



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



MANUAL DE USUARIO Y PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE UN MODULO RELÉ DIFERENCIAL 87

AUTOR:

Sarzosa Mafla Diego Vicente

Ibarra-Ecuador

2025



Contenido

Introducción	3
Manual de prácticas de laboratorio	4
Relé diferencial 87	4
Precauciones del uso del relé	5
Circuito de control relé diferencial 87	6
Práctica #1	11
Practica # 2	13
Practica # 3	15
Practica # 4	16
Practica # 5	17
Practica # 6	18
Practica # 7	19



Introducción

En el ámbito de la ingeniería de potencia, la confiabilidad y seguridad de los activos críticos como transformadores de potencia, barras colectoras y grandes motores eléctricos, es primordial. La falla de cualquiera de estos componentes puede derivar en interrupciones costosas, daños equipos severos y riesgos para la seguridad personal. Entre el arsenal de esquemas de protección disponibles, el relé diferencial (ANSI/IEEE 87) se erige como la primera línea de defensa más rápida y selectiva para la protección de zonas definidas. El principio de operación del relé diferencial, basado en la Ley de Kirchhoff de Corrientes, es conceptualmente sencillo: la suma algebraica de las corrientes que entran y salen de una zona protegida debe ser, en condiciones normales o ante fallas externas, igual a cero. Cualquier desequilibrio por encima de un umbral preestablecido indica una falla interna dentro de la zona, actuando el relé de forma casi instantánea para aislar el elemento defectuoso del resto del sistema eléctrico.

Manual de prácticas de laboratorio

Este manual técnico provee un framework estructurado para la ejecución de pruebas y el análisis avanzado del relé de protección diferencial (87). Diseñado como una guía práctica, ofrece procedimientos paso a paso para configurar, inyectar señales y validar el desempeño de este esquema de protección, esencial para la defensa de transformadores y barras colectoras en sistemas de potencia.

El contenido integra conceptos teóricos fundamentales como la lógica de operación por porcentaje (slope), la compensación de grupos de conexión y el bloqueo por armónicos (inrush) con su implementación práctica en bancos de pruebas. Su finalidad es fortalecer las habilidades de los estudiantes, permitiéndoles abordar los desafíos reales asociados a la puesta en servicio y diagnóstico de los sistemas de protección diferencial.

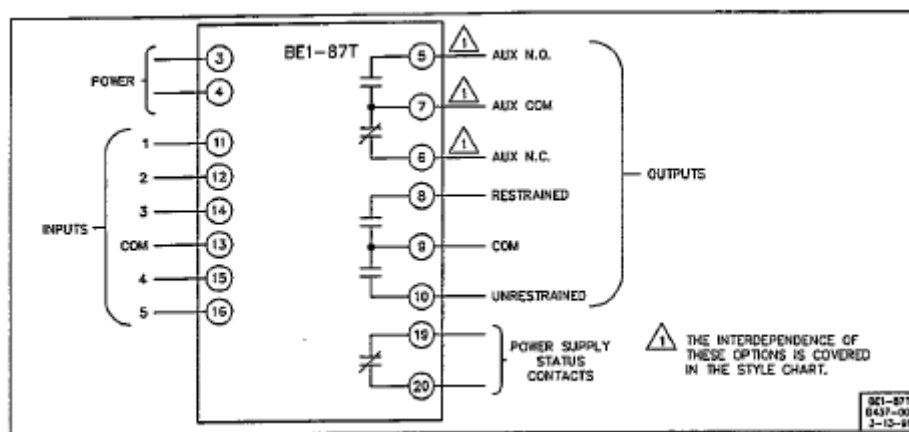


Ilustración 1 Conexiones relé diferencial 87 una fase

Relé diferencial 87

El BE1-87T es un dispositivo de estado sólido que protege los transformadores mediante el cierre del contacto de salida cuando la corriente "escalada" de entrada al transformador protegido no es igual a la corriente "escalada" de salida dentro de los límites definidos. El relé está restringido armónicamente para evitar disparos durante la energización inicial y las condiciones de fallo externo. inicial y en condiciones de fallo externo. Una restricción de corriente de paso también proporciona seguridad contra disparo por fallos externos. Se incluye un elemento

de disparo no restringido para proporcionar un disparo de alta velocidad en caso de un fallo especialmente grave en el transformador.

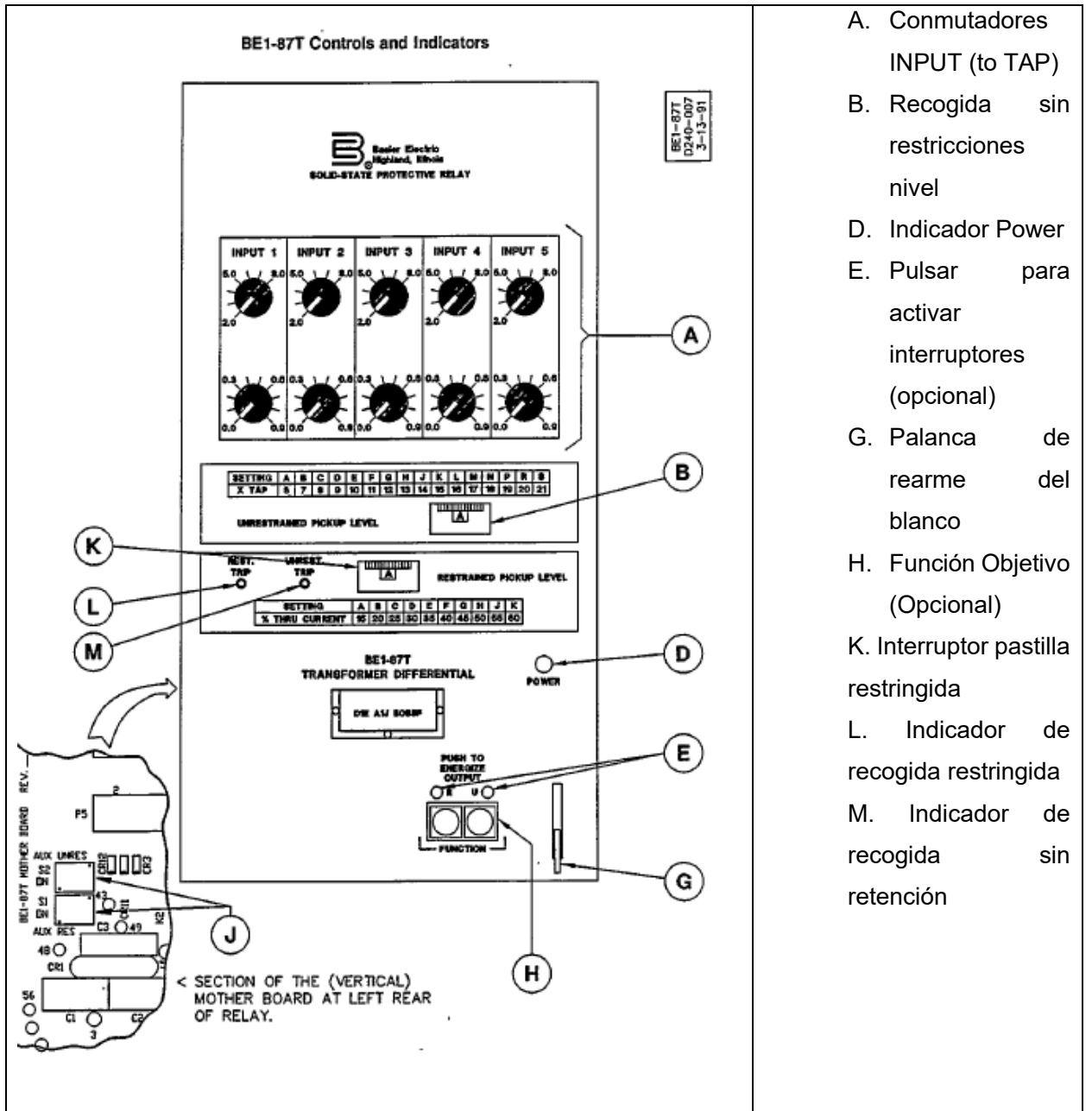


Ilustración 2 Partes relé diferencial 87 parte frontal

Precauciones del uso del relé

Antes de instalar o poner en funcionamiento el relé, tenga en cuenta las siguientes precauciones.

