	-49	62	13	39	20.0	21.0	19.0		20.0	61.2	41.2	52	35	
10.5	120	4.58	4.6	4.55	-49	62	13	39	20.0	21.0	19.0		20.0	62.0	42.0	52	35	
11	120	4.58	4.6	4.55	-49	62	13	39	20.0	21.0	19.0		20.0	61.8	41.8	52	35	
11.5	120	4.58	4.6	4.55	-49	62	13	39	20.5	21.5	19.0		20.3	62.2	41.9	51	33	
12	120	4.58	4.6	4.55	-49	62	13	39	20.5	21.5	19.5		20.5	62.7	42.2	52	33	
12.5	120	4.58	4.6	4.55	-49	62	13	39	21.0	22	19.5		20.8	63.2	42.4	53	34	
13.5	120	4.58	4.6	4.55	-49	62	13	39	29	28	28.0			73.3		58	39	



MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL TIEMPO ZERO  
 1621627 - 7 MVA

BT  
 $\frac{1}{3} \Omega$

AT  
 $\frac{1}{2} \Omega$

49 - 2.64  
 48.6 - 2.62  
 48.2 - 2.60  
 47.8 - 2.58  
 47.4 - 2.56  
 47 - 2.54

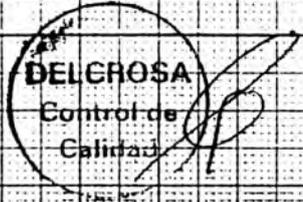
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 t

BT

AT

LUIS A. MANQUIL-CRISTO  
 ASISTENTE DE INVESTIGACION  
 ELECTRO PUNO S.A.A.

Ing. Elio Vargas Jimas  
 Gerente de Operación  
 ELECTRO PUNO S.A.A.



## DELCROSA PRUEBA CON IMPULSO ATMOSFERICO

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Los arrollamientos Primario (A.T.) y Secundario (B.T.) han sido sometidos a la prueba de aislamiento con tensión a impulso, siguiendo la modalidad de prueba prescrita en las Normas IEC 76 (1967) para Transformadores de Potencia.

El esquema del circuito empleado se ha representado en la Fig.24, los valores de los parámetros del circuito de prueba son los indicados en la Tabla I y la disposición de los terminales del Transformador durante la prueba en la Tabla II.

La medida de la tensión aplicada se ha efectuado mediante instrumentos indicadores y de registro oscilográfico (ver tablas para A.T. y B.T.).

A cada terminal de los arrollamientos en prueba se ha aplicado:

- Un impulso de referencia a una tensión comprendida entre el 40 y 70% de la tensión de prueba (onda reducida) registrándose contemporáneamente el valor de dicha tensión y el de la señal de corriente mediante un derivador, para la revelación de alguna falla.
- Tres impulsos a una tensión igual al 100% de la tensión de prueba (onda plena) registrándose las ondas de tensión y de corriente

La característica de la onda aplicada es:

* Polaridad	Negativa	
* Tiempo de frente	1.2 $\mu$ seg	Tol $\pm$ 30 %
* Tiempo de cola	50 $\mu$ seg	Tol $\pm$ 20 %

El valor de tensión a aplicarse son:

* Tensión de Prueba en A.T.	325 KV.	Tol $\pm$ 5 %
* Tensión de Prueba en B.T.	95 KV.	Tol $\pm$ 5 %

Los valores medidos de la tensión aplicada para A.T. y B.T. son indicados en las tablas junto con la fotografía de cada onda.

### **EXITO DE LA PRUEBA**

El éxito de la prueba ha sido positivo en ambos arrollamientos

**# 162162 T - 7000 KVA ( 12 / 08 / 05 )**

162162.7

**VALORES DE LOS PARAMETROS \* COMPONENTES DEL CIRCUITO DE PRUEBA**

		TERMINALES DE A. T.	TERMINALES DE B. T.
Cg	µF	0.125	1.5
Rs	ohm	180	180
Rp	ohm	910	650
C1	pF		
C2	µF		
R1	ohm	75	75
D	ohm	5	5
Cc	pF	14	14

TABLA I

**DISPOSICION DE LOS TERMINALES DEL TRANSFORMADOR DURANTE LA PRUEBA**

U	V	W	N	u	v	w
TENSION DE IMPULSO	A TIERRA	A TIERRA	A TIERRA CON SHUNT	A TIERRA	A TIERRA	A TIERRA
A TIERRA	A TIERRA	A TIERRA	A TIERRA	TENSION DE IMPULSO	A TIERRA O TRAVEZ DE SHUNT	A TIERRA

TABLA II

*Mosca*  
Luis A. Mamani Doyle  
ASISTENTE DE OPERACIONES  
Electro Puno S.A.A

Ing. Elicio Vargas Sanchez  
Gerente de Operaciones  
ELECTRO PUNO S.A.A



NOTA: Para probar los otros terminales han sido movidos ciclica - mente la resistencia y la conexon de tierra.

1621627

- Cg : Capacidad del generador.
- Rs : Resistencia en serie.
- Rp : Resistencia en paralelo.
- C1 : Capacidad del lado de alta tensión del divisor.
- C2 : Capacidad del lado de baja tensión del divisor.
- R1 : Resistencia.
- S : Espinterómetro de esferas.
- Z : Cable coaxial de medida  $Z_0 = 75 \Omega$ .
- O : Osciloscopio de dos canales.
- Vc : Voltímetro de cresta,
- T : Transformador en prueba.
- D : Derivación para la medida de la corriente en el arrollamiento en prueba.
- Cc : Condensador de carga.

CIRCUITO DE PRUEBA :

