



INTERRUPTORES - Desplazamiento

Raidel Coa

Ingeniero de Aplicaciones – Megger

República Dominicana, 13-15 de Agosto de 2019

Megger[®]
Power on

Coordinadora

■ Karen Becerril

Especialista de marketing para Latinoamérica

Karen.Becerril@megger.com



■ Ariel Toribio

Gerente Regional para Latinoamérica
csasales@megger.com

Moderador



Presentador

■ Raidel Coa

Venezolano, Ingeniero electricista, posee estudios de cuarto nivel “Magister Scientiarum en Ingeniería Eléctrica”. Tiene 17 años de experiencia en pruebas eléctricas a equipos de alta tensión (11,4 a 800 kV). Fue miembro del comité de estudio A3 de CIGRE “High Voltage Equipment” durante los periodos 2010-2016.

Inspector de pruebas en fábrica (FAT) de CORPOELEC en:

- COELME-EGIC, seccionadores 420 kV (Venecia – Italia)
- ABB, interruptores, 245 y 420 kV (Ludvika – Suecia)
- SIEMENS, Interruptores, 115 kV (Grenoble – Francia)
- SIEMENS, Transformador de Potencia, 115/34,5 kV (Sao Paulo – Brasil)
- ALSTOM, Transformadores de corriente, 800 kV (Minas Gerais – Brasil)

Profesor universitario de las cátedras de “Técnicas de Alta Tensión” y “Subestaciones Eléctricas” en UNEXPO – Puerto Ordaz (Venezuela), desde 2010 hasta 2017.

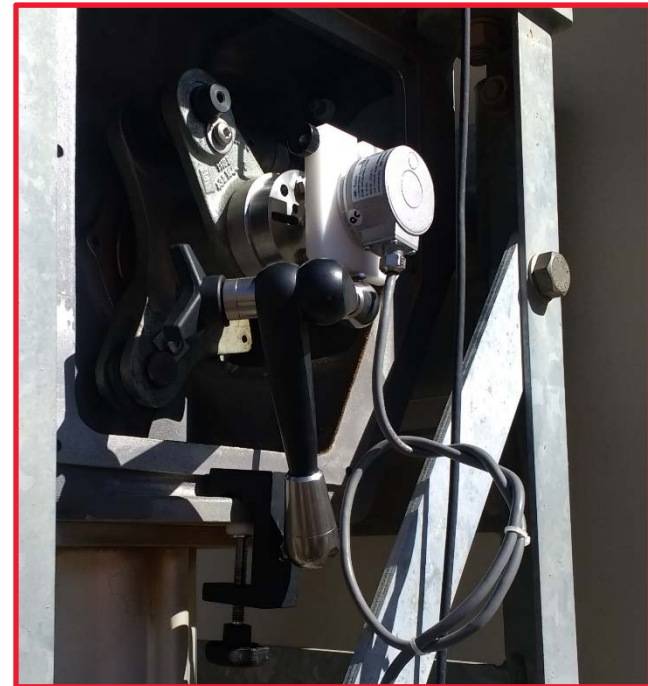
En la actualidad se desempeña como Ingeniero de Aplicaciones en Subestaciones para MEGGER (Centro, Sur America y el Caribe)



Megger
Power on

Contenido

- Definiciones
- Requerimientos
- Transductores
- Mediciones de desplazamiento (parámetros)
- Casos de estudio
- Conclusiones



Estudios Realizados

- *1974-1977 (publicado en 1981) – “The first international enquiry on circuit-breaker failures and defects in service”*

Se evaluaron alrededor de 79.000 años de interruptores. Tuvo un impacto significativo en los trabajos de normalización (IEC), incluyendo procedimiento de pruebas mecánicas y ambientales.

- *1988-1991 (publicado en 1994) – “Final report of the second international enquiry on high voltage circuit-breaker failures and defects in service (Part I)”*

Cubrió casi el mismo número de años de interruptores, pero estuvo limitado a interruptores de presión simple en SF6.

- *2004-2007 (publicado en 2012) – “Final report of the 2004-2007 international enquiry on reliability of high voltage equipment (Part 2)”*.

Se evaluaron 281.090 años de interruptores. **Se obtuvo que el 50% de las fallas mayores en interruptores fueron debido al mecanismo de operación.**



Definiciones

■ Importancia de la Prueba de Desplazamiento

- Aplicar Normas Internacionales
 - IEEE STD C37.09-1999
 - IEC 62271-100
- Obtener información relevante de la condición mecánica del interruptor
- Recopilar datos (parámetros) para análisis de tendencias futuras
- Detectar problemas en etapas tempranas, para prevenir daños mayores
- Verificar características de amortiguamiento
 - Definida como un tiempo entre 2 puntos
 - Definida como una “segunda velocidad” en la zona de amortiguamiento
- Medir la longitud de los contactos de arco (Interruptores SF6), en conjunto con la prueba de DRM

Definiciones

■ IEEE Std C37.09-1999

IEEE
Std C37.09-1999

IEEE STANDARD TEST PROCEDURE FOR AC HIGH-VOLTAGE

Timing tests may be made by any of the following methods:

- a) An oscillograph with suitable travel indicators connected to an appropriate point or points of the circuit breaker linkage or contacts;
- b) A cycle counter or interval timer to determine the time interval after the energizing of the closing or tripping circuit to the parting, closing, or reclosing of contacts; or
- c) A time-travel recorder to record graphically, as a function of time, the position of the part to which it is mechanically attached.

Oscillographs with travel indicators and time travel recorders can produce records from which the speed of the part can be calculated.

These tests, when used as production tests, are a means of checking the operation of a new circuit breaker within the speed range selected during development of this type of circuit breaker. After a circuit breaker has been in service, these tests may be used to determine whether it is still operating correctly.

Opening times shall be obtained and recorded for all circuit breakers.

Travel-time curves shall be obtained for all outdoor circuit breakers with an interrupting time of three cycles or less.

Definiciones

■ IEC 62271-100

6.101 Mechanical and environmental tests

6.101.1 Miscellaneous provisions for mechanical and environmental tests

6.101.1.1 Reference mechanical travel characteristics

At the beginning of the type tests, the mechanical travel characteristics of the circuit-breaker shall be established, for example, by recording no-load travel curves. These curves will serve as the reference mechanical travel characteristics. The purpose of these reference mechanical travel characteristics is to characterise the mechanical behaviour of the circuit-breaker. Similar tests are required before and/or after other tests including environmental, making, breaking and switching tests and at the time of routine testing and commissioning tests, if applicable.

Definiciones

■ IEC 62271-100

7.101 Mechanical operating tests

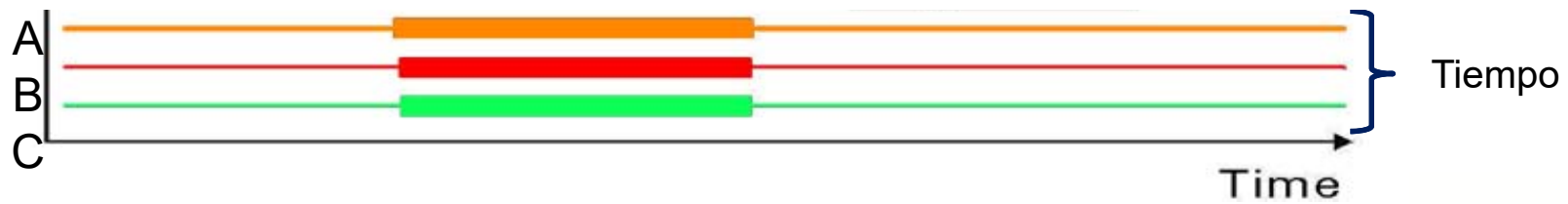
If the measurement is performed on site, the manufacturer shall state the preferred measuring procedure. If other procedures are used, the results may be different and the comparison of the instantaneous contact stroke may be impossible to achieve.

The mechanical travel characteristics can be recorded directly, using a travel transducer or similar device on the circuit-breaker contact system or at other convenient locations on the drive to the contact system where there is a direct connection, and a representative image of the contact stroke can be achieved. The mechanical travel characteristics shall be preferably a continuous curve as shown in figure 23 a). Where the measurements are taken on site, other methods may be applied which record points of travel during the operating period.

10.2.102.2.6 Record of mechanical travel characteristics

As required by 7.101, a record can be made of the mechanical travel characteristics where the circuit-breaker has been assembled as a complete circuit-breaker for the first time on site or where all or part of the routine tests are performed on site. The record shall confirm satisfactory performance by comparison with the reference mechanical travel characteristics obtained during the reference no-load tests detailed in 6.101.1.1.