1. Se requiere un mínimo de 0,2 A en el circuito de salida para garantizar el funcionamiento de los blancos accionados por corriente.

2. El relé es un dispositivo de estado sólido y ha sido sometido a ensayos de tipo de acuerdo con los requisitos definidos a continuación en "Ensayo dieléctrico". Si se requiere una prueba de aislamiento del cableado en el conjunto de paneles en el que se va a instalar este relé, se sugiere que se retiren las clavijas de conexión (o "paletas") del relé y se retire el soporte de la caja para no producir lecturas falsas durante la prueba de aislamiento del cableado.
3. Cuando se retiran las clavijas de conexión, el relé se desconecta del circuito de funcionamiento y no proporcionará protección al sistema. Asegúrese siempre de que las condiciones externas de funcionamiento (monitorizadas) son estables antes de retirar un relé para su inspección, prueba o mantenimiento. Asegúrese de que las clavijas de conexión estén en su lugar antes de volver a colocar la cubierta frontal.
4. Algunos relés trifásicos requieren procedimientos especiales para retirar y volver a colocar las clavijas de conexión (o "paletas") para evitar un funcionamiento incorrecto. Consulte la página 4-3 Manual relé 87 para más detalles.
5. "Paletas" no deben cambiarse mientras el relé esté en servicio. Pueden producirse indicaciones y salidas momentáneas no deseadas. De igual forma en este grafico se evidencia un voltaje máximo 121,3 V y con 121,3 en su voltaje mínimo.

Circuito de control relé diferencial 87

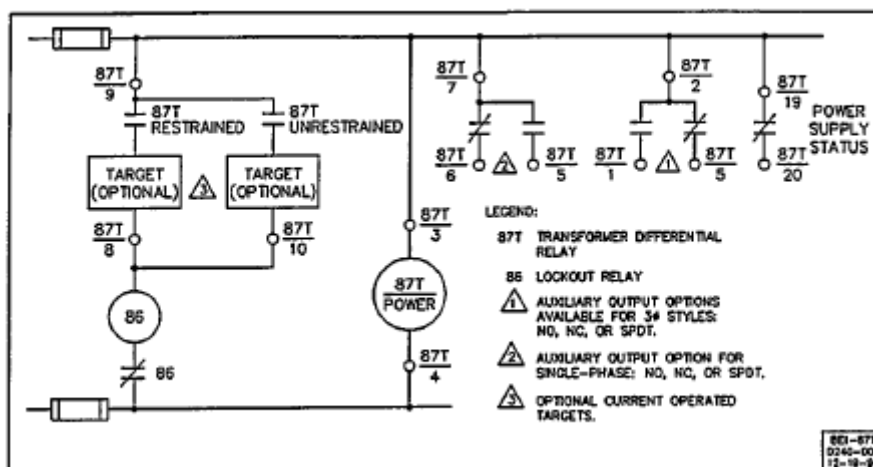
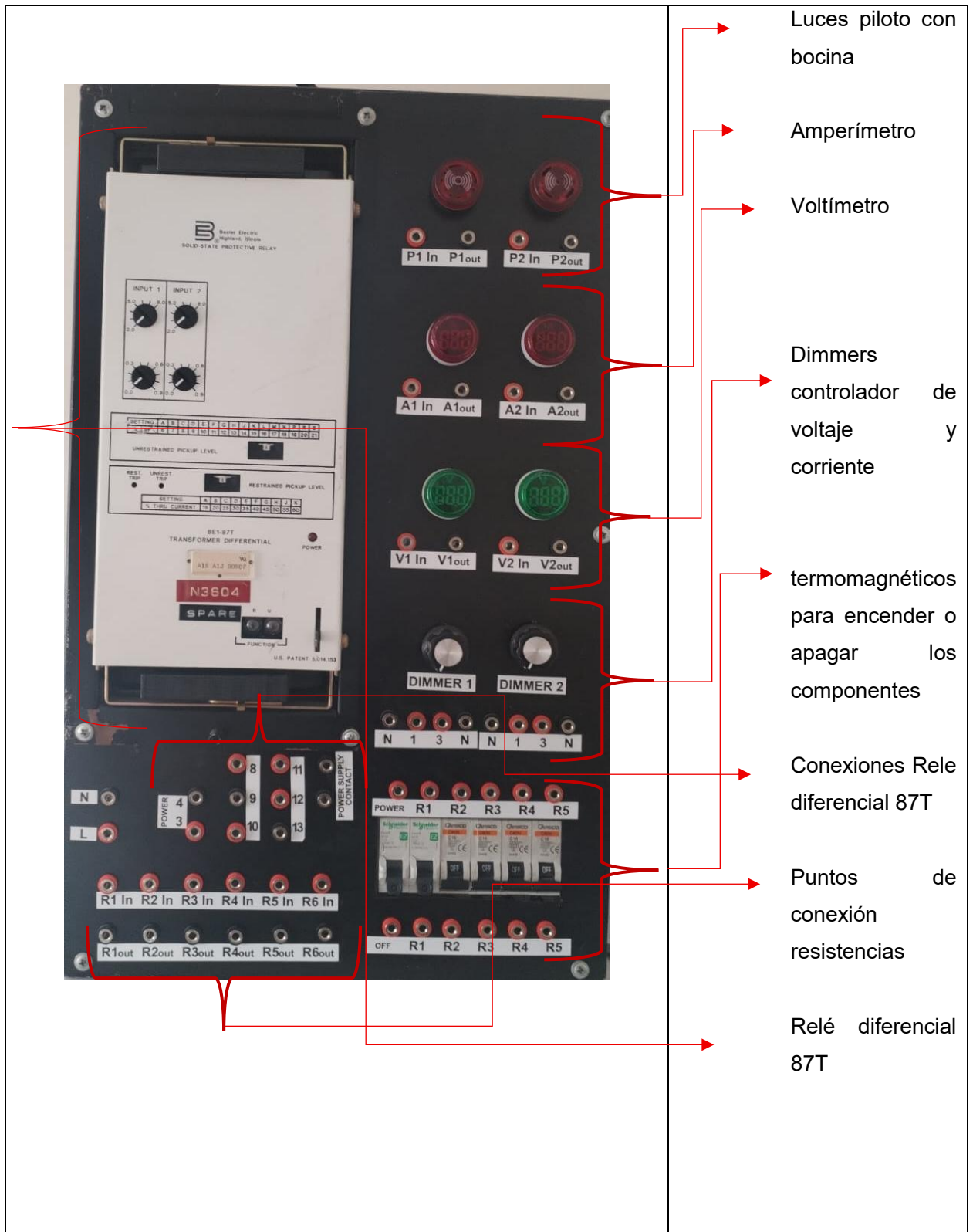


Ilustración 3 Circuito de Control Relé 87

Diagrama de conexiones relé diferencial 87T



Sección Izquierda: Indicadores (Targets) para Disparos Restringido y No Restringido

Esta parte maneja los indicadores visuales (targets) que se activan al detectar una falla, permitiendo al operador identificar el tipo de disparo. Son opcionales y operados por corriente (current operated target), lo que significa que se energizan con la corriente de disparo.