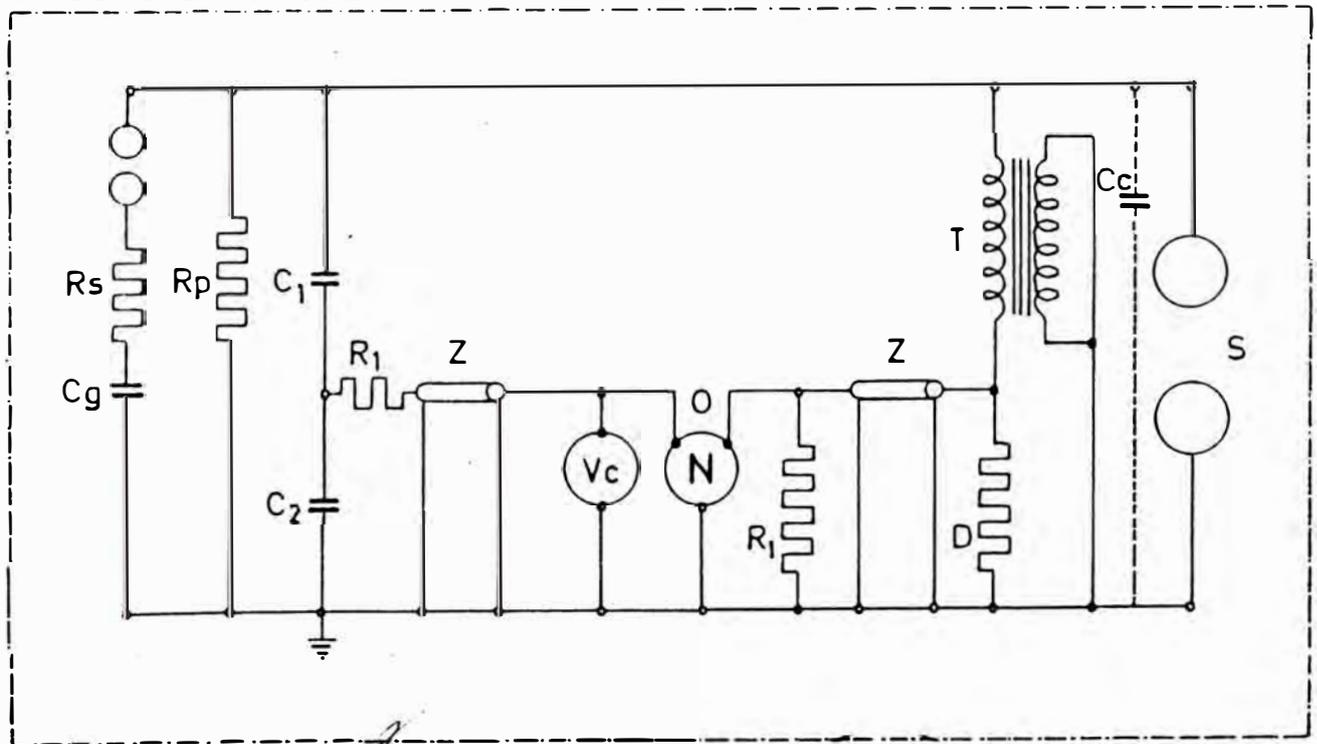
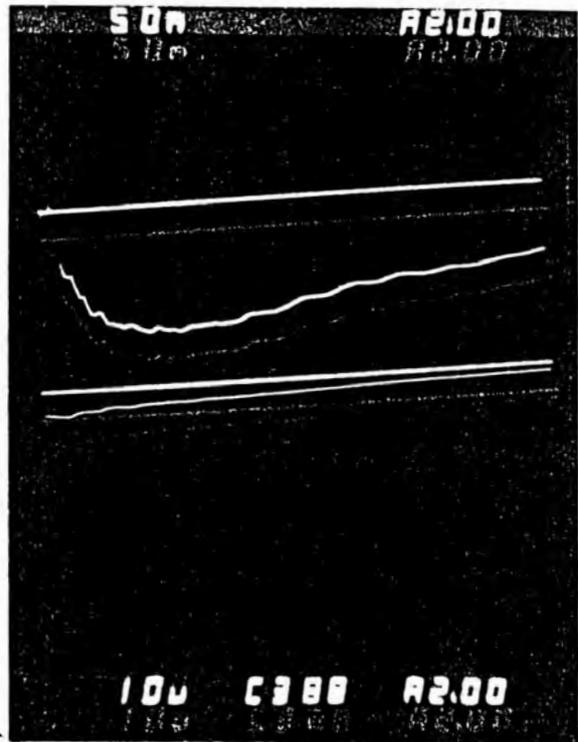
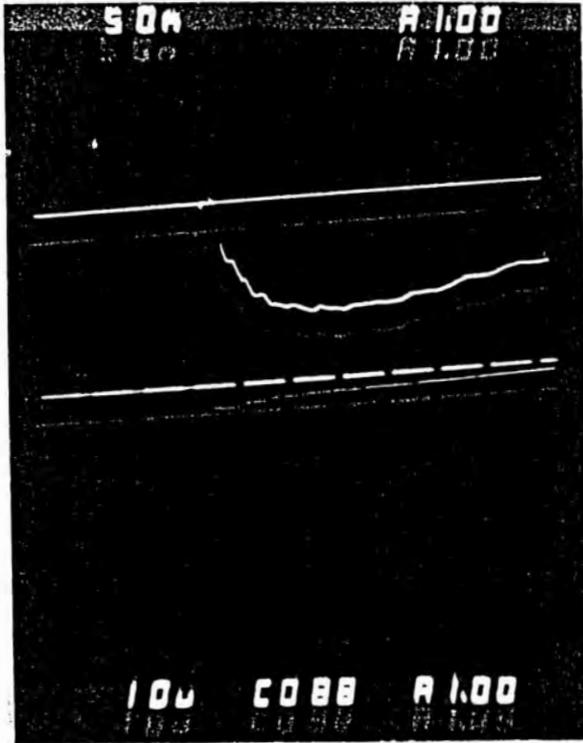


FIG. N° 24



1621627

FASE u



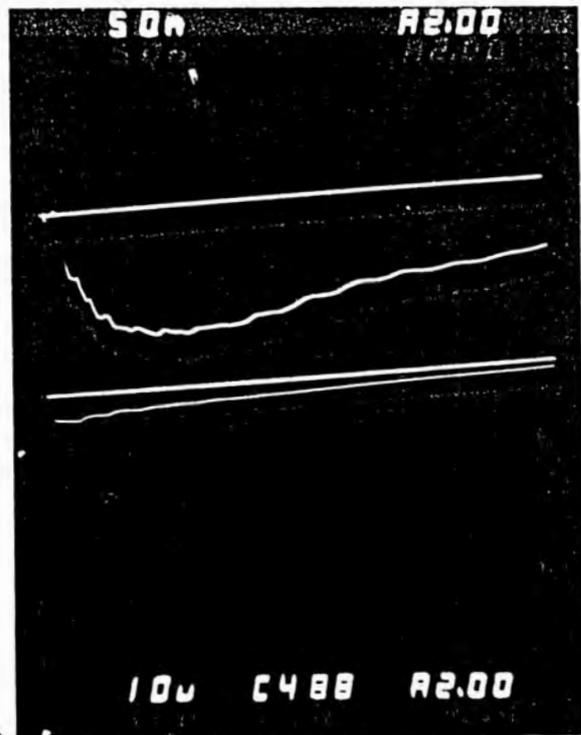
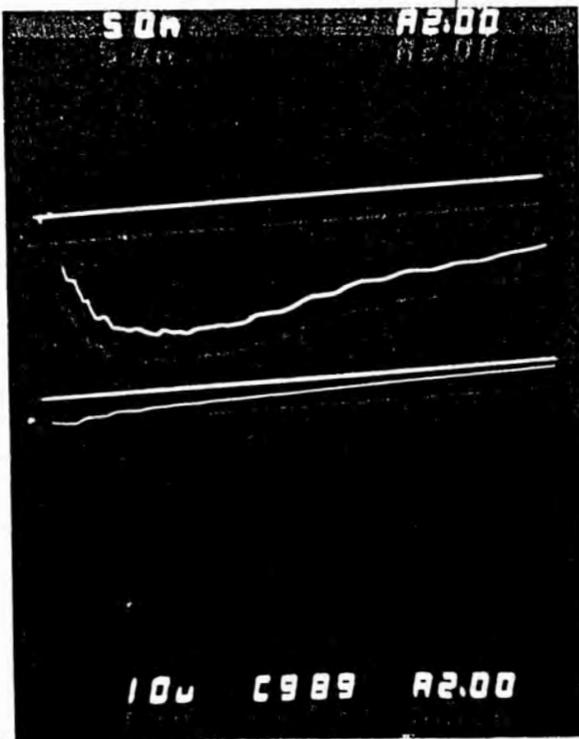
1- ONDA REDUCIDA

2- ONDA PLENA

DEL CROSA Control de Calidad

Mantenimiento de las instalaciones de DelcroSA

Una Empresa de DelcroSA S.A.