Definiciones





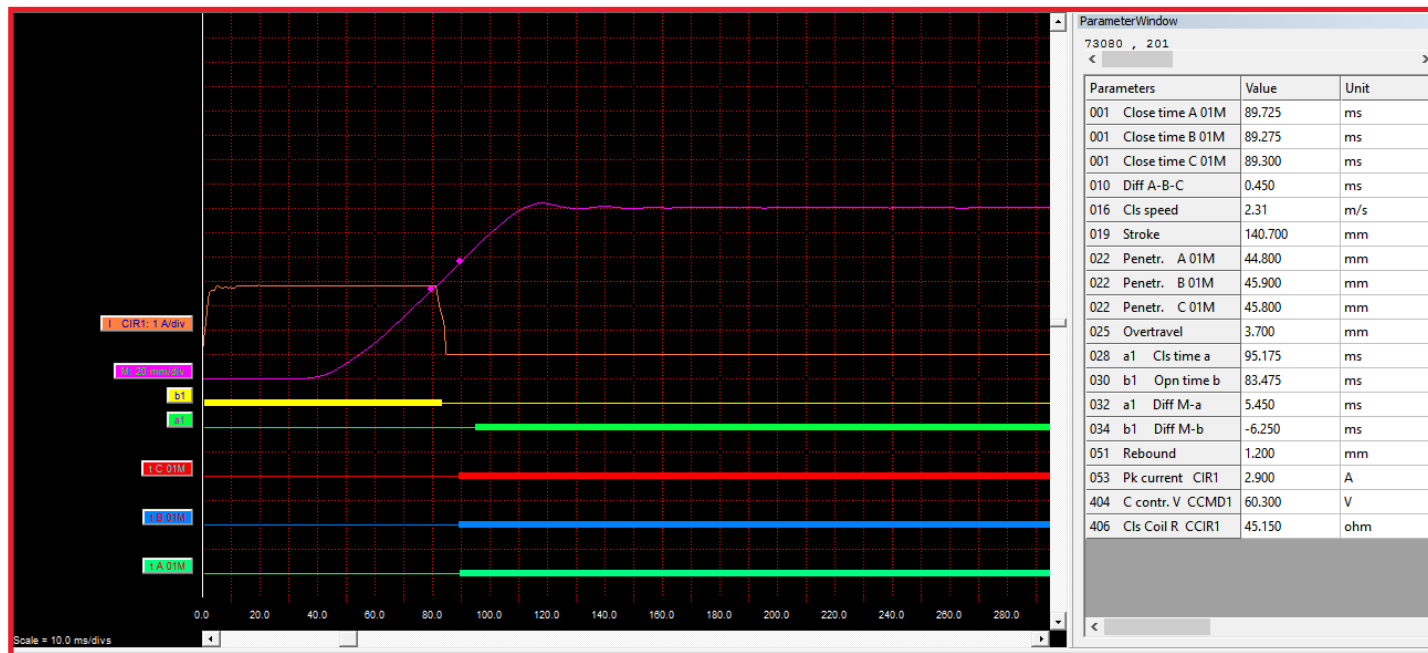
Definiciones

■ Problemas que pueden ser detectados

- Longitud de desplazamiento (stroke) incorrecto
- Velocidad de Cierre/Apertura anormal
 - Ajustes incorrectos
 - Problemas con resortes, lubricación, etc.
- Problemas de amortiguamiento (dashpot)
 - Poco amortiguado: sobredesplazamiento excesivo (riesgo de daño mecánico)
 - Muy amortiguado: Velocidad muy baja en zona de arco (riesgo durante extinción)
- Problemas de rebote
 - Riesgo de reencendido del arco, puede explotar el interruptor
- Anormalidades en la forma de la curva de desplazamiento
- Desgaste excesivo de los contactos de arco (DRM)