- **Terminal 9:** Conectado a un extremo del "Target Restrained (Optional)". Este es un indicador mecánico o electromagnético (simbolizado por un triángulo) para el modo restringido del relé (diferencial por porcentaje, que considera armónicos y pendiente para evitar disparos en condiciones normales como inrush current). Propósito: Cuando el relé detecta una falla interna moderada, cierra un contacto interno que envía corriente DC (típicamente 125V o 250V) a través de este terminal para activar el target, proporcionando una indicación visual persistente (como una bandera roja). Conexión típica: Se enlaza externamente a una fuente DC positiva (+) para completar el circuito de activación.
- **Terminal 8:** Conectado al otro extremo del Target Restrained y a una línea que va hacia "BG 66" (probablemente Battery Ground o un punto de referencia de tierra DC, con "66" posiblemente un código interno o resistor limitador). También se conecta al centro del diagrama. Propósito: Sirve como punto común para el retorno de corriente del target restringido. En operación, la corriente fluye de terminal 9 a 8, activando el target, y luego a tierra (BG) para cerrar el lazo. Esto evita sobrecargas en el circuito. Conexión típica: Externamente, se une a la tierra AC del panel de control o a un resistor para limitar corriente (evitando daños al target, que opera a baja corriente ~0.2A).
- **Terminal 7:** Conectado a un extremo del "Target Unrestrained (Optional)" y etiquetado como "87T". Este es el indicador para el modo no restringido (instantáneo, para fallas de alta magnitud donde no se aplica restricción por armónicos). Propósito: Al detectar una falla grave (e.g., cortocircuito interno), el relé envía corriente para activar este target, indicando un disparo rápido sin delays. El símbolo 87T representa la unidad diferencial

principal. Conexión típica: Similar al terminal 9, se conecta a DC positiva externamente; la corriente retorna a través de terminales adyacentes como 8 o 6.

Estas conexiones son opcionales, lo que significa que en instalaciones básicas se pueden omitir, pero son útiles para diagnóstico post-falla.

Sección Central: Bobina Principal del Relé (87T) y Salida de Disparo a Potencia

Aquí se muestra la bobina de operación del relé y la salida hacia el mecanismo de disparo.

- **Bobina 87T:** Representada en el centro, conectada entre una línea desde terminal 8 (o 7) y "TO Power" (salida a potencia). Propósito: Esta es la bobina electromagnética o unidad de operación del relé diferencial. Cuando se detecta una falla (diferencial > umbral), se energiza con corriente DC, cerrando contactos para iniciar el disparo. El "87T" indica que es la unidad principal de protección diferencial para transformadores. Conexión típica: Internamente, recibe señal de las unidades de detección (restringida/no restringida); externamente, "TO Power" se conecta al coil de disparo de un interruptor (breaker) o a un relé de lockout (86).
- **Conexión a Power (+):** Desde la bobina 87T, hay una línea a "+" (alimentación DC positiva). Propósito: Proporciona la energía para operar la bobina (típicamente 48V, 125V o 250V AC desde la batería de la subestación). Esto asegura que el relé funcione incluso si hay falla en AC. Conexión típica: Externamente, se une a la fuente AC positiva del panel; el negativo (-) suele ir a tierra (BG) a través de terminales como 4 o 1.
- **BG 66:** Conectado desde terminal 8. Propósito: Punto de tierra AC (Battery Ground), posiblemente con un código "66" para un componente específico (e.g., un seal-in contact o resistor). Evita flotación de potencial y protege contra ruido. Conexión típica: Externamente, a la barra de tierra del panel de control.

Sección Derecha: Terminales Auxiliares, Salidas de Estado y Opciones

Esta parte incluye terminales 1 a 7 (solapados con izquierda), y 18-20, con símbolos de triángulos (contactos auxiliares). Estos son para señales de estado, alarmas o control adicional. La leyenda indica opciones: "Auxiliary Output Options" en estilos NO (normally open), NC (normally closed) o SPST (single pole single throw); también "Auxiliary Output Option for Target" y "Current Operated Target".

- **Terminal 7 (derecha):** Posible solapamiento con izquierda, conectado a un triángulo (contacto). Propósito: Contacto auxiliar para señal de disparo unrestrained. Cierra o abre al activarse el 87T.
- **Terminal 6:** Conectado a un triángulo. Propósito: Posible contacto para lockout relay (87 Lockout Relay en la leyenda), usado para bloquear recierre automático después de un disparo. Conexión típica: A la bobina de un relé 86 externo, que dispara breakers y mantiene el lockout hasta reset manual.
- **Terminal 5:** Triángulo. Propósito: Auxiliary output, configurable como NO/NC para alarma o telemetría (e.g., señal a SCADA de "relé operado").
- **Terminal 4:** Triángulo, posiblemente conectado al "-" o retorno de power. Propósito: Retorno DC para la bobina 87T o auxiliary.
- **Terminal 3:** Triángulo. Propósito: Otro contacto auxiliar, perhaps for status supply (alimentación de estado).
- **Terminal 2:** Triángulo. Propósito: Similar, para opciones SPST (contacto simple).
- **Terminal 1:** Triángulo inferior. Propósito: Punto común para auxiliares, a menudo tierra o negativo.
- **Terminal 20:** Conectado a "Status Supply" (alimentación de estado). Propósito: Entrada para monitoreo de estado del relé (e.g., healthy relay signal). Conexión típica: A un circuito de supervisión que detecta si el relé está operativo.
- **Terminal 19:** Triángulo. Propósito: Salida auxiliar para target o alarma.

- **Terminal 18:** Triángulo. Propósito: Similar, perhaps para current operated target (activado por corriente de falla).

Estas terminales auxiliares permiten personalización: por ejemplo, un contacto NO cierra al disparo para activar una alarma, mientras que NC abre para interrumpir un circuito. Son útiles para integrar el relé en sistemas más grandes, como conexión a un relé de lockout (86) que coordina múltiples breakers.

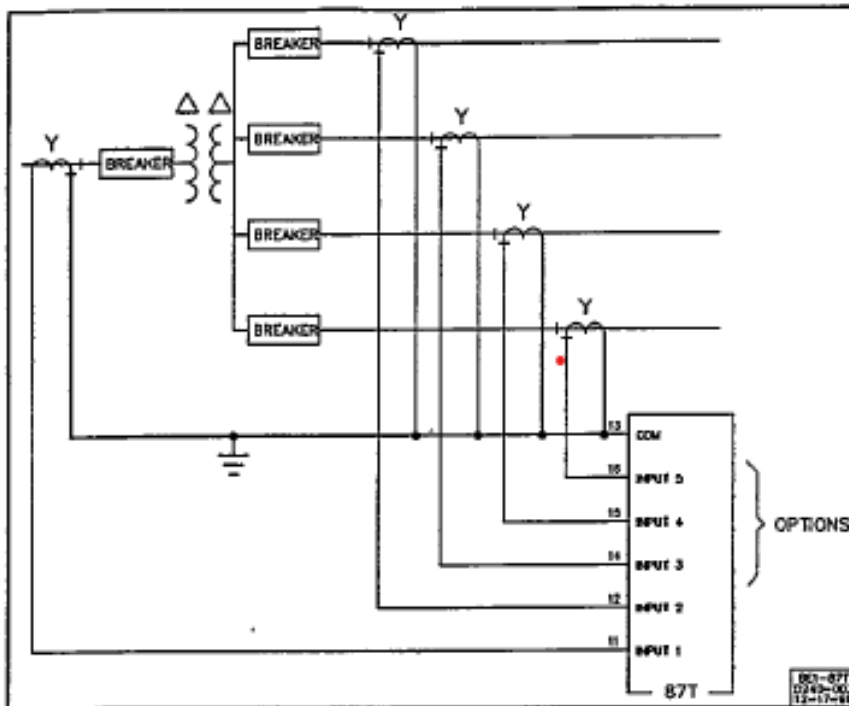


Ilustración 4 Conexiones de detección monofásica típica

Práctica #1

Restrained Pickup Verification (Verificación de recogida restringida)

Paso 1. Conecte el relé como se muestra en la Figura 5-2, comenzando por los terminales de entrada 11 y 13 para las pruebas iniciales. No aplique alimentación en este momento

Paso 2. Teniendo en cuenta las precauciones indicadas en las tres primeras páginas de la sección 4, retire el relé de su carcasa y, a continuación, retire el panel frontal para acceder a las placas de circuito impreso.