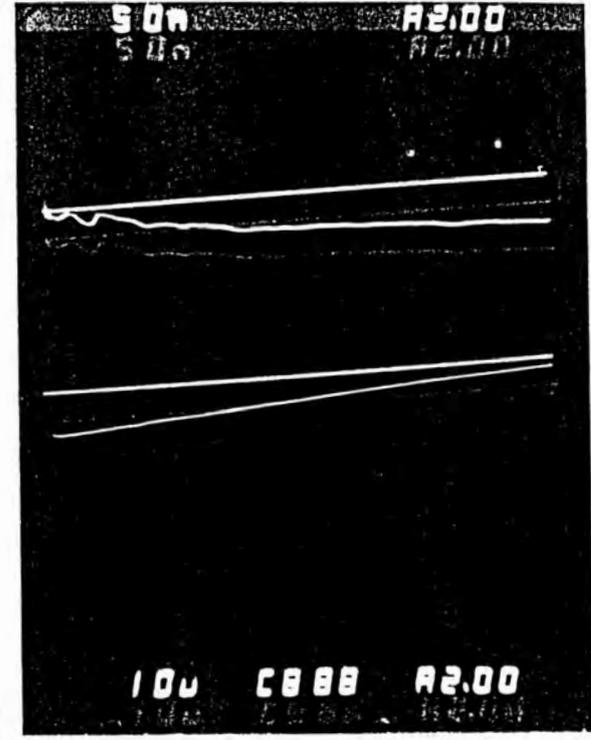
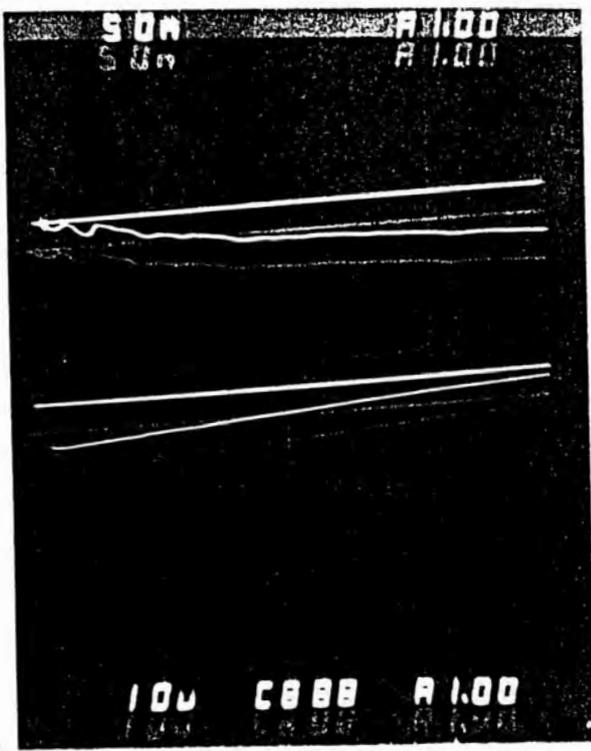
3- ONDA PLENA

4- ONDA PLENA



FASE W

1621627



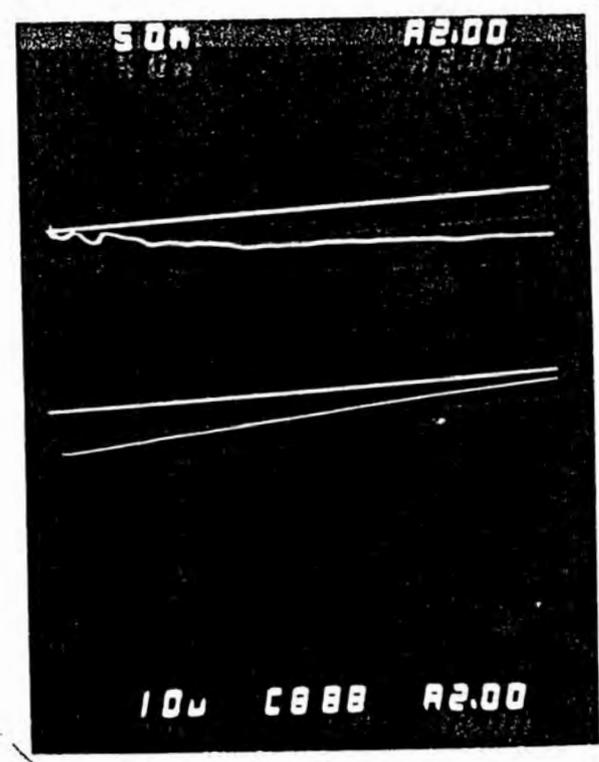
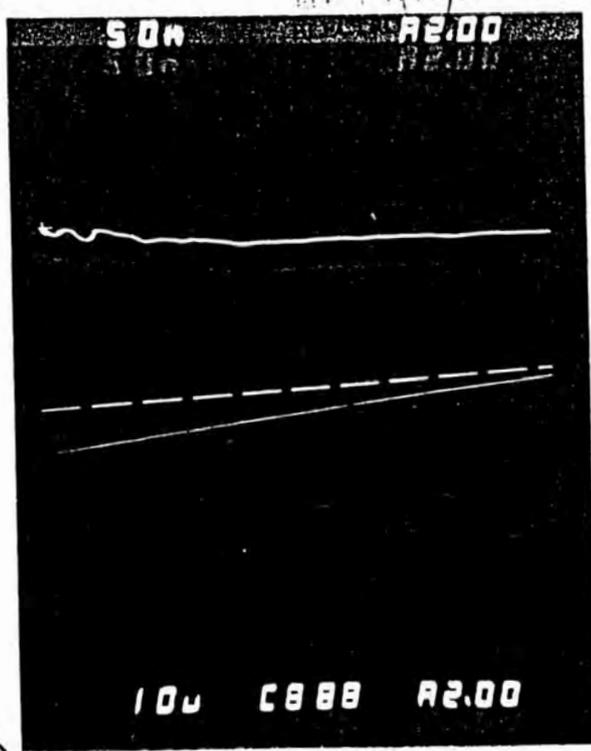
1- ONDA REDUCIDA

2- ONDA PLENA

DEL CROSA  
Control de Calidad

A. Alampio Coula  
Director de Operaciones  
Electro Puro S.A.A.

Boa. Luis...  
DEL CROSA S.A.A.