Definiciones

■ Operación de cierre



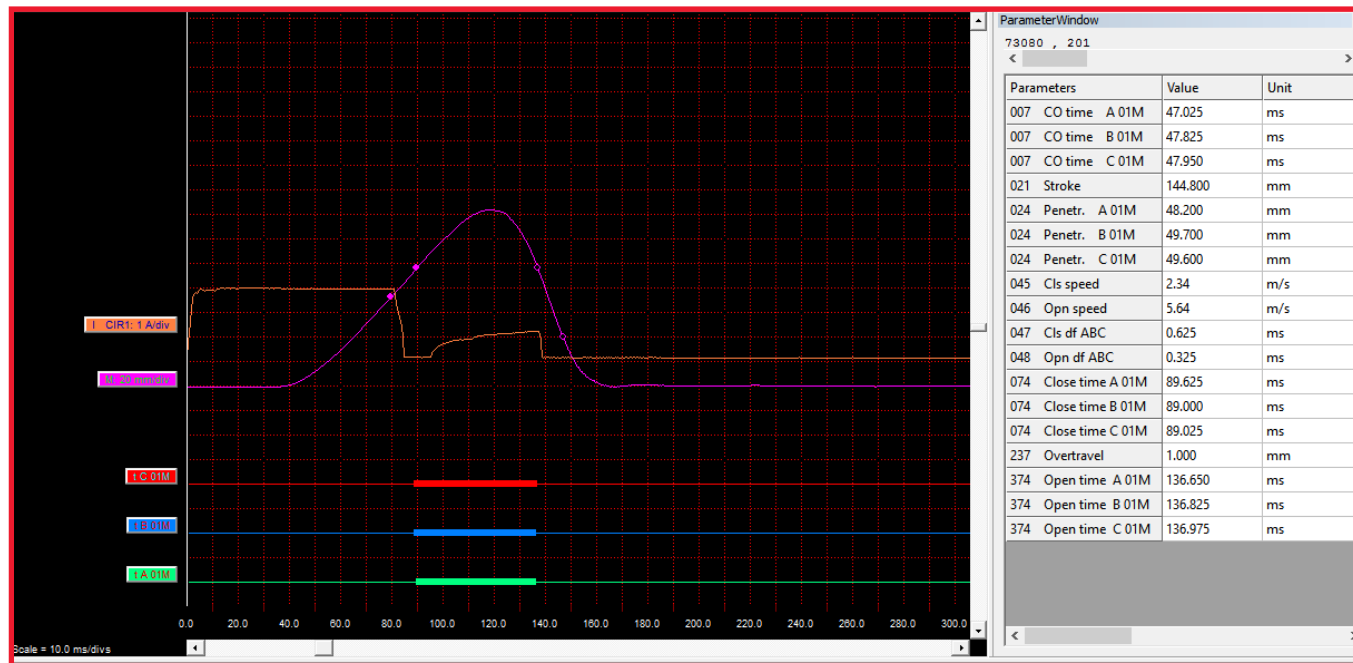
Definiciones

■ Operación de apertura



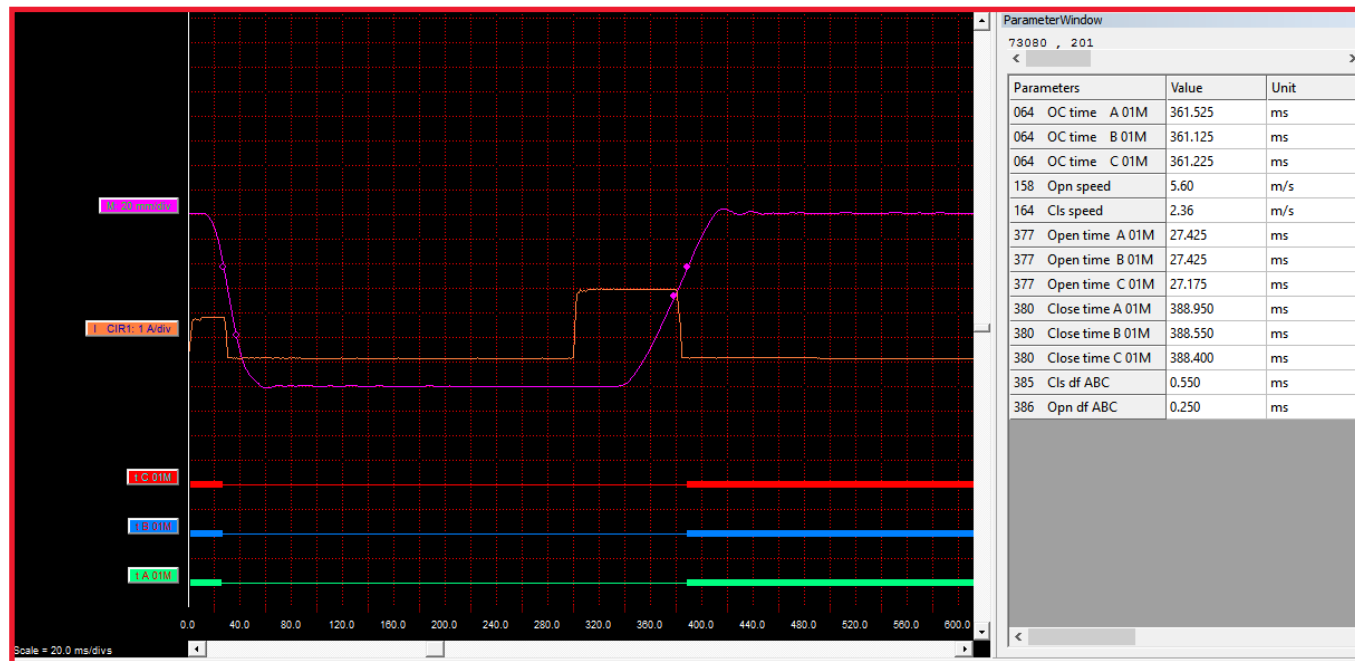
Definiciones

■ Operación de cierre-apertura



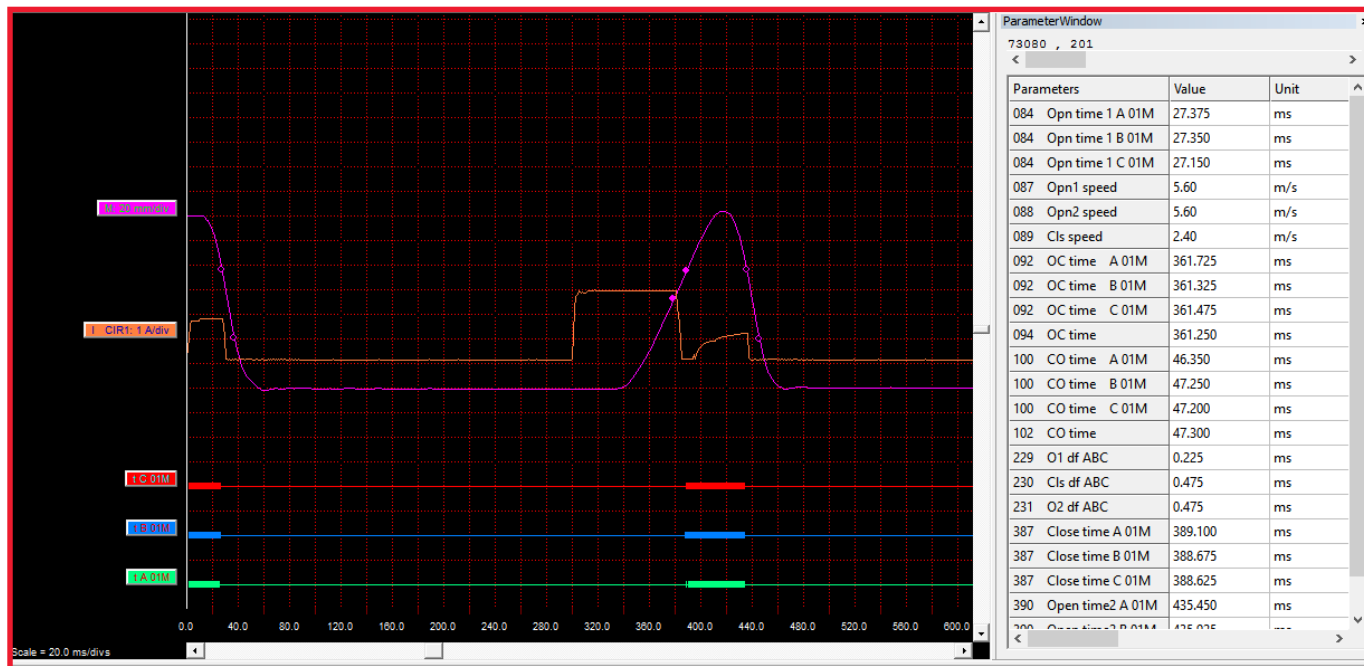
Definiciones

■ Operación de apertura-cierre



Definiciones

■ Operación de apertura-cierre-apertura

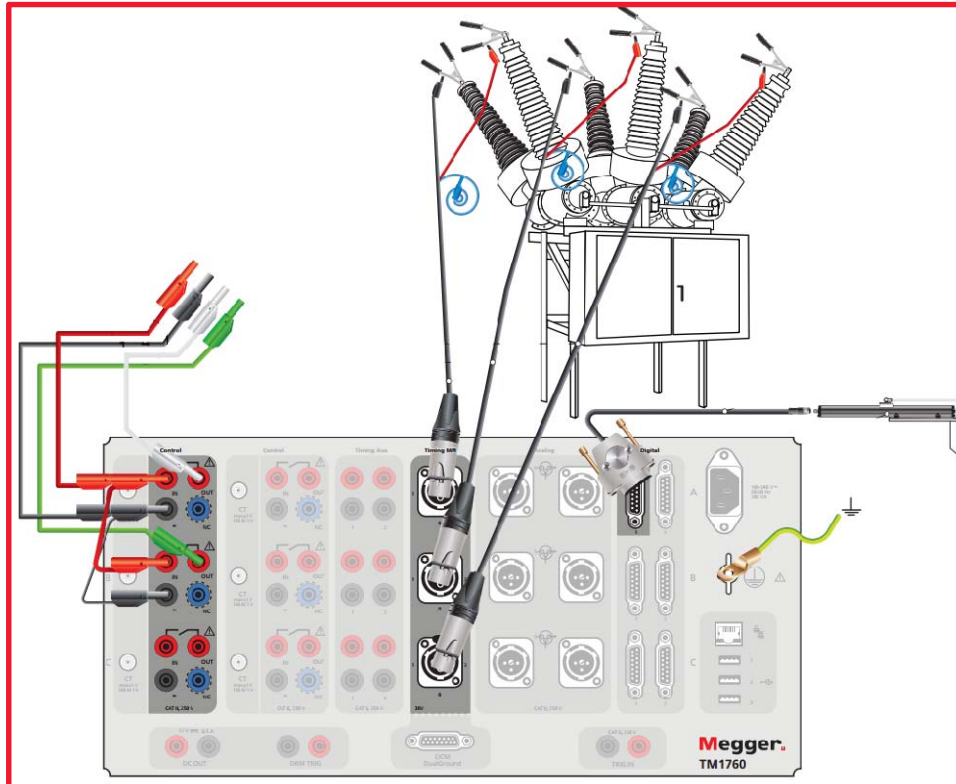




Requerimientos

Megger[®]
Power on

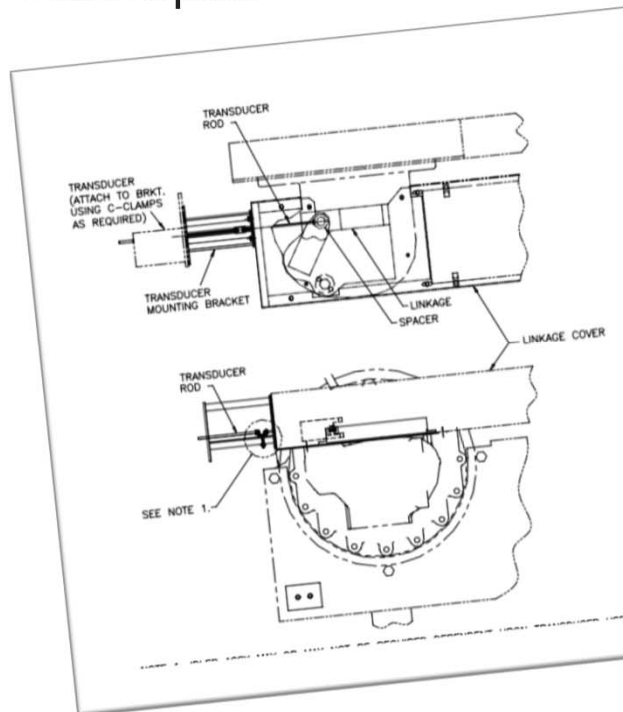
Requerimientos



- Información técnica del interruptor
- Instrumento de pruebas: Analizador de interruptores
- Transductor(es) y kits de montaje
- Plan de pruebas

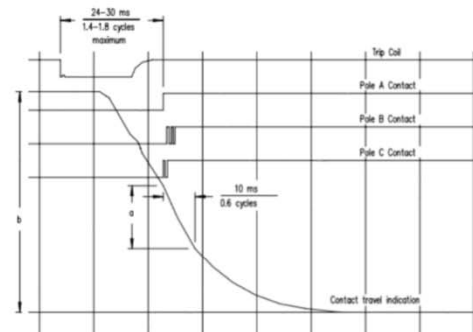
Requerimientos

■ Información técnica del interruptor



Illustrations

Page 38



Example of Opening Operation Record

Calculation For Contact Opening Velocity=
 $V=15.0a/b$ meter/second

Note: a and b may be measured in any consistent units

Contact Stroke = 150 mm
Transducer Stroke = 110 mm @ Linkage

Figure 5. Travel Record - Opening

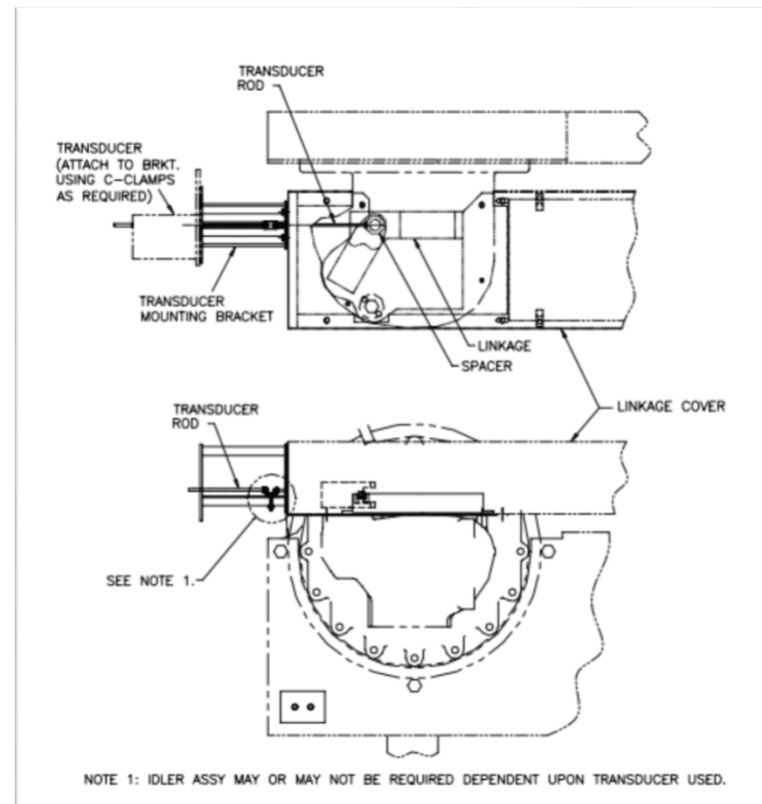
72-183-203-481



Megger
Power on

Requerimientos

- Información técnica del interruptor



Requerimientos

■ Información técnica del interruptor

Illustrations

Page 53

TABLE 1

Operating Characteristics

A. SF₆ Switch

Fill Pressure	87 psig @ 68° F [6.0 bar @ 20° C]
Low Pressure Alarm	75 psig @ 68° F [5.2 bar @ 20° C]
Minimum Pressure	72 psig @ 68° F [5.0 bar @ 20° C]

B. Operating Requirements

Timing Data	
Contact Part Time (Opening)	24 - 30 milliseconds
Opening Velocity	5.0 - 5.7 m/sec
Contact Make Time (Closing)	50-66 milliseconds max.
Closing Velocity	3.5 - 4.6 m/sec
Reclosing Time	300 milliseconds
Contact Stroke	5.91 in [150mm]
Transducer Stroke @ Linkage	4.33 in [110 mm]

Requerimientos

■ Instrumento de pruebas: Analizador de interruptores



■ EGIL

- Hasta S/E's de 245 kV
- Mecanismo tripolar
- Una cámara de interrupción por fase
- OCB, SF6, Vacío, etc...