Paso 3. Retire las placas de circuito impreso analógicas n.º 1 (una por fase; consulte la figura 4-1). A continuación, con referencia a la figura 4-8, conecte los

puentes de conexión a tierra de entrada (J1, J2 y J3) a la posición de desactivación.

Una vez completada la prueba (y antes de poner el relé en servicio), puede ser necesario reubicar los puentes. Para obtener más información, consulte «Puesta a tierra de entradas no utilizadas» en la página 4-11.

Paso 4. Solo modelos trifásicos: Compruebe que todos los puentes de control de fase de la placa analógica n.º 2 (figuras 4-9 y 4-1) ver manual rele 87 pág. 37 estén en la posición WYE. Si no es así, vuelva a colocar estos puentes como corresponda.

Paso 5. Vuelva a colocar todas las placas de circuitos y vuelva a montar el relé.

Paso 6. Consulte la Figura 1-1 y la Tabla 1-1 para conocer las características de restricción porcentual y los múltiplos de tap. Configure los interruptores RESTFIAINED Pick up y los interruptores de tap INPUT 1 e INPUT 2 en los valores que se muestran en la Tabla 5-1. Aplique alimentación al relé. Aplique la corriente de entrada como se indica

en las dos columnas I, entrada de la tabla. A continuación, reduzca la corriente de entrada 2 hasta que se ilumine el LED de disparo restringido. Esto debería ocurrir cuando la corriente de entrada 2 alcance el nivel indicado en la columna pickup.

Paso 7. Si el relé tiene más de 2 entradas, vuelva a conectar el relé sustituyendo los terminales de entrada 3 por los terminales de entrada 2 (Figura 5-2). A continuación, repita el paso 6, utilizando los valores de entrada 2 de la Tabla 5-1 para la entrada 3. Si hay más de tres entradas (como en algunos relés monofásicos), continúe sustituyendo cada entrada con un número más alto por la entrada 2 (Figura 5-2), comparando cada vez la entrada sometida a prueba con la entrada 1, como en el paso 6. Relés trifásicos: Repita los pasos 6 y 7 para las fases a y C. (Consulte la Figura 5-4 para ver los números de los terminales de las entradas de las fases a y C).

Table 1-1. Multiples of Tap

Front Panel Setting %	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
X Tap	2.33	1.75	1.40	1.17	1.00	0.875	0.778	0.700	0.636	0.583

Ilustración 5 Tabla 1-1 Múltiplos del TAP

TABLE 5-1. RESTRAINT PICKUP TESTS

Restrained Pickup Setting		Input 1			Input 2			Reduce Input 2 Current Until Pickup
Position	% Slope	Tap	I _{INPUT}	×Tap	Tap	I _{INPUT}	×Tap	
A	15	2.0	2.0	1	3.8	3.8 A	1	2.47 ± 0.15 A
A	15	2.0	4.0	2	3.8	7.6 A	2	4.94 ± 0.30 A
A	15	2.0	6.0	3	3.8	11.4 A	3	9.69 ± 0.58 A
A	15	2.0	10.0	5	3.8	19.0 A	5	16.15 ± 0.97 A

Ilustración 6 Tabla 5-1 pruebas corriente restringida

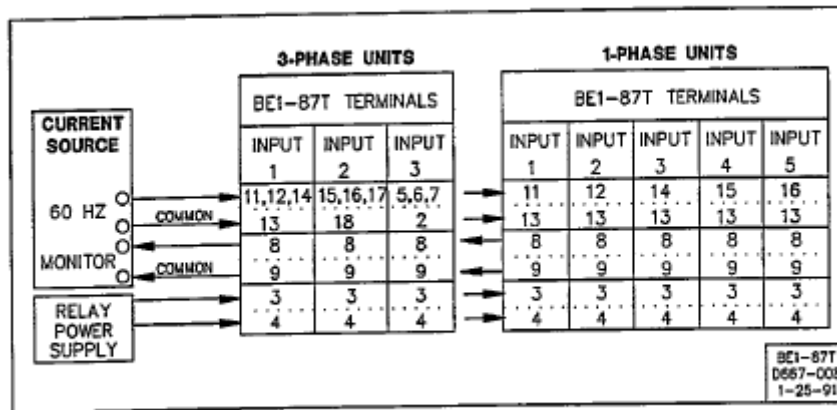


Figure 5-2. Test Setup Prueba de inicio

Ilustración 7 Figura 5-2 Pruebas de inicio-terminales de conexión

Practica # 2

Práctica 2: Cálculo de Corrientes en las Resistencias y Verificación del Disparo en el Lado Izquierdo

Objetivo: Calcular las corrientes que fluyen a través de las resistencias en el lado izquierdo del diagrama (Dimmer 1) cuando se conectan las tres resistencias (1200W, 750W y 300W), y verificar si esto genera una corriente diferencial que active el relé en la posición de tap 3.9 con un pickup entre 1.28A y 1.44A. Asume que las resistencias están en serie, el voltaje es 110V AC, y el Dimmer 1 está ajustado al 100% (sin atenuación).

Materiales necesarios:

Diagrama de conexiones proporcionado.

Tablas relé 87 (Ilustración 5-6-7)

Datos del relé: Tap = 3.9, pickup = 1.28-1.44A.

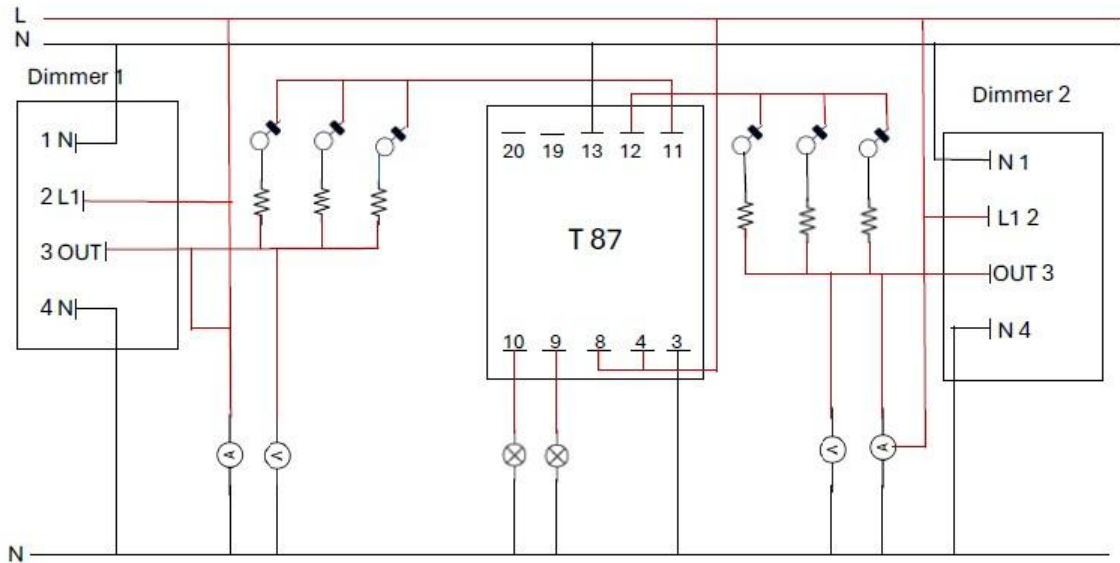


Ilustración 8 Diagrama de conexiones relé 87

Procedimiento:

1. Identifica las resistencias en el lado izquierdo: Asigna una de cada tipo (1200W, 750W, 300W) basándote en el diagrama (símbolos de resortes representan resistencias).
2. Calcula la resistencia equivalente (R) de cada una usando la fórmula $R = V^2 / P$, donde $V = 110V$.
 - Para 1200W: $R = (110)^2 / 1200 \approx 10.08 \Omega$.
 - Para 750W: $R = (110)^2 / 750 \approx 16.13 \Omega$.
 - Para 300W: $R = (110)^2 / 300 \approx 40.33 \Omega$.
3. Como están en serie (según el diagrama, conectadas secuencialmente desde OUT a N), calcula la resistencia total: $R_{total} = 10.08 + 16.13 + 40.33 \approx 66.54 \Omega$.
4. Calcula la corriente total en el lado izquierdo: $I_{izq} = V / R_{total} = 110 / 66.54 \approx 1.65A$.
5. Asume que el lado derecho (Dimmer 2) está desconectado o en corriente cero para maximizar la diferencial ($I_d = I_{izq} - I_{der} \approx 1.65A$). Compara con el umbral de disparo: $I_d > pickup$ (1.28-1.44A) en tap 3.9 (el tap escala el umbral efectivo, típicamente $I_{d_min} = pickup * tap / factor_CT$, pero usa pickup directo para simplicidad).
6. Verifica si 1.65A cae dentro o supera el rango de pickup ajustado por tap 3.9 (calcula $I_{d_efectiva} = I_d / 3.9 \approx 0.42A$, y compara con 1.28-1.44A para ver si no dispara falsamente; ajusta si necesario).

Registra los resultados en una tabla:

Resistencia (W)	R(Ω)	I individual (A) si en paralelo	I total en paralelo (A)
1200	10.08		
750	16.13		
300	40.33		

Practica # 3

Práctica 3: Análisis del Tiempo de Respuesta del Relé para Múltiplos de Tap

Objetivo: Evaluar el tiempo de respuesta del relé diferencial 87 para corrientes diferenciales de 2x tap y 10x tap, usando los tiempos máximos proporcionados (52ms para ambos 2x y 10x). Simula escenarios variando las resistencias y dimmers para lograr estos múltiplos, y discute por qué el tiempo es constante independientemente del múltiplo.

Materiales necesarios:

Diagrama (**Ver Ilustración 8**) y datos del relé.

Cronómetro o simulador de temporización (opcional: osciloscopio virtual).

Tabla de cálculos.

Procedimiento:

- Define el valor base de tap: Tap = 2.0 (asume que representa la corriente base ajustada, e.g., $I_{tap} = 2.0A$, pero usa pickup como referencia: $I_{pickup_medio} = (4.0 + 7.6)/2 \approx 5.8A$).
- Calcula corrientes diferenciales objetivo:
 - Para 2x tap: $I_d = 2 * 2.0 \approx 4.0A$ (o escalado por pickup: $2 * 5.8 \approx 11.6A$).
 - Para 10x tap: $I_d = 10 * 2.0 \approx 20.0A$ (o $10 * 5.8 \approx 58A$).
- Configura el circuito: Usa Dimmer 2 para generar corriente alta en el lado derecho (e.g., conecta resistencias de bajo valor en paralelo: 1200W y 750W para $\approx 13.73A$). Calcula $I = V / R_{eq}$.
 - Ejemplo para 11.6A: Selecciona resistencias que den $R_{eq} = 110 / 11.6 \approx 9.48 \Omega$ (e.g., 1200W || 300W: $1/R = 1/10.08 + 1/40.33 \approx 0.099 + 0.025 \approx 0.124$, $R_{eq} \approx 8.06 \Omega$, $I \approx 13.65A$; ajusta con dimmer).
- Mantén Dimmer 1 en corriente baja o cero para maximizar I_d .
- Simula el disparo: Asume tiempo medido <52ms para ambos 2x y 10x. Discute la operación instantánea (tiempo fijo para fallas por encima del umbral).
- Registra en tabla:

Múltiplo de TAP	Id Objetivo(A)	Configuracion de resistencias	Tiempo max. (ms)	Tiempo esperado (ms)
2x	11.6	1200W		
10x	58	Todas en paralelo (derecho)	52	<52

Practica # 4

Práctica 4: Diseño de Configuraciones de Dimmer para Evitar Disparos Falsos y Prueba de Pickup

Objetivo: Diseñar ajustes en los dimmers para balancear corrientes en ambos lados (evitando disparo) y luego desbalancear para probar el rango de pickup (4.0-7.6A) en tap 2.0. Usa las 6 resistencias distribuidas (3 por lado: 1200W, 750W, 300W) y calcula potencias disipadas.

Materiales necesarios:

Diagrama (**Ver Ilustración 8**)

Multímetro virtual para corrientes.

Datos: Voltaje 110V, dimmers 4000W max.

Procedimiento:

1. Asigna resistencias: Lado der: 1200W, 750W, 300W; lado izq: igual.
2. Calcula corrientes balanceadas (dimmers al 100%, paralelas para corrientes altas): $I_{\text{por lado}} = 110 / (1/(1/10.08 + 1/16.13 + 1/40.33)) \approx 20.45\text{A}$ cada lado, $I_d = 0$ (no disparo).
3. Para probar pickup: Ajusta Dimmer 2 al 100%, Dimmer 1 al porcentaje X para $I_d = I_{\text{der}} - I_{\text{izq}} \approx 4.0\text{A}$.
 - $I_{\text{izq}} = 20.45 - 4.0 \approx 16.45\text{A} \rightarrow X = (16.45 / 20.45) * 100\% \approx 80.4\%$.
4. Repite para 7.6A: $I_{\text{izq}} \approx 20.45 - 7.6 = 12.85\text{A} \rightarrow X \approx 62.8\%$.
5. Verifica no disparo por debajo de 4.0A (e.g., $I_d=3.5\text{A}$).
6. Calcula potencia total: $P_{\text{der}} = I_{\text{der}}^2 * R_{\text{eq der}} \approx (20.45)^2 * 5.38 \approx 2250\text{W}$ (verifica <4000W dimmer).
7. Registra ajustes:

Pickup objetivo (A)	Ajuste Dimmer 2 (%)	Ajuste Dimmer 1 (%)	Id calculada (A)	Disparo esperado
4.0	100	80.4	4.0	Si
7.6	100	62.8	7.6	Si

Preguntas de análisis:

¿Cómo afecta el tap 2?0 al pickup? (Respuesta esperada: Escala el umbral para matching de CTs, e.g., pickup efectivo = pickup * tap si tap <1, ajustando sensibilidad).

Si conectas resistencias en serie, ¿cambia el pickup? Calcula nueva I (menor, e.g., 1.65A por lado, I_d pequeña, no disparo).

Practica # 5

Práctica 5: Cálculo de Corrientes en las Resistencias y Verificación del Disparo en el Lado Izquierdo

Objetivo: Calcular las corrientes que fluyen a través de las resistencias en el lado izquierdo del diagrama (Dimmer 1) cuando se conectan las tres resistencias (1200W, 750W y 300W), y verificar si esto genera una corriente diferencial que active el relé en la posición de tap 3.9 con un pickup entre 1.28A y 1.44A. Asume que las resistencias están en serie, el voltaje es 110V AC, y el Dimmer 1 está ajustado al 100% (sin atenuación).

Materiales necesarios:

- Diagrama de conexiones proporcionado (**Ver Ilustración 8**).
- Calculadora o software de simulación eléctrica (opcional: usar Python con librerías como numpy para cálculos).
- Datos del relé: Tap = 3.9, pickup = 1.28-1.44A.