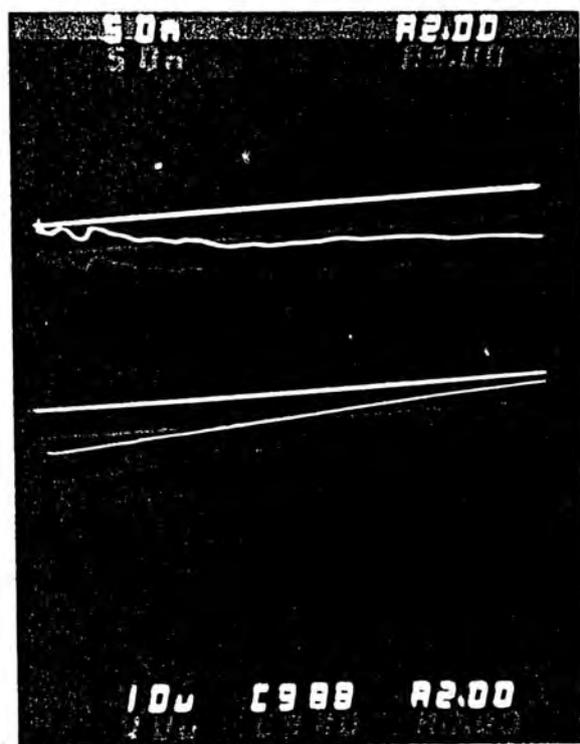
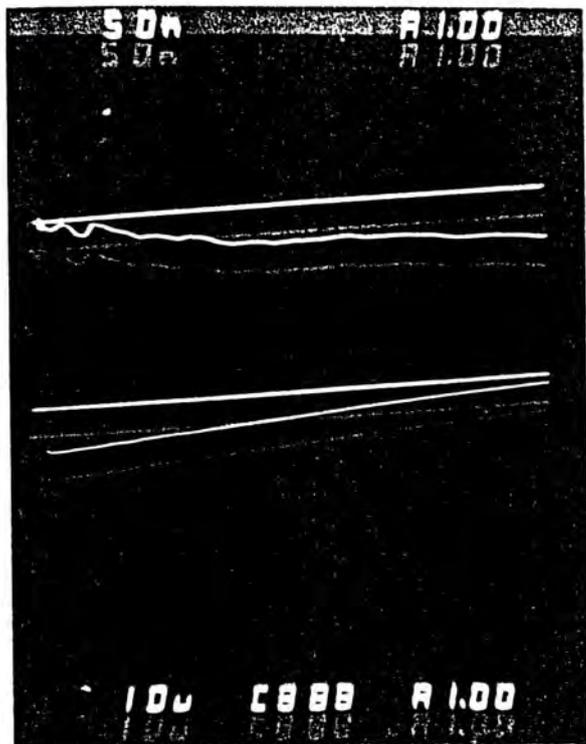


3- ONDA PLENA

4- ONDA PLENA

1681687

FASE V



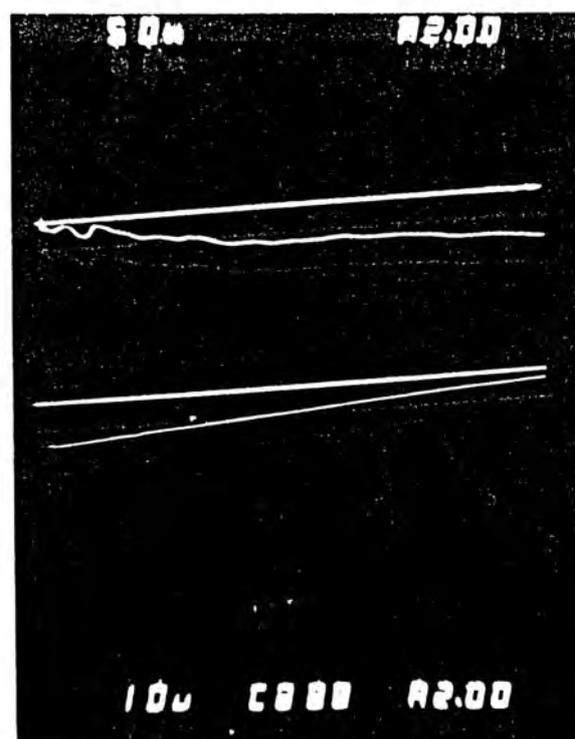
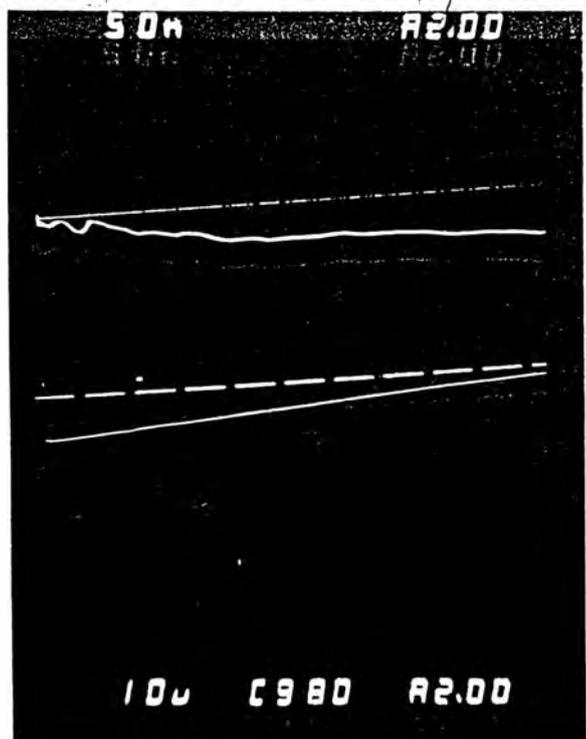
1- ONDA REDUCIDA

2- ONDA PLENA

DEL CROSA  
Control de  
Calidad

Mamani Corp  
S.A.  
Punc S.A.A

Ingeniería de  
Control de  
Calidad S.A.A



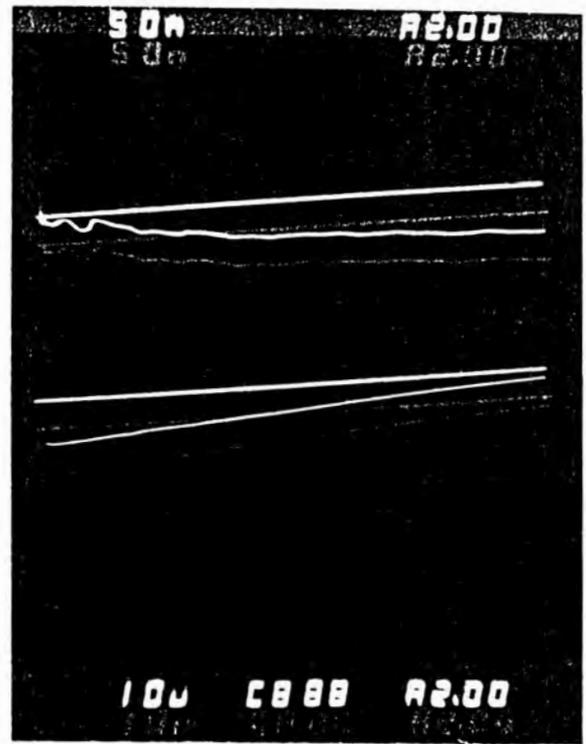
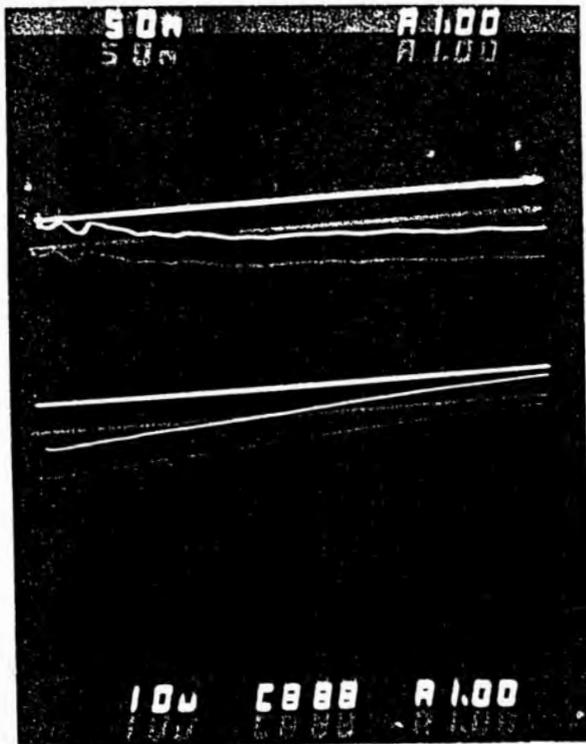
3- ONDA PLENA