■ TM1700

- Hasta S/E's de 765 kV
- Mecanismo tripolar ó monopolar
- Hasta 2 cámaras de interrupción por fase
- OCB, SF6, Vacío, GIS, etc.
- DualGround



■ TM1800

- Hasta S/E's de 765 kV
- Mecanismo tripolar ó monopolar
- Hasta 16 cámaras de interrupción por fase
- OCB, SF6, Vacío, GIS, etc.
- DualGround

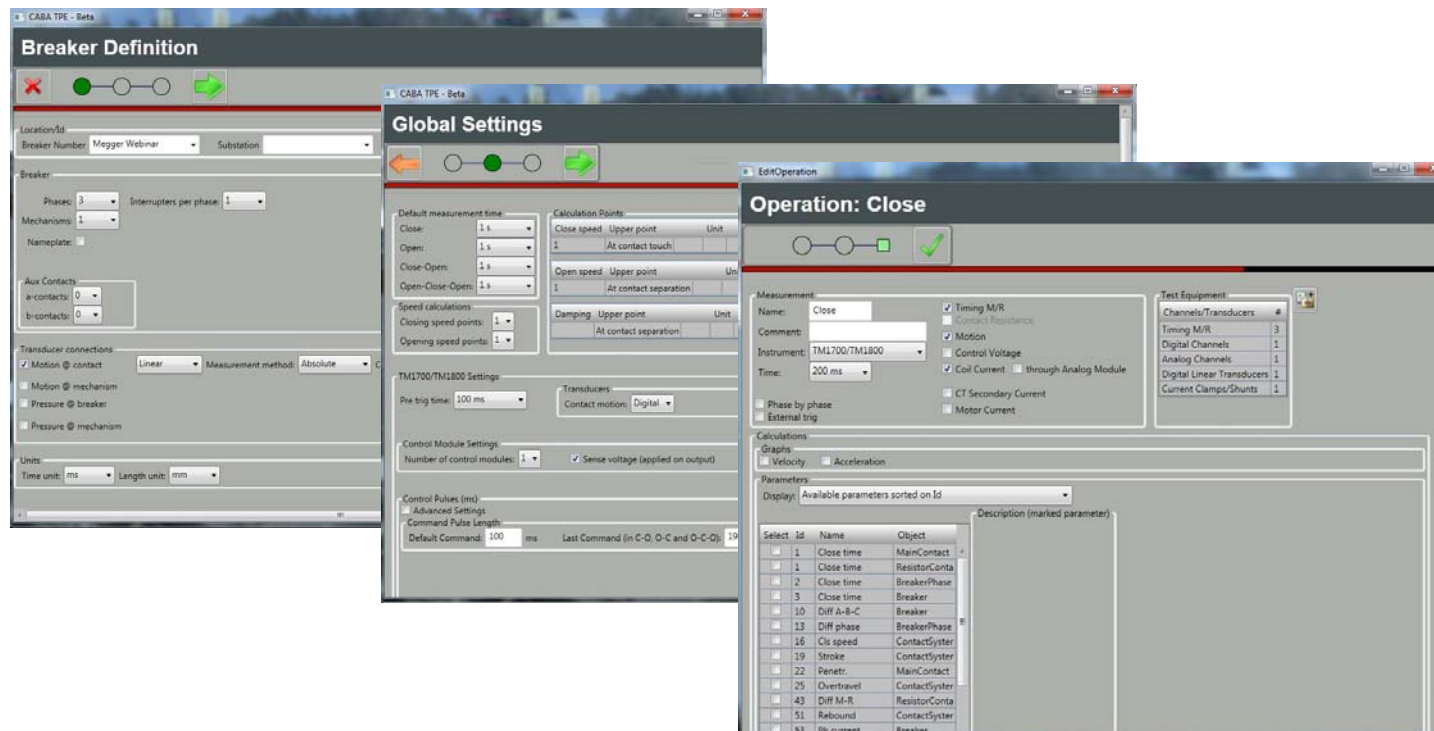
Requerimientos

- Transductor(es) y kits de montaje



Requerimientos

■ Plan de pruebas



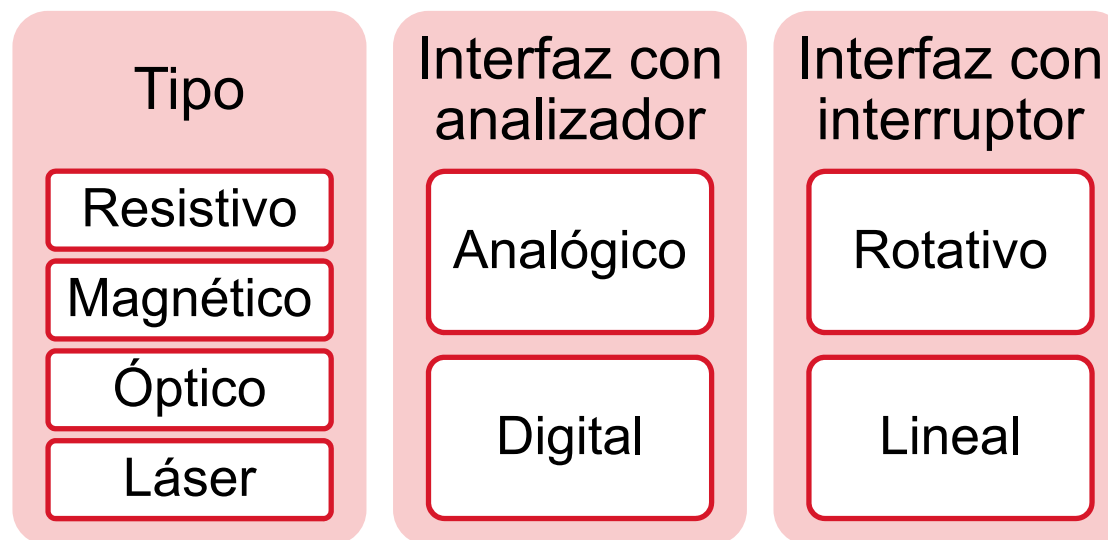


Transductores

Megger[®]
Power on

Transductores

■ Tipos de transductores





Transductores

■ Transductores - Lineales

- Longitudes desde 25mm hasta 1000mm, o mayores
- Longitudes típicas
 - 25-50 mm: interruptores en vacío (Media Tensión)
 - 200-300 mm: interruptores en SF₆ de tanque muerto
 - 500-600 mm: interruptores de volumen de aceite
- Algunos interruptores requieren transductores con diseños específicos, por ejemplo:
 - ABB AHMA
 - ABB HMB

Transductores

■ Conexión de transductores

- Conexión directa al contacto móvil o a la biela de operación (con movimiento lineal)
 - Mayoría de interruptores de volumen de aceite
 - Mayoría de interruptores de volumen mínimo de aceite
 - Algunos interruptores en SF6 de tanque muerto
 - La mayoría de los interruptores en vacío
- Conexión directa al contacto móvil; movimiento angular
 - Westinghouse SFA (el gas debe ser extraído)
- Conexión indirecta con movimiento lineal, por ejemplo, en la biela de operación del mecanismo
- Conexión indirecta con movimiento angular, por ejemplo, en un el engranaje entre la biela de operación y el acoplamiento de los contactos.

Transductores

■ Factores y tablas de conversión

Medición Directa

No necesita
factor/tabla
de
conversión

Medición Indirecta

Constante de
conversión

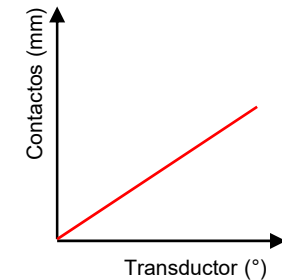
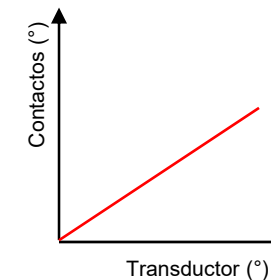
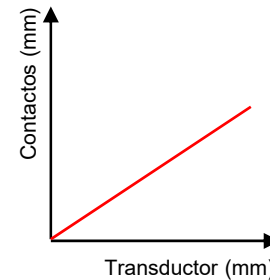
Conversión
No-Lineal

Transductores

■ Factores y tablas de conversión

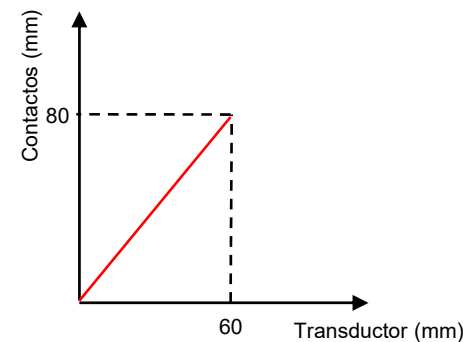
■ Factor de conversión

- Constante que relaciona el desplazamiento de los contactos principales y el desplazamiento del transductor. Esta relación se puede expresar en: mm/mm, °/° ó mm/°. El factor de conversión es igual a "1" cuando la conexión es directa y diferente de 1 cuando la conexión es indirecta.