Procedimiento:

1. Identifica las resistencias en el lado izquierdo: Asigna una de cada tipo (1200W, 750W, 300W) basándote en el diagrama (símbolos de resortes representan resistencias).
2. Calcula la resistencia equivalente (R) de cada una usando la fórmula $R = V^2 / P$, donde $V = 110V$.
 - Para 1200W: $R = (110)^2 / 1200 \approx 10.08 \Omega$.
 - Para 750W: $R = (110)^2 / 750 \approx 16.13 \Omega$.
 - Para 300W: $R = (110)^2 / 300 \approx 40.33 \Omega$.
3. Como están en serie (según el diagrama, conectadas secuencialmente desde OUT a N), calcula la resistencia total: $R_{total} = 10.08 + 16.13 + 40.33 \approx 66.54 \Omega$.
4. Calcula la corriente total en el lado izquierdo: $I_{izq} = V / R_{total} = 110 / 66.54 \approx 1.65A$.
5. Asume que el lado derecho (Dimmer 2) está desconectado o en corriente cero para maximizar la diferencial ($I_d = I_{izq} - I_{der} \approx 1.65A$). Compara con el umbral de disparo: $I_d > \text{pickup}$ (1.28-1.44A) en tap 3.9 (el tap escala el umbral efectivo, típicamente $I_{d_min} = \text{pickup} * \text{tap} / \text{factor_CT}$, pero usa pickup directo para simplicidad).
6. Verifica si 1.65A cae dentro o supera el rango de pickup ajustado por tap 3.9 (calcula $I_{d_efectiva} = I_d / 3.9 \approx 0.42A$, y compara con 1.28-1.44A para ver si no dispara falsamente; ajusta si necesario).

Preguntas de análisis:

- ¿Por qué el disparo ocurre solo con las tres resistencias conectadas? (Respuesta esperada: La corriente diferencial alcanza el pickup al desbalancear los lados).
- Si reduces el dimmer al 80%, ¿cambia el disparo? Calcula la nueva I_{izq} ($\approx 1.32A$) y compara.
- Registra resultados en una tabla:

Resistencia (W)	$R(\Omega)$	I individual (A) si en paralelo	I total en paralelo (A)
1200	10.08	10.91	
750	16.13	6.82	
300	40.33	2.73	1.65

Practica # 6

Objetivo: Evaluar el tiempo de respuesta del relé diferencial 87 para corrientes diferenciales de 2x tap y 10x tap, usando los tiempos máximos proporcionados (55ms para 2x, 52ms para 10x). Simula escenarios variando las resistencias y dimmers para lograr estos múltiplos, y discute por qué el tiempo disminuye con mayor diferencial.

Materiales necesarios:

- Diagrama y datos del relé (**Ver Ilustración 8**).
- Cronómetro o simulador de temporización (opcional: osciloscopio virtual).
- Tabla de cálculos.

Procedimiento:

1. Define el valor base de tap: Tap = 3.9 (asume que representa el corriente base ajustada, e.g., $I_{tap} = 3.9A$, pero usa pickup como referencia: $I_{pickup_medio} = (1.28 + 1.44)/2 \approx 1.36A$).
2. Calcula corrientes diferenciales objetivo:
 - Para 2x tap: $I_d = 2 * 3.9 \approx 7.8A$ (o escalado por pickup: $2 * 1.36 \approx 2.72A$ para umbral mínimo).
 - Para 10x tap: $I_d = 10 * 3.9 \approx 39A$ (o $10 * 1.36 \approx 13.6A$).
3. Configura el circuito: Usa Dimmer 1 para generar corriente alta en un lado (e.g., conecta solo resistencias de bajo valor: 1200W y 750W en paralelo para mayor corriente). Calcula $I = V / R_{eq}$.
 - Ejemplo para 7.8A: Selecciona resistencias que den $R_{eq} = 110 / 7.8 \approx 14.1 \Omega$ (e.g., 1200W || 750W: $1/R = 1/10.08 + 1/16.13 \approx 0.099 + 0.062 \approx 0.161$, $R_{eq} \approx 6.21 \Omega$, pero ajusta con dimmer).
4. Mantén Dimmer 2 en corriente baja o cero para maximizar I_d .

5. Simula el disparo: Asume tiempo medido <55ms para 2x, <52ms para 10x. Discute la curva inversa (mayor falla, respuesta más rápida).
6. Registra en tabla:

Múltiplo de TAP	Id Objetivo(A)	Configuracion de resistencias	Tiempo max. (ms)	Tiempo esperado (ms)
2x	11.6	1200W	55	<55
10x	58	Todas en paralelo (izquierdo)	52	<52

Preguntas de análisis:

- ¿Por qué el tiempo es menor en 10x que en 2x? (Respuesta: Mayor energía en la bobina del relé acelera el cierre de contactos).
- Si Id = 5x tap, estima el tiempo interpolando (e.g., ≈53.5ms).

Practica # 7

Objetivo: Diseñar ajustes en los dimmers para balancear corrientes en ambos lados (evitando disparo) y luego desbalancear para probar el rango de pickup (1.28-1.44A) en tap 3.9. Usa las 6 resistencias distribuidas (3 por lado: 1200W, 750W, 300W) y calcula potencias disipadas.

Materiales necesarios:

- Diagrama (**Ver Ilustración 8**).
- Multímetro virtual para corrientes.
- Datos: Voltaje 110V, dimmers 4000W max.

Procedimiento:

1. Asigna resistencias: Lado izq: 1200W, 750W, 300W; lado der: igual.
2. Calcula corrientes balanceadas (dimmers al 100%, series): $I_{por_lado} = 110 / (10.08 + 16.13 + 40.33) \approx 1.65A$ cada lado, Id = 0 (no disparo).
3. Para probar pickup: Ajusta Dimmer 1 al 100%, Dimmer 2 al porcentaje X para $I_d = I_{izq} - I_{der} \approx 1.28A$.
 - $I_{der} = 1.65 - 1.28 \approx 0.37A \rightarrow X = (0.37 / 1.65) * 100\% \approx 22.4\%$.
4. Repite para 1.44A: $I_{der} \approx 1.65 - 1.44 = 0.21A \rightarrow X \approx 12.7\%$.
5. Verifica no disparo por debajo de 1.28A (e.g., Id=1.2A).
6. Calcula potencia total: $P_{izq} = I_{izq}^2 * R_{total_izq} \approx (1.65)^2 * 66.54 \approx 181W$ (verifica <4000W dimmer).

7. Registra ajustes:

Pickup objetivo (A)	Ajuste Dimmer 2 (%)	Ajuste Dimmer 1 (%)	Id calculada (A)	Disparo esperado
1.28	100	22.4	1.28	Si
1.44	100	12.7	1.44	Si

Preguntas de análisis:

- ¿Cómo afecta el tap 3.9 al pickup? (Respuesta: Escala el umbral para matching de CTs, pickup efectivo = pickup / tap si tap >1).
- Si conectas resistencias en paralelo, ¿cambia el pickup? Calcula nueva I (mayor, $10.91 + 6.82 + 2.73 \approx 20.46A$ por lado).