4- ONDA PLENA



16-2162 T

FASE U

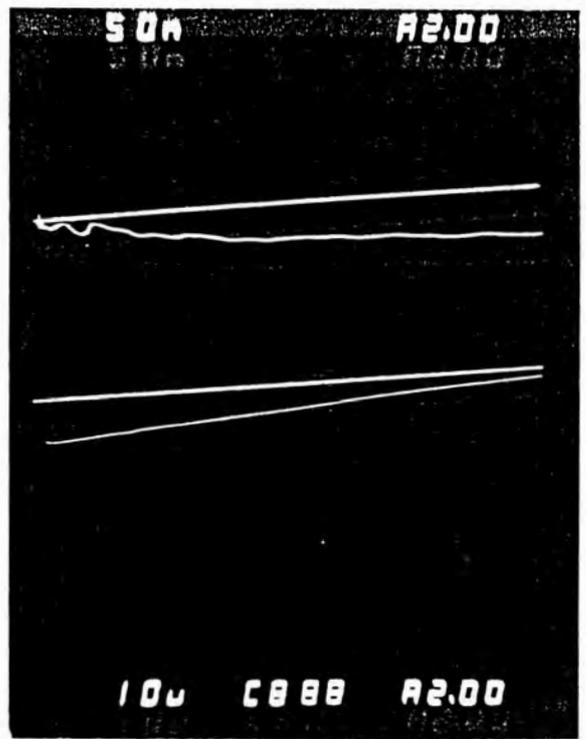
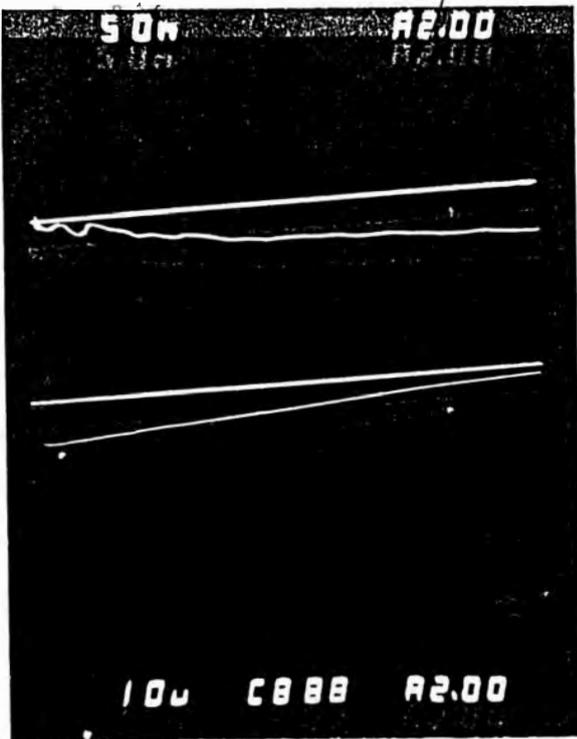


1- ONDA REDUCIDA

2- ONDA PLENA

1. Luis A. Alamam Coulo  
SISTEMA DE OPERACIONES

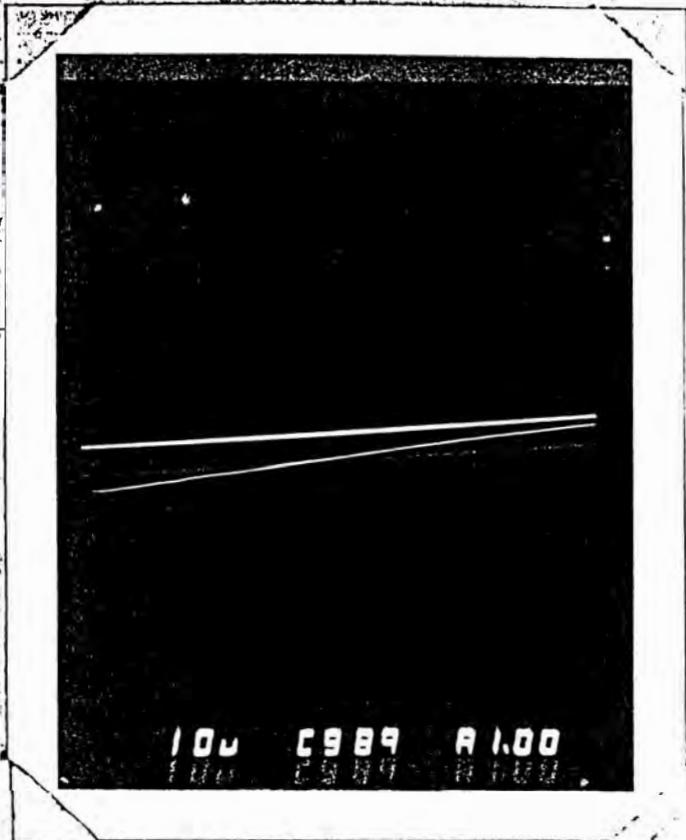
DELCROSA  
Control de Calidad



3- ONDA PLENA

4- ONDA PLENA

PRIMARIO



MEDICION TIEMPO FRENTE

Onda a media tensión : ..... Kv.  
 Escala de tiempo : .....  $\mu$ seg./div.  
 Pos. Atenuador : .....  
 Tiempo de frente : .....  $\mu$ seg.

MEDICION TIEMPO COLA

Onda a media tensión : 1E-2 Kv.  
 Escala de tiempo : 10  $\mu$ seg./div.  
 Pos. Atenuador : 1  
 Tiempo de cola : .....  $\mu$ seg.

DEL CROSA  
 Control de Calidad

SECUNDARIO

Asistente de Operaciones  
 Electro Puno S.A.A.

Ing. Luis A. Mamani Conde  
 Asistente de Operaciones  
 Electro Puno S.A.A.

MEDICION TIEMPO FRENTE

Onda a media tensión : ..... Kv.  
 Escala de tiempo : .....  $\mu$ seg./div.  
 Pos. Atenuador : .....  
 Tiempo de frente : .....  $\mu$ seg.