- Ejemplo: Desplazamiento Nominal: 80 mm y Desplazamiento Transductor: 60 mm.

Factor de Conv. = 80 mm / 60 mm = 1,33

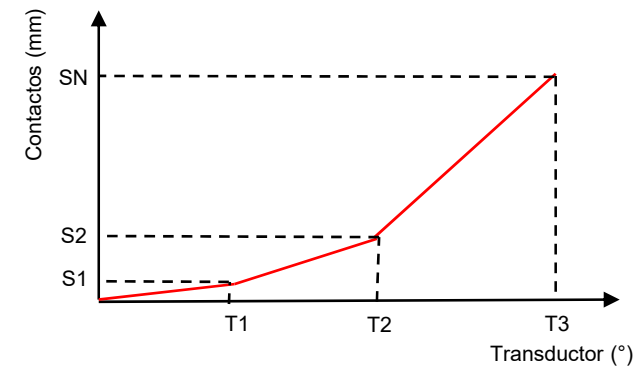


Transductores

■ Factores y tablas de conversión

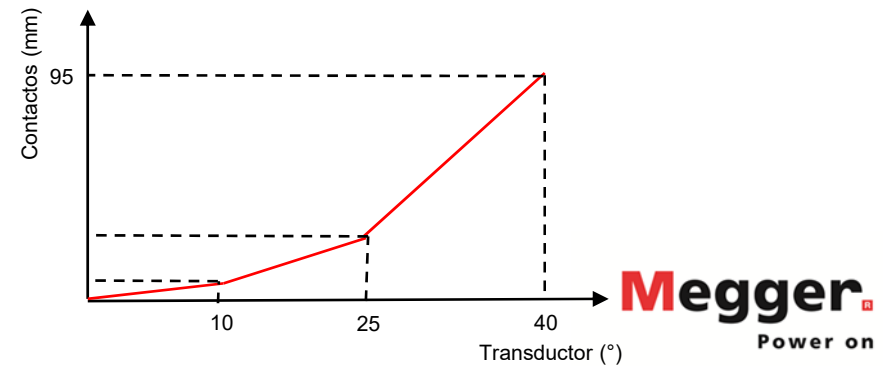
■ Tabla de conversión

- Tabla que relaciona el desplazamiento de los contactos principales y el desplazamiento del transductor. Esta tabla se define por tramos, es decir, para cada tramo del desplazamiento (transductor), le corresponde un factor de conversión diferente. La relación se expresa en mm/°.



- Ejemplo: Desplazamiento nominal: 95 mm

mm	2	3	7
°	0-10	10-25	25-40



Transductores

■ Precauciones antes de conectar el transductor al interruptor

- Asegúrate que el interruptor este en posición ABIERTO
- Asegúrate que el mecanismo de operación esté DESCARGADO
 - En caso de ser necesario, utiliza pernos de mantenimiento/bloqueo
- Des-energiza el circuito de control



Transductores

- Conexión Directa – Medición Lineal (gran volumen de aceite)



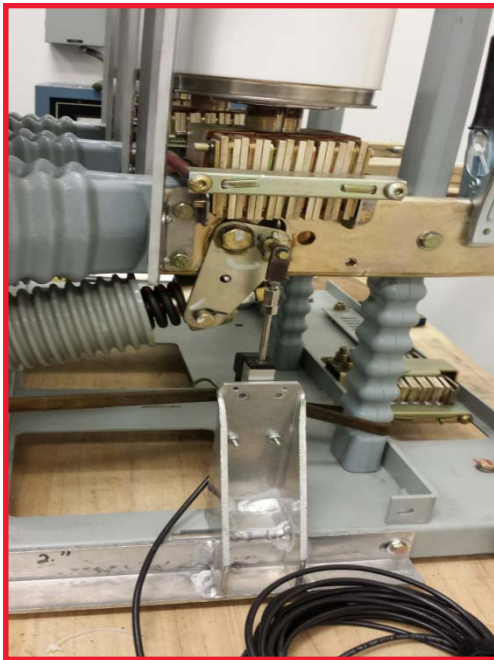
Transductores

- Conexión Indirecta – Medición Lineal (tanque muerto SF6)



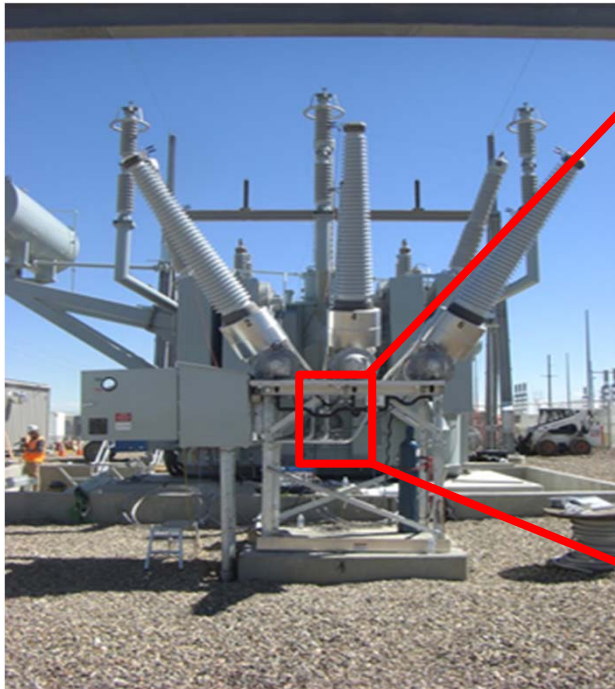
Transductores

■ Conexión Directa – Medición Lineal (vacío)



Transductores

- Conexión Indirecta – Medición Angular (tanque muerto)



Transductores

■ Conexión Indirecta – Medición Angular (tanque vivo)

Desplazamiento del contacto



Amortiguación



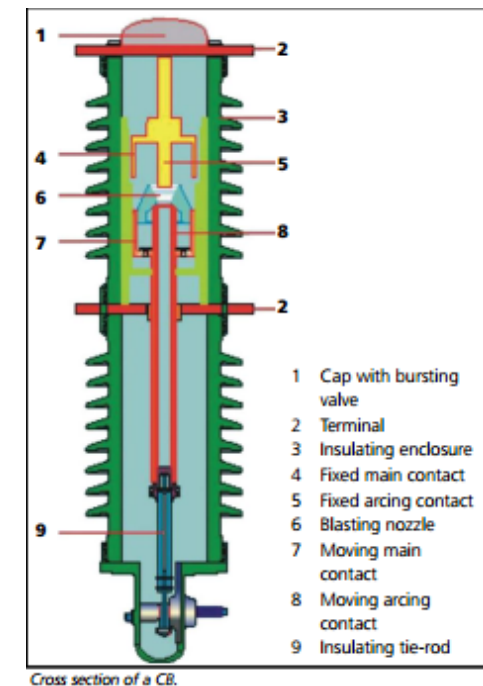


Mediciones de desplazamiento

Megger[®]
Power on

Mediciones de desplazamiento

- Parámetro base: Recorrido
- Parámetros derivados del recorrido:
 - Sobre-recorrido
 - Rebote
- Parámetros derivados de las mediciones de desplazamiento y tiempo:
 - Penetración/Deslizamiento
 - Velocidad, Aceleración
 - Amortiguación
 - Etc.