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



MANUAL DE MANTENIMIENTO DE UN MODULO RELÉ DIFERENCIAL 87

AUTOR:

Sarzosa Mafla Diego Vicente

Ibarra-Ecuador

2025

Contenido

MANUAL DE MANTENIMIENTO	3
2. Terminología	4
Descripción del equipo	6
Precauciones de seguridad	7
Herramientas y Equipos Requeridos	7
Mantenimiento preventivo	7
Pruebas de verificación	8
Mantenimiento Correctivo y Reparaciones	8
Almacenamiento	9
Terminología	9

MANUAL DE MANTENIMIENTO

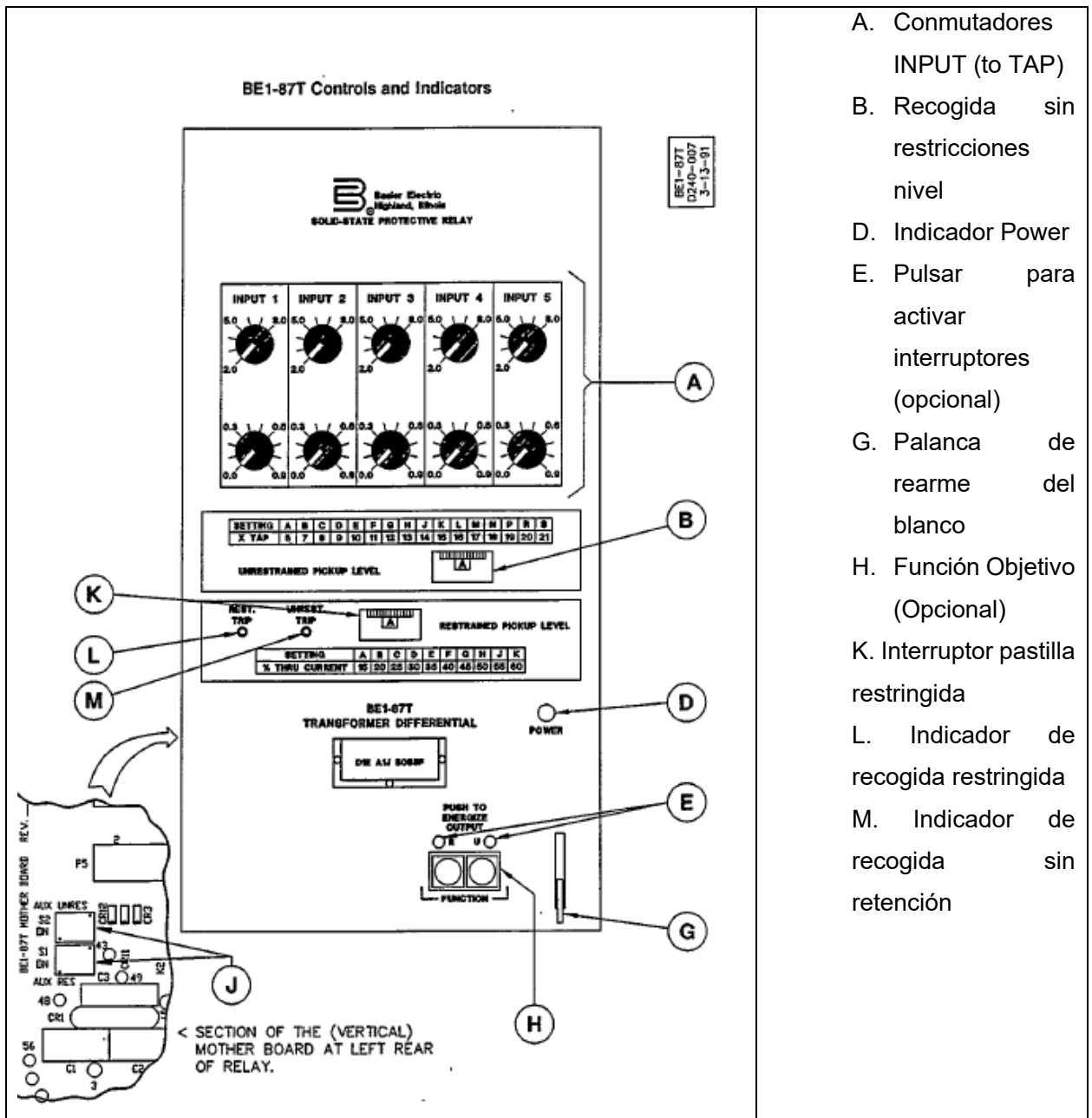
1. Introducción

Los relés de protección diferencial, designados bajo el código ANSI/IEEE 87, representan uno de los pilares fundamentales en los sistemas de protección eléctrica de potencia, particularmente para la salvaguarda de transformadores, generadores y barras de alta tensión contra fallas internas. Estos dispositivos operan bajo el principio de comparación de corrientes: miden las corrientes de entrada y salida de la zona protegida mediante transformadores de corriente (CTs), detectando desequilibrios que indican una falla interna, como cortocircuitos entre espiras o fases. En condiciones normales, las corrientes escaladas se cancelan mutuamente, resultando en una corriente diferencial (I_d) cercana a cero; sin embargo, ante una falla, I_d supera un umbral predefinido (pickup), activando un disparo para aislar el equipo y minimizar daños, interrupciones en el suministro y riesgos de inestabilidad en la red.

En el contexto de aplicaciones prácticas, como se observa en diagramas de conexiones típicos, el relé 87 integra elementos como indicadores de disparo restringido (restrained) y no restringido (unrestrained), bobinas de operación y salidas auxiliares para alarmas o lockout.

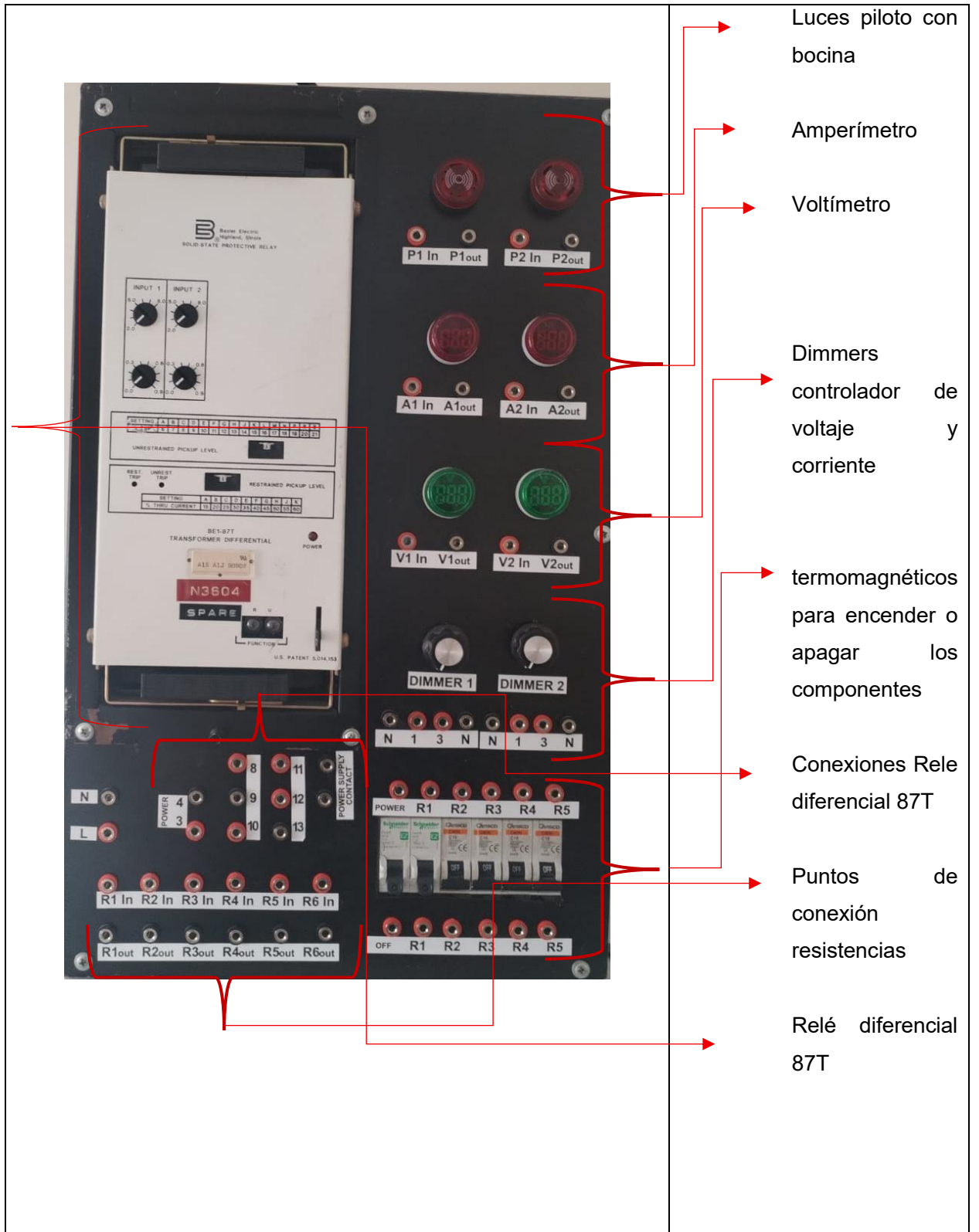
El mantenimiento regular de estos relés es esencial para garantizar su fiabilidad en entornos de alta exigencia, donde factores como el envejecimiento de componentes, exposición a polvo/humedad o variaciones en la calibración pueden comprometer la protección. Un programa de mantenimiento preventivo incluye inspecciones visuales, pruebas operacionales (e.g., inyección de corrientes diferenciales para verificar pickups y tiempos), verificación de conexiones (incluyendo tierras DC y CTs), y calibración de taps y slopes, todo ello sin requerir intervenciones invasivas frecuentes, pero con énfasis en chequeos periódicos para extender la vida útil