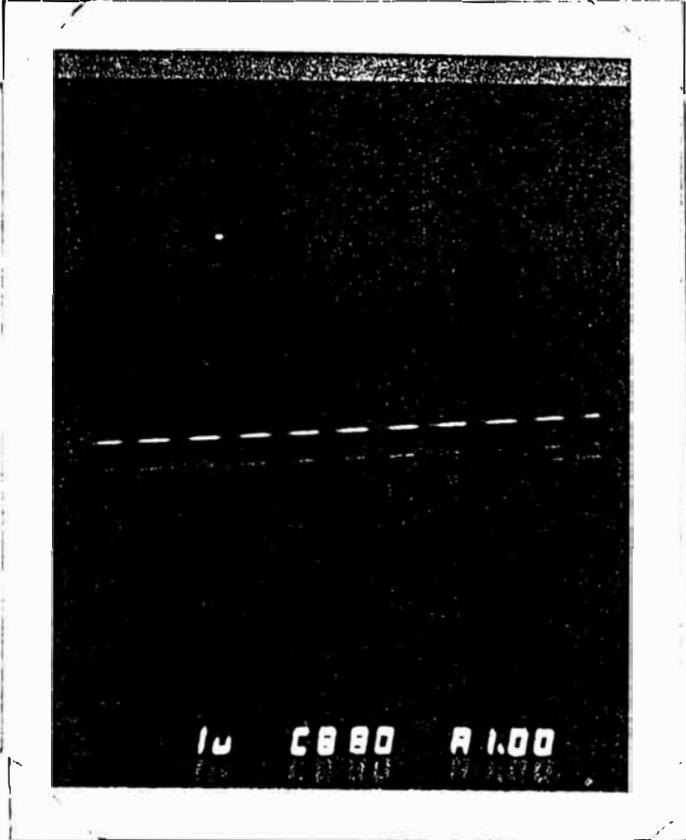
MEDICION TIEMPO COLA

Onda a media tensión : 43.1 Kv.  
 Escala de tiempo : 10  $\mu$ seg./div.  
 Pos. Atenuador : 1  
 Tiempo de cola : .....  $\mu$ seg.



162162 T

PRIMARIO



MEDICION TIEMPO FRENTE

Onda a media tensión: 162.6 Kv.  
 Escala de tiempo: 1  $\mu$ seg/div.  
 Pos. Atenuador: 1  
 Tiempo de frente: .....  $\mu$ seg.

MEDICION TIEMPO COLA

Onda a media tensión: ..... Kv.  
 Escala de tiempo: .....  $\mu$ seg./div.  
 Pos. Atenuador: .....  
 Tiempo de cola: .....  $\mu$ seg.

DELCROSA  
 Control de  
 Calidad

SECUNDARIO

Luis A. Mamani Cuylo  
 ASISTENTE DE OPERACIONES  
 Electro Fano S.A.A

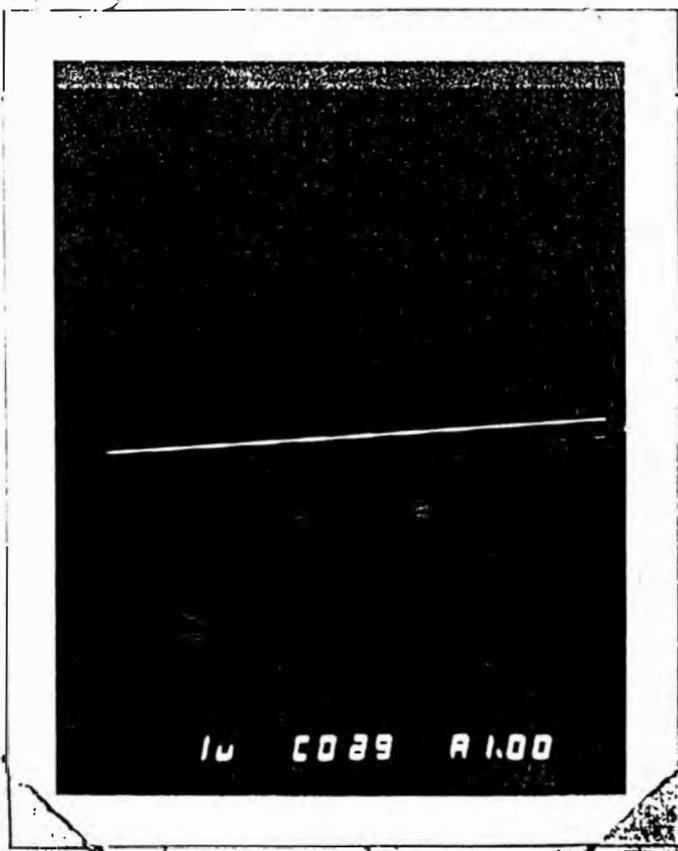
Revisado y autorizado por:  
 Gerente de Operaciones  
 Electro Fano S.A.A

MEDICION TIEMPO FRENTE

Onda a media tensión: 43.3 Kv.  
 Escala de tiempo: 1  $\mu$ seg/div.  
 Pos. Atenuador: 1  
 Tiempo de frente: .....  $\mu$ seg.

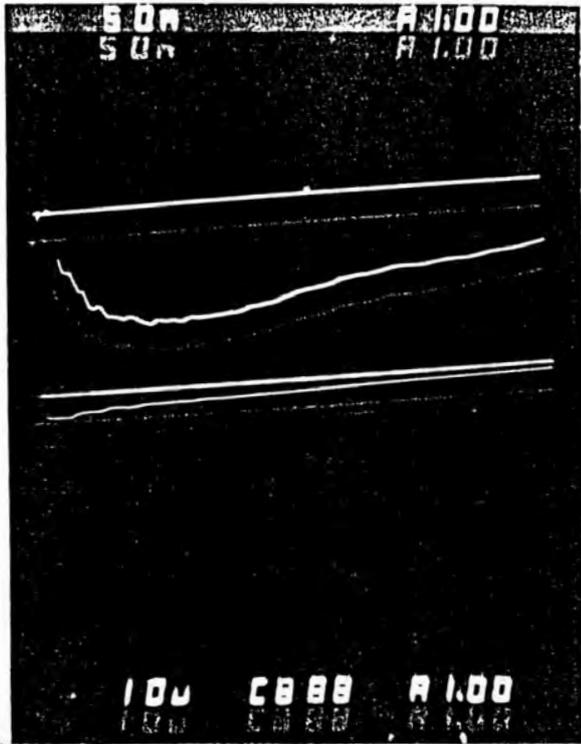
MEDICION TIEMPO COLA

Onda a media tensión: ..... Kv.  
 Escala de tiempo: .....  $\mu$ seg/div.  
 Pos. Atenuador: .....  
 Tiempo de cola: .....  $\mu$ seg.