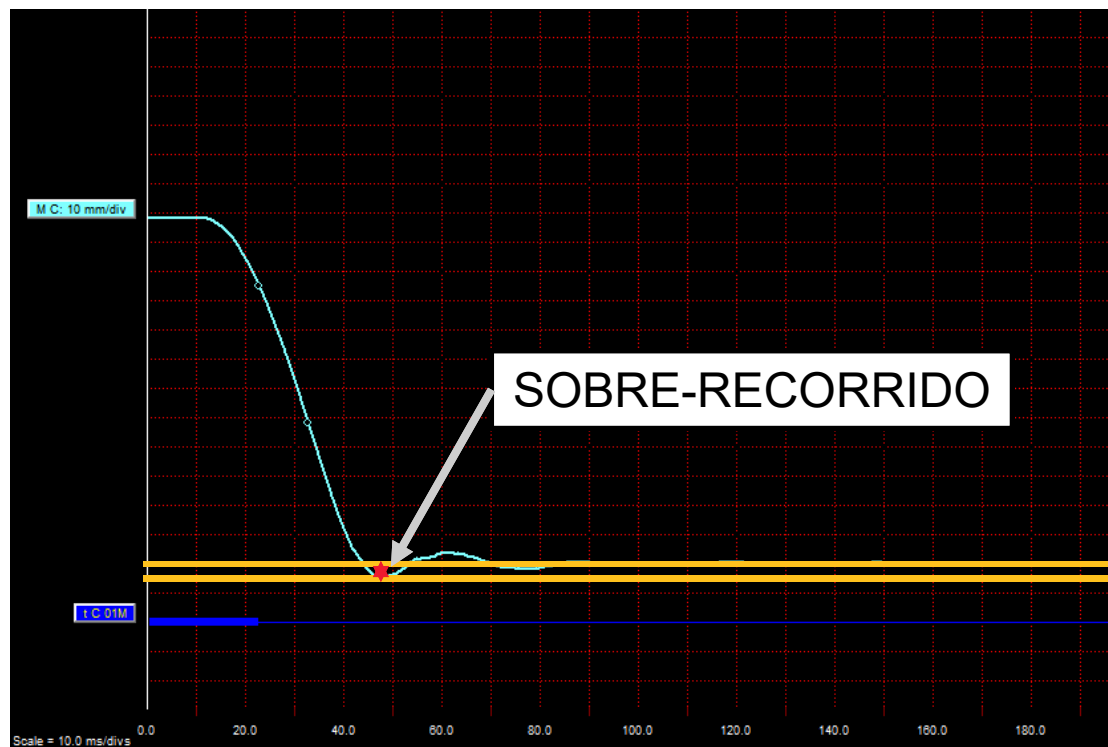
Mediciones de desplazamiento

- Parámetro base: Recorrido



Mediciones de desplazamiento

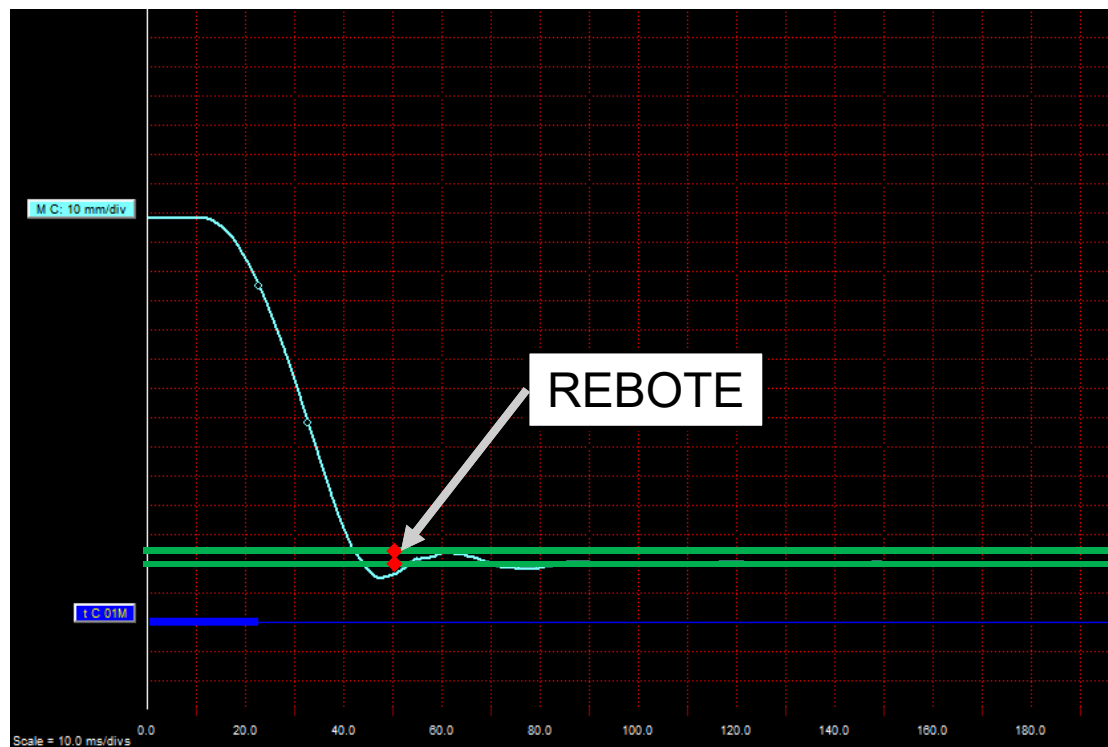
■ Parámetros



Parameters	Value	Unit
004 Open time A 01M	22.250	ms
004 Open time B 01M	22.550	ms
004 Open time C 01M	22.900	ms
011 Diff A-B-C	0.650	ms
020 Stroke A	117.900	mm
020 Stroke B	118.400	mm
020 Stroke C	118.200	mm
017 Opn speed A	4.51	m/s
017 Opn speed B	4.65	m/s
017 Opn speed C	4.72	m/s
023 Penetr. A 01M	20.900	mm
023 Penetr. B 01M	21.700	mm
023 Penetr. C 01M	23.300	mm
026 Overtravel A	3.100	mm
026 Overtravel B	5.000	mm
026 Overtravel C	4.900	mm
052 Rebound A	3.400	mm
052 Rebound B	1.800	mm
052 Rebound C	3.800	mm

Mediciones de desplazamiento

■ Parámetros

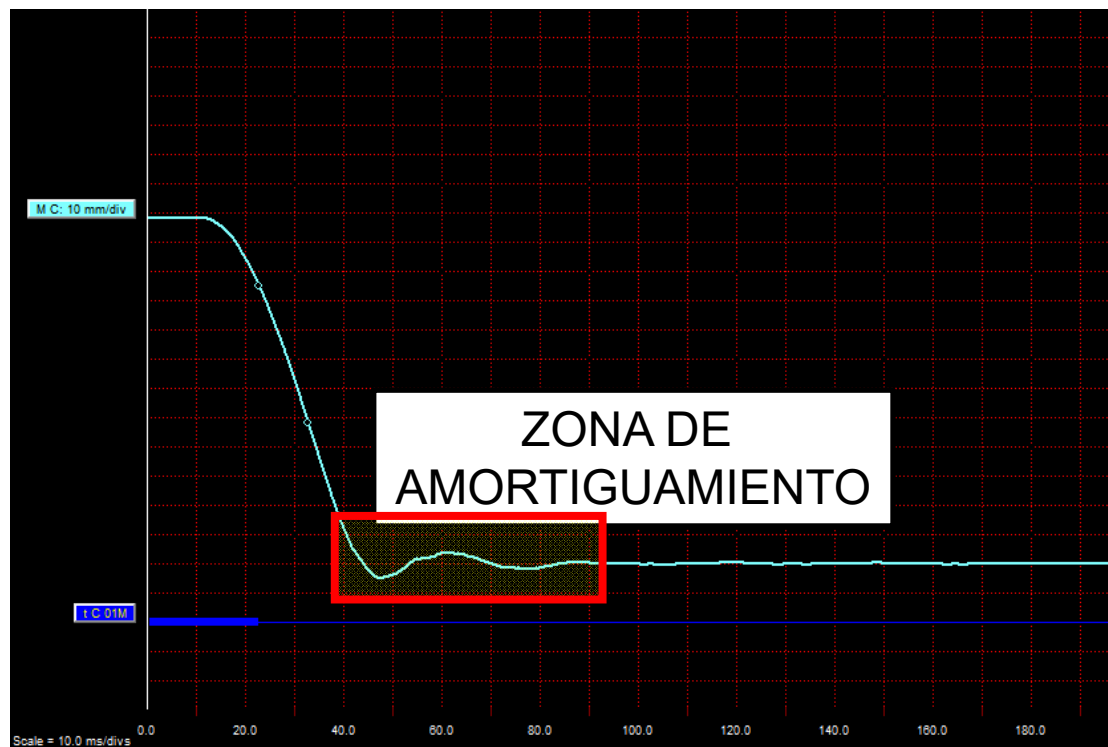


43

Parameters	Value	Unit
004 Open time A 01M	22.250	ms
004 Open time B 01M	22.550	ms
004 Open time C 01M	22.900	ms
011 Diff A-B-C	0.650	ms
020 Stroke A	117.900	mm
020 Stroke B	118.400	mm
020 Stroke C	118.200	mm
017 Opn speed A	4.51	m/s
017 Opn speed B	4.65	m/s
017 Opn speed C	4.72	m/s
023 Penetr. A 01M	20.900	mm
023 Penetr. B 01M	21.700	mm
023 Penetr. C 01M	23.300	mm
026 Overtravel A	3.100	mm
026 Overtravel B	5.000	mm
026 Overtravel C	4.900	mm
052 Rebound A	3.400	mm
052 Rebound B	1.800	mm
052 Rebound C	3.800	mm