2. Terminología



El relé BE1-87T de Basler Electric es un dispositivo de protección diferencial diseñado específicamente para transformadores de potencia, disponible en configuraciones monofásicas (hasta cinco entradas de restricción) o trifásicas (hasta tres entradas por fase). Opera comparando las corrientes de entrada y salida del transformador protegido, detectando fallas internas mediante el principio de corriente diferencial, mientras incorpora mecanismos de restricción por porcentaje, armónicos y umbrales no restringidos para evitar disparos falsos durante condiciones transitorias como corrientes de inrush o sobreexcitación. A

continuación, se presenta una terminología clave extraída y adaptada de la documentación oficial, organizada alfabéticamente para facilitar su consulta.



Descripción del equipo

El BE1-87T es un relé diferencial monofásico o trifásico con hasta cinco entradas de restricción, compatible con CTs de 1A/5A y frecuencias 50/60Hz. En esta configuración:

Conexiones Principales: El relé (etiquetado T87 en diagramas) recibe corrientes de CTs simuladas vía dimmers y resistencias. Dimmer 1 (lado izquierdo: terminales 1N-4N, L1-OUT) y Dimmer 2 (lado derecho: I1-I4, L2-OUT) controlan cargas variables hasta 4000W, conectadas a resistencias (1500W \approx 7.33 Ω , 750W \approx 16.13 Ω , 300W \approx 40.33 Ω a 110V) para generar corrientes diferenciales (I_d).

Monitoreo: Dos amperímetros miden corrientes por lado (I_{izq} e I_{der}), y dos voltímetros muestran voltajes (V_{izq} y V_{der}), conectados internamente para visualización en panel.

Protecciones Adicionales: Cinco termomagnéticos de 16A protegen circuitos (posiblemente uno por dimmer, dos por monitoreo y dos auxiliares), desconectando ante sobrecargas >16A.

Operación: Ajustes incluyen taps (2.0-8.9A), slope (15-60%) y armónicos (segundo: 8-27%, quinto: 25-45%). Simulaciones con resistencias desbalanceadas activan disparos, con salidas auxiliares para alarmas o lockout.

En este grafico se puede evidenciar el voltaje medio fue de 129,6 V en la media máxima del gráfico y también encontramos el voltaje medio bajo de 118,9 V.

Precauciones de seguridad

- Desconecte alimentación (110V AC/DC) y retire plugs antes de mantenimiento para evitar choques o daños.
- Verifique termomagnéticos en OFF antes de intervenir; resetee solo tras inspección.
- Maneje resistencias con precaución (calor $>100^{\circ}\text{C}$ en operación); use guantes térmicos.
- Neutralice estática tocando tierra antes de tocar tarjetas; evite plásticos.
- No ajuste dimmers o taps en servicio; riesgo de disparos falsos o sobrecargas.
- Pruebas con corrientes altas requieren equipo aislado; monitoree con amperímetros/voltímetros para no exceder 16A por breaker.

Herramientas y Equipos Requeridos

- Fuentes de corriente variables (para inyección diferencial).
- Osciloscopio para verificar amperímetros/voltímetros.
- Multímetro para verificar amperímetros/voltímetros.
- 2 Planchas extractoras de prueba (Basler p/n 10095).
- Termómetro infrarrojo para resistencias/dimmers.
- Conectores macho tipo banana
- Cronómetro para tiempos de respuesta.

Mantenimiento preventivo

Realice chequeos trimestrales/anuales:

1. **Inspección Visual:** Verifique conexiones a dimmers, resistencias, amperímetros/voltímetros y breakers por corrosión/polvo. Limpie con aire comprimido.
2. **Verificación de Componentes:** Mida resistencias (e.g., 1500W: $\sim 7.33\Omega$) con ohmímetro; pruebe dimmers al 0-100% para linealidad. Calibre amperímetros/voltímetros contra estándares.
3. **Pruebas de Breakers:** Active termomagnéticos manualmente; verifique disparo a 16A simulada.

4. **Energización Periódica:** Conecte a 110V por 30min anuales si inactivo.
5. **Lubricación/Calibración:** No requerida para relé; ajuste taps/slopes si desviación >5%.

Pruebas de verificación

Pruebas Funcionales

1. **Pickup Restringido:** Ajuste tap 2.0, slope 15%. Conecte resistencias en paralelo lado derecho (e.g., 1500W || 750W || 300W: $R_{eq} \approx 4.5\Omega$, $I \approx 24.4A$ a 110V); mantenga lado izquierdo bajo. Verifique disparo a $I_d=4.0-7.6A$ con dimmer ajuste.
2. **Pickup No Restringido:** A 10x tap (20A), simule con todas resistencias en un lado; mida tiempo <52ms.
3. **Armónicos:** Inyecte segundo armónico (12-18%) vía fuente; confirme inhibición.
4. **Monitoreo:** Use amperímetros/voltímetros para registrar I/V durante pruebas; asegure breakers no disparen prematuramente.
5. **Dieléctricas:** 1500Vac entre entradas/salidas; evite resistencias durante prueba.

Prueba	Configuración (Resistencias/Dimmers)	Valor Esperado	Resultado
Pickup Restringido	Paralelo lado der, dimmer 100%	4.0-7.6A	
Tiempo 2x Tap	Serie lado izq, desbalance	<52ms	

Mantenimiento Correctivo y Reparaciones

De igual forma se puede evidenciar una corriente máxima y mínima con diferencias con la fase B en su grafico como en la corriente máxima y mínima teniendo valores como máxima de 0,161 kA y mínima de 0,043 kA.

- **Fallas Comunes:** Sobrecalentamiento en resistencias (reemplace si R varia >10%); fallos en dimmers (verifique triacs); lecturas erróneas en medidores (recalibre).
- **Reparación:** Sustituya breakers defectuosos (16A equivalentes). Para relé, envíe a Basler si tarjeta falla.
- **Procedimiento:** Desconecte, inspeccione, pruebe componentes aislados.

Almacenamiento

Almacene en ambiente seco (<70% HR, 0-40°C); proteja dimmers/resistencias de polvo. Energice sistema anualmente.

Terminología

- **Auxiliary Output Contacts:** Para alarmas en disparo.
- **Burden Voltage:** Caída en CTs simulados.
- **CT Mismatch:** Desajuste por resistencias desiguales.
- **Fifth-Harmonic Restraint:** Inhibe sobreexcitación.
- **Harmonic Restraint:** General para transitorios.
- **Pickup:** Umbral diferencial (restringido/no restringido).
- **Slope Setting:** Pendiente ajustable.
- **Tap Setting:** Corriente base.
- **Thermomagnetic Breaker:** Protección 16A contra sobrecargas.