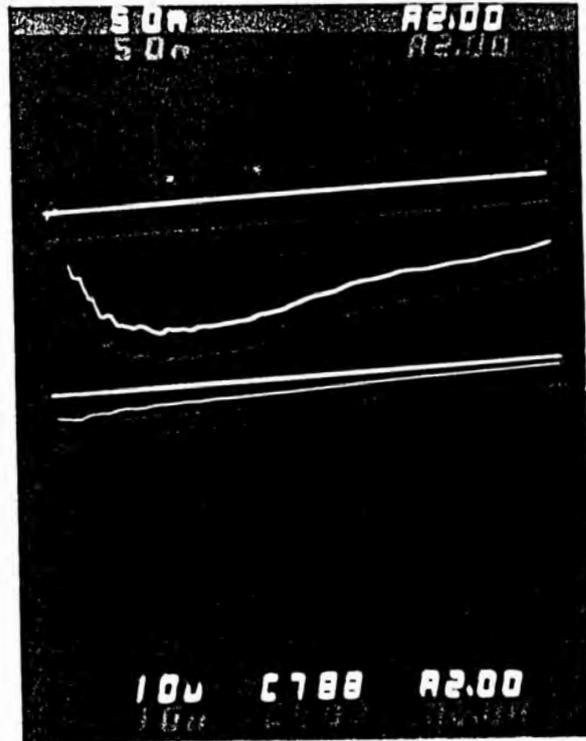


1621627

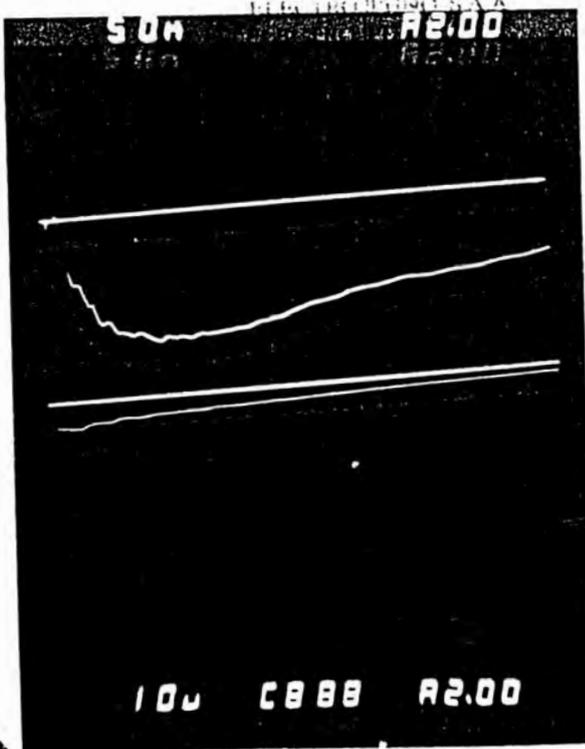
FASE w



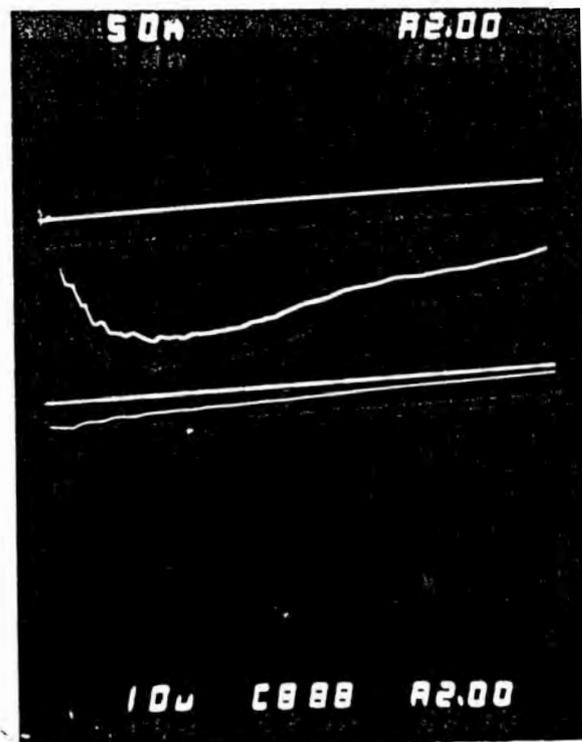
1- ONDA REDUCIDA



2- ONDA PLENA



3- ONDA PLENA



4- ONDA PLENA

DELCROSA  
Control de  
Calidad

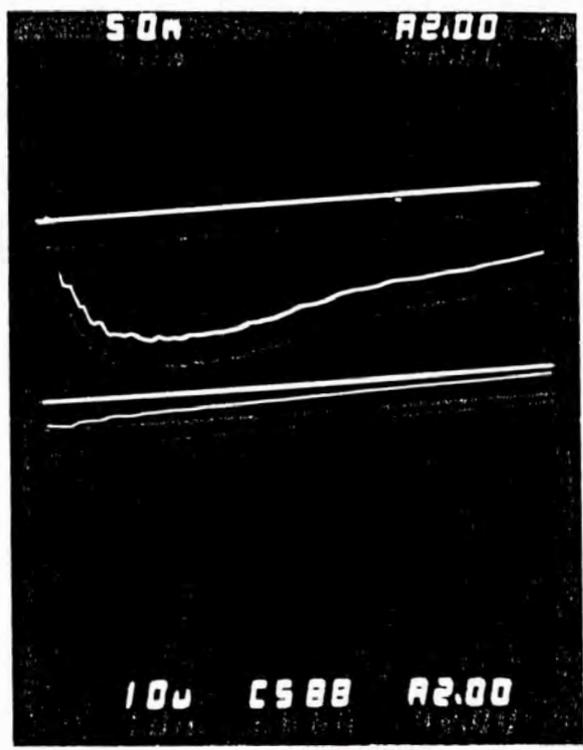
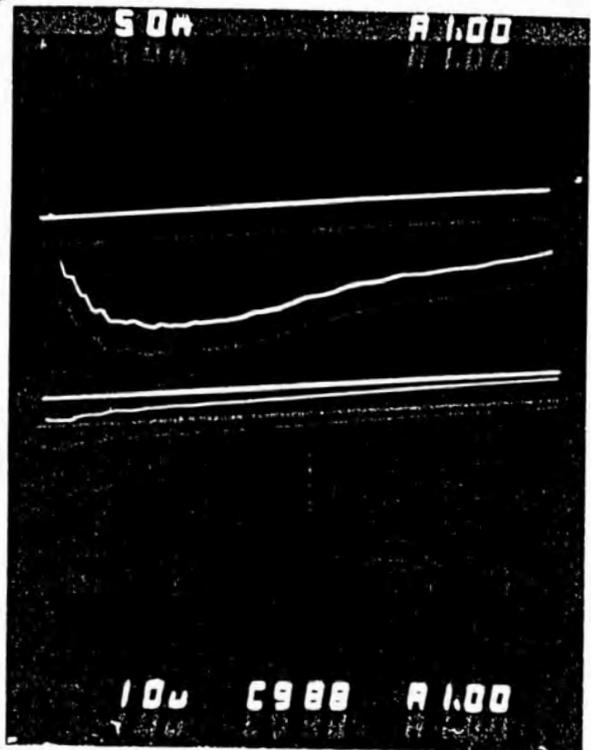
Momente  
de  
Eje

By: [Signature]  
[Illegible text]