Mediciones de desplazamiento

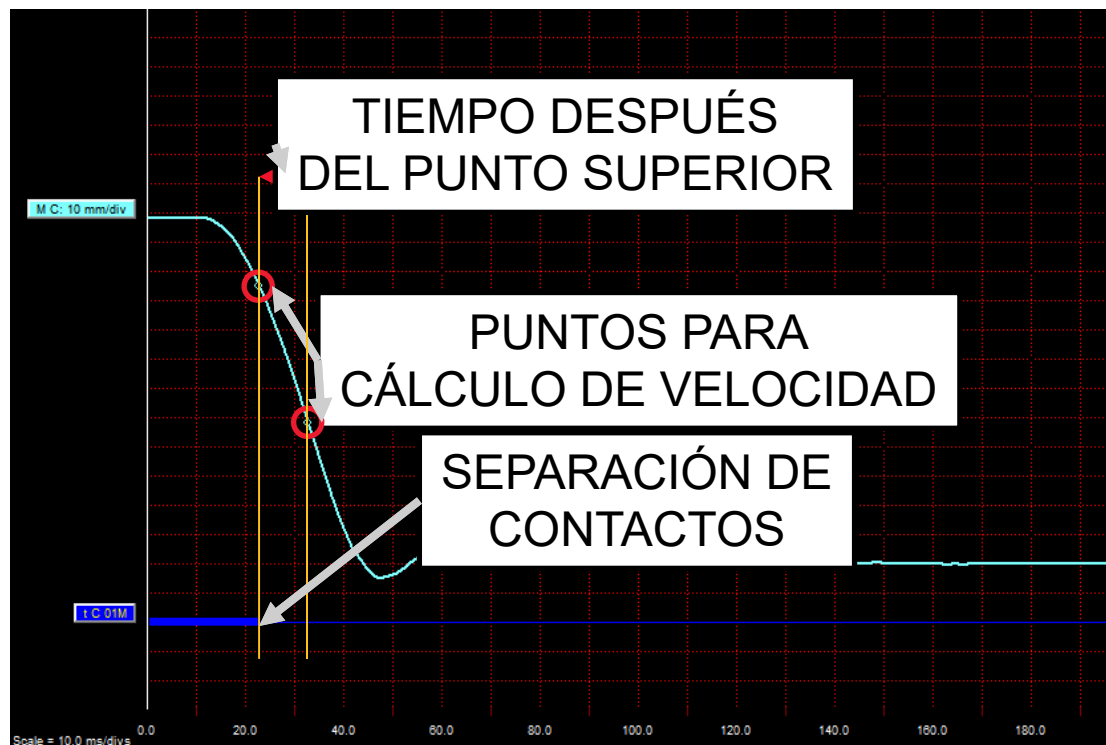
■ Parámetros



Parameters	Value	Unit
004 Open time A 01M	22.250	ms
004 Open time B 01M	22.550	ms
004 Open time C 01M	22.900	ms
011 Diff A-B-C	0.650	ms
020 Stroke A	117.900	mm
020 Stroke B	118.400	mm
020 Stroke C	118.200	mm
017 Opn speed A	4.51	m/s
017 Opn speed B	4.65	m/s
017 Opn speed C	4.72	m/s
023 Penetr. A 01M	20.900	mm
023 Penetr. B 01M	21.700	mm
023 Penetr. C 01M	23.300	mm
026 Overtravel A	3.100	mm
026 Overtravel B	5.000	mm
026 Overtravel C	4.900	mm
052 Rebound A	3.400	mm
052 Rebound B	1.800	mm
052 Rebound C	3.800	mm

Mediciones de desplazamiento

■ Parámetros



Parameters	Value	Unit
004 Open time A 01M	22.250	ms
004 Open time B 01M	22.550	ms
004 Open time C 01M	22.900	ms
011 Diff A-B-C	0.650	ms
020 Stroke A	117.900	mm
020 Stroke B	118.400	mm
020 Stroke C	118.200	mm
017 Opn speed A	4.51	m/s
017 Opn speed B	4.65	m/s
017 Opn speed C	4.72	m/s
023 Penetr. A 01M	20.900	mm
023 Penetr. B 01M	21.700	mm
023 Penetr. C 01M	23.300	mm
026 Overtravel A	3.100	mm
026 Overtravel B	5.000	mm
026 Overtravel C	4.900	mm
052 Rebound A	3.400	mm
052 Rebound B	1.800	mm
052 Rebound C	3.800	mm

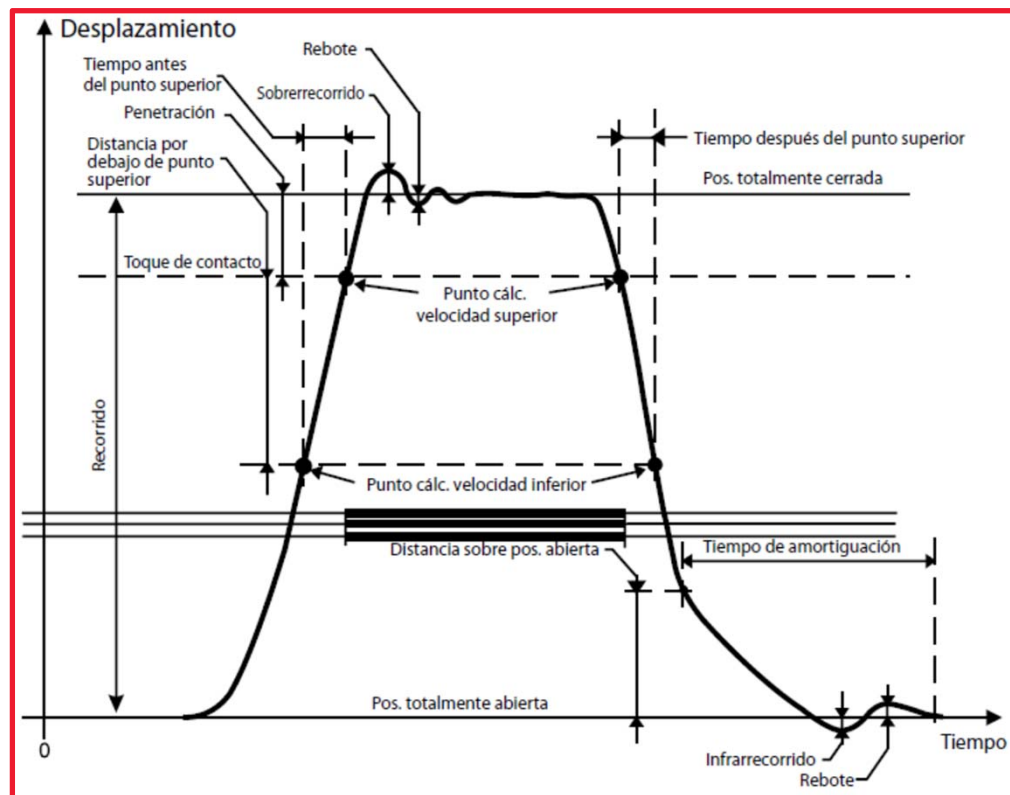
Mediciones de desplazamiento

■ Parámetros



Parameters	Value	Unit
004 Open time A 01M	22.250	ms
004 Open time B 01M	22.550	ms
004 Open time C 01M	22.900	ms
011 Diff A-B-C	0.650	ms
020 Stroke A	117.900	mm
020 Stroke B	118.400	mm
020 Stroke C	118.200	mm
017 Opn speed A	4.51	m/s
017 Opn speed B	4.65	m/s
017 Opn speed C	4.72	m/s
023 Penetr. A 01M	20.900	mm
023 Penetr. B 01M	21.700	mm
023 Penetr. C 01M	23.300	mm
026 Overtravel A	3.100	mm
026 Overtravel B	5.000	mm
026 Overtravel C	4.900	mm
052 Rebound A	3.400	mm
052 Rebound B	1.800	mm
052 Rebound C	3.800	mm

■ Resumen - Parámetros





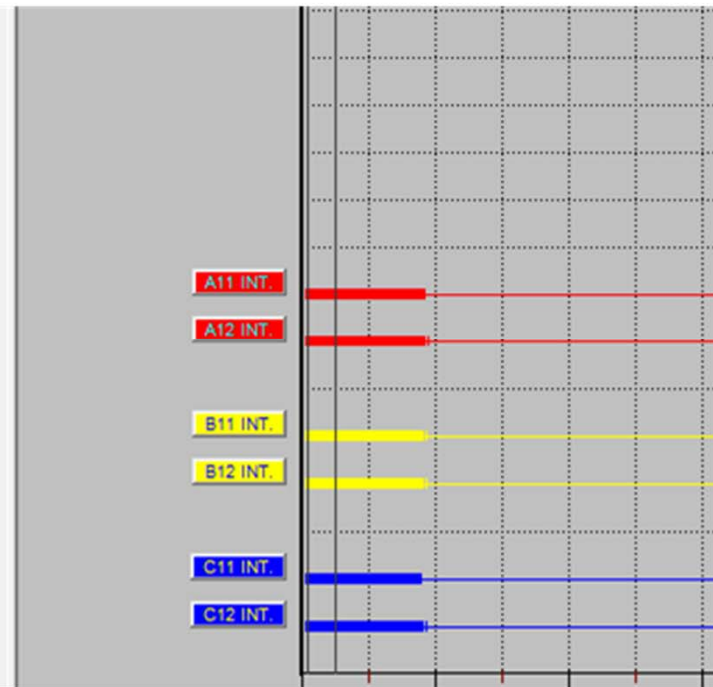
Casos de estudio



Casos de estudio

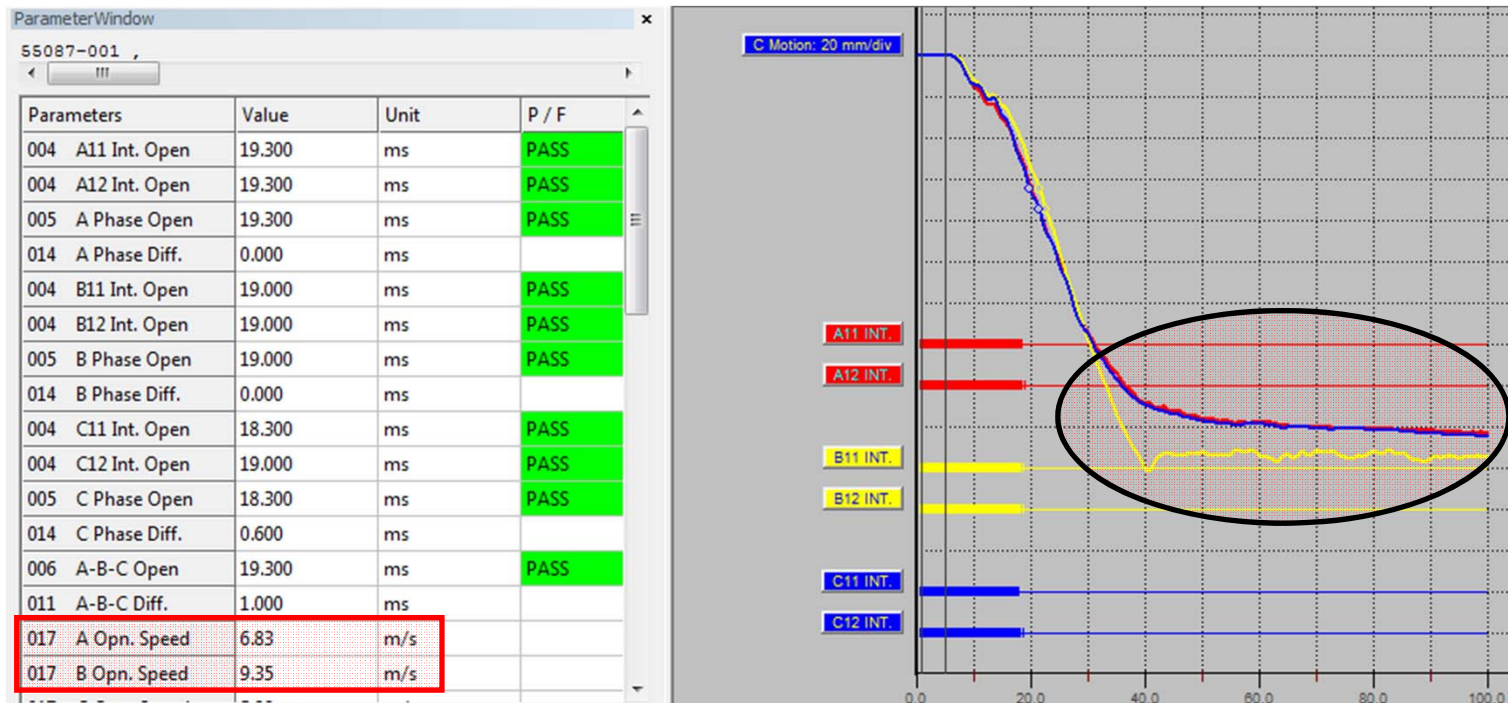
■ Caso de estudio I: Tiempos de operación correctos

Parameters	Value	Unit	P / F
004 A11 Int. Open	19.300	ms	PASS
004 A12 Int. Open	19.300	ms	PASS
005 A Phase Open	19.300	ms	PASS
014 A Phase Diff.	0.000	ms	
004 B11 Int. Open	19.000	ms	PASS
004 B12 Int. Open	19.000	ms	PASS
005 B Phase Open	19.000	ms	PASS
014 B Phase Diff.	0.000	ms	
004 C11 Int. Open	18.300	ms	PASS
004 C12 Int. Open	19.000	ms	PASS
005 C Phase Open	18.300	ms	PASS
014 C Phase Diff.	0.600	ms	
006 A-B-C Open	19.300	ms	PASS
011 A-B-C Diff.	1.000	ms	
017 A Opn. Speed	6.83	m/s	
017 B Opn. Speed	9.35	m/s	



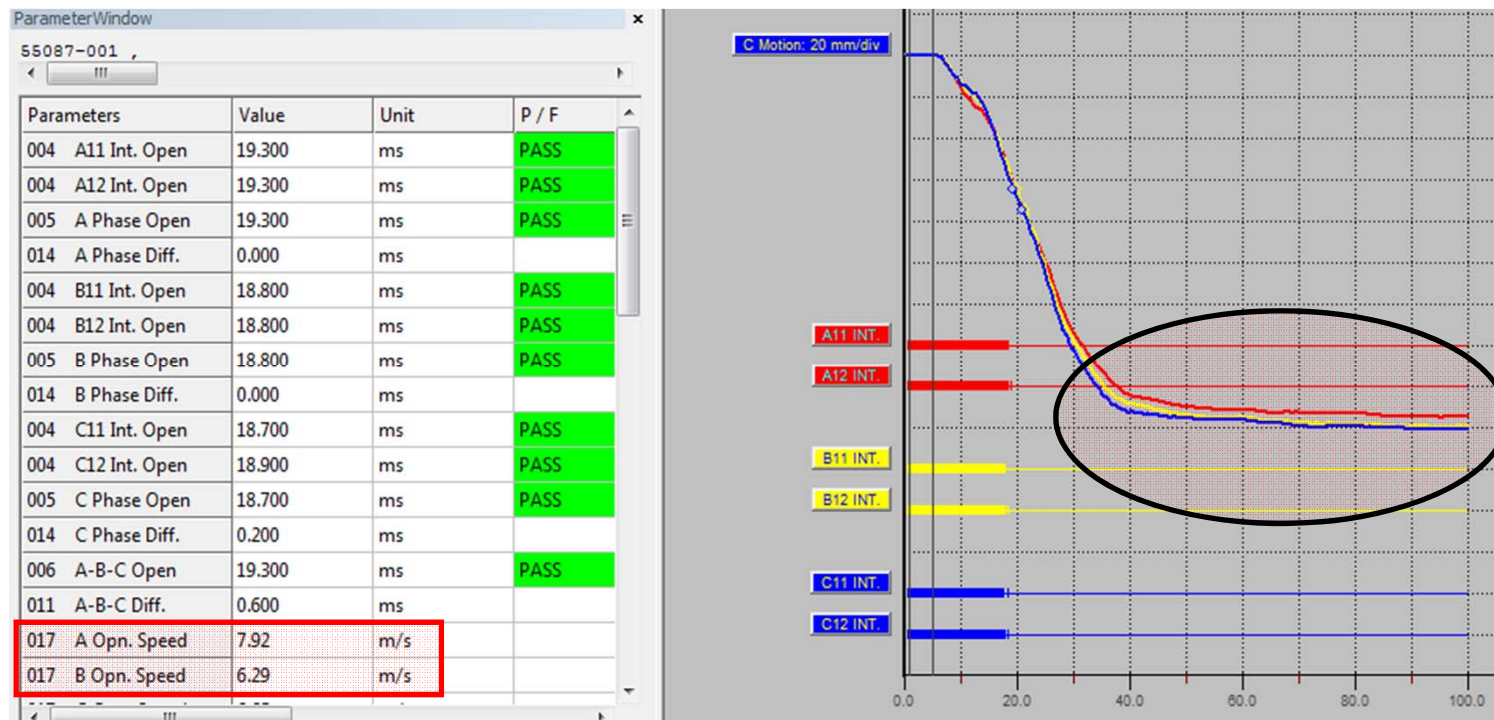
Casos de estudio

■ Caso de estudio I: Tiempos de operación correctos



Casos de estudio

■ Caso de estudio I: Tiempos de operación correctos



Casos de estudio

■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

- Tipo: Tanque muerto SF6
- Mecanismo: Tripolar
- Cámaras/fase: 1
- Voltaje Nominal: 38 kV
- Corriente nominal: 1200 A
- Corriente cortocircuito: 40kA
- Tipo mecanismo: Resorte FA2.20





Casos de estudio

■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

■ Recomendación del fabricante – **Lineal A**

- Conexión directa al mecanismo
- Transductor lineal
- 80 mm en el transductor es equivalente a 120 mm en los contactos
- Cálculo de velocidad: Contacto toque/separacion, 10 ms antes/después

■ Conexión adicional 1 – **Lineal C**

- Transductor lineal en terminal de engranaje, cerca de la fase C
- Cálculo de velocidad: Contacto toque/separacion, 10 ms antes/después

■ Conexión adicional 2 – **Rotacionales A-B-C**

- Transductor rotacional en ranura inferior de cada fase
- Cálculo de velocidad: Contacto toque/separacion, 10 ms antes/después

Casos de estudio

- Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor
 - Recomendación del fabricante – **Lineal A**



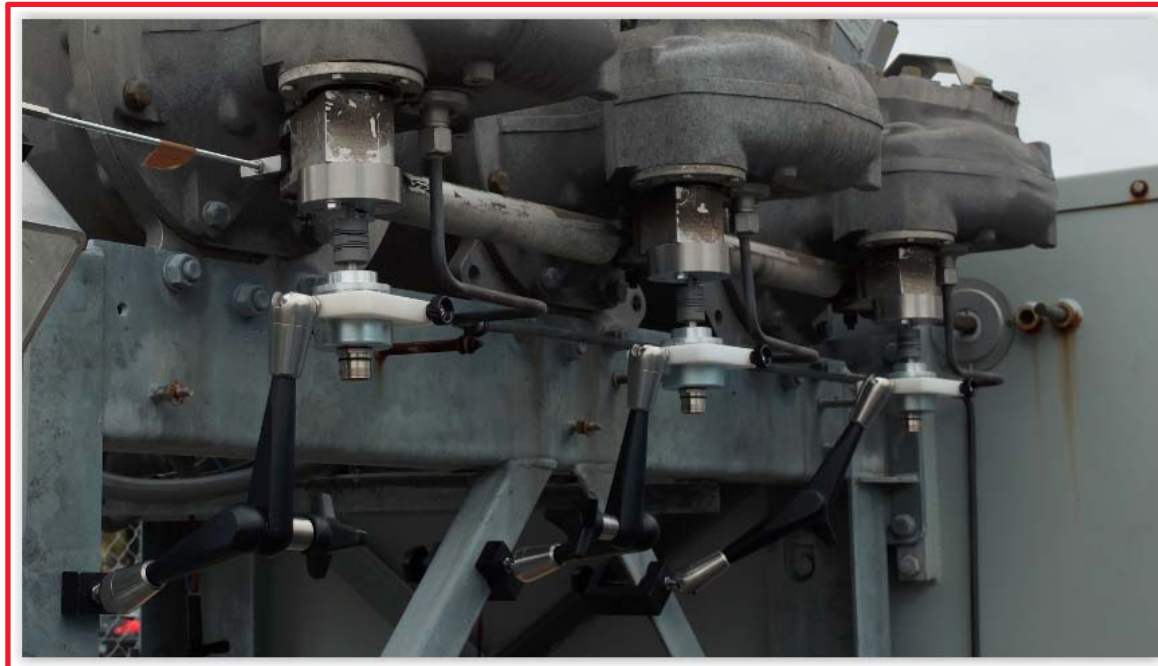
Casos de estudio

- Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor
 - Conexión adicional 1 – **Lineal C**



Casos de estudio