1621627

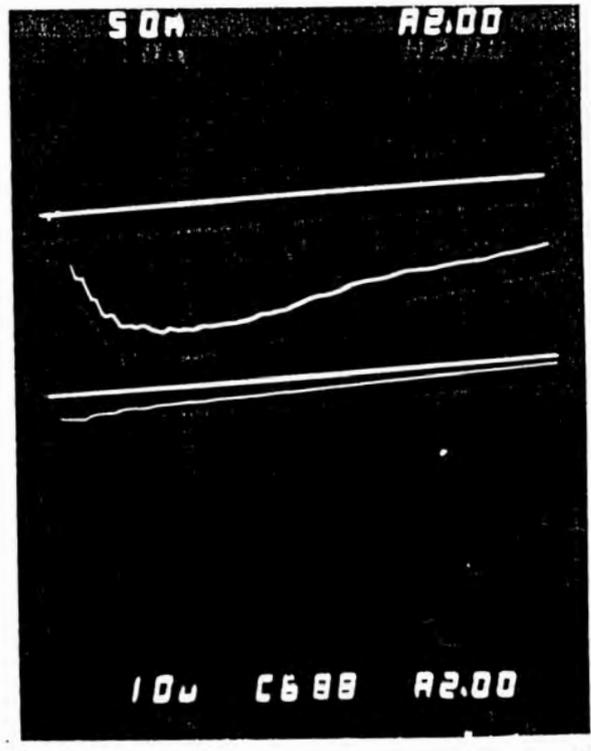
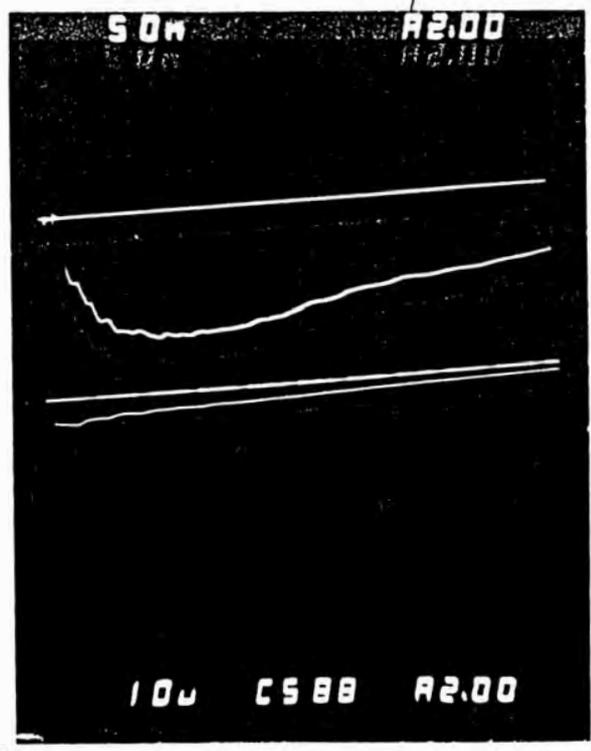
FASE v



1- ONDA REDUCIDA

2- ONDA PLENA

DELCROSA  
 Control de  
 Calidad



3- ONDA PLENA

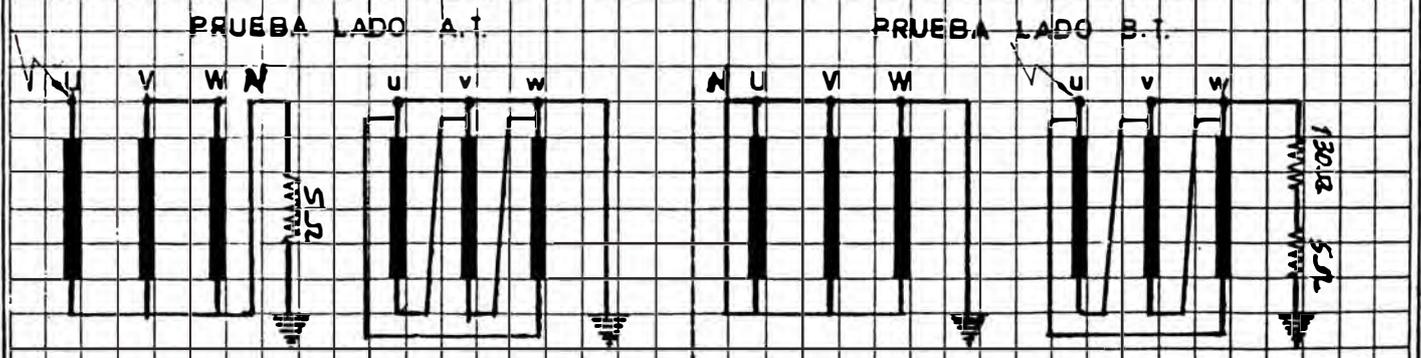
4- ONDA PLENA

# PRUEBA CON IMPULSO ATMOSFERICO

FECHA: 12/10/97  
HOJA N°: 12/12

OSCILOS. N°	TERMINALES EN PRUEBA	DIST. EXP. O. TRUNC. (cm)	OSCILOSCOPIO			VOLTIMETRO DE CRESTA			
			POS. DEL ATENUAD.	LECTURA (KV/cm)	useg/div.	LECTURA (KV)	CTE. DE LECTURA	TENSION APLICAD. (KV)	TIPO DE ONDA APLICADA
<b>PRIMARIO</b>									
	U		1		10	81.1	2	162.2	ONDA RED.
	U		2		10	160.5	2	321	ONDA PLENO
	U		2		10	161.9	2	323.8	ONDA PLENO
	U		2		10	161.9	2	323.8	ONDA PLENO
	V		1		10	82	2	164	ONDA RED
	V		2		10	162.4	2	324.8	ONDA PLENO
	V		2		10	164.5	2	329	ONDA PLENO
	V		2		10	163.1	2	326.2	ONDA PLENO
	W		1		10	81.4	2	162.8	ONDA RED
	W		2		10	160.3	2	320.6	ONDA PLENO
	W		2		10	159.3	2	318.6	ONDA PLENO
	W		2		10	160.8	2	321.6	ONDA PLENO
<b>SECUNDARIO</b>									
	u		1		10	43.1	1	43.1	ONDA RED
	u		2		10	94.4	1	94.4	ONDA PLENO
	u		2		10	94.7	1	94.7	ONDA PLENO
	u		2		10	94.7	1	94.7	ONDA PLENO
	v		1		10	43.4	1	43.4	ONDA RED
	v		2		10	94.9	1	94.9	ONDA PLENO
	v		2		10	95	1	95	ONDA PLENO
	v		2		10	94.9	1	94.9	ONDA PLENO
	w		1		10	43.2	1	43.2	ONDA RED
	w		2		10	94.5	1	94.5	ONDA PLENO
	w		2		10	94.5	1	94.5	ONDA PLENO
	w		2		10	95	1	95	ONDA PLENO
<b>N° 16 21627 - 7 MVA</b>									

## ESQUEMAS DE CONEXION



Para probar las otras fases se efectúa la correspondiente permutación cíclica de conexiones.

Luego del análisis de los registros fotograficos tomados durante la prueba se da conformidad al resultado satisfactorio de la misma.

Observaciones: *[Handwritten signature]*

**DEL ROSA**  
CLIENTE

ASISTENTE DE OPERACIONES  
**LUIS A. NAVARRETTA**

## **BIBLIOGRAFIA**

1. M.P. Kostenko, “Maquinas Eléctricas I”  
Editorial MIR – Moscú, 1975
2. IEC, “Norma IEC 60076, parte I, II y III”  
Internacional Electrotechnical Comisión, 1997
3. Willy Vidalon, “Seminario de Pruebas a Transformadores”  
Universidad Nacional de Ingeniería – Perú, 1985
4. Amilcar Bedoya Castillo, “Tesis – Análisis y Pruebas a Transformadores de Potencia sometidos a las tensiones de Impulso”  
Universidad Nacional de Ingeniería – Perú, 1988
5. Delcrosa, “Instrucción de Trabajo ITO 78-220-02 (Ensayos Individuales para Transformadores)”  
Construcciones Electromecánicas Delcrosa S.A – Perú, 2004
6. Delcrosa, “Protocolo de Pruebas del Transformador de 7 MVA de la S.E Bellavista”  
Construcciones Electromecánicas Delcrosa S.A. – Perú, 2005
7. Delcrosa, “Manual de Montaje, Operación y Mantenimiento del Transformador de 25/25/25 MVA – Luz del Sur”  
Construcciones Electromecánicas Delcrosa S.A. – Perú, 1998
8. Incontec, “Normas Técnicas Colombianas sobre Transformadores Eléctricos”  
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – Colombia, 1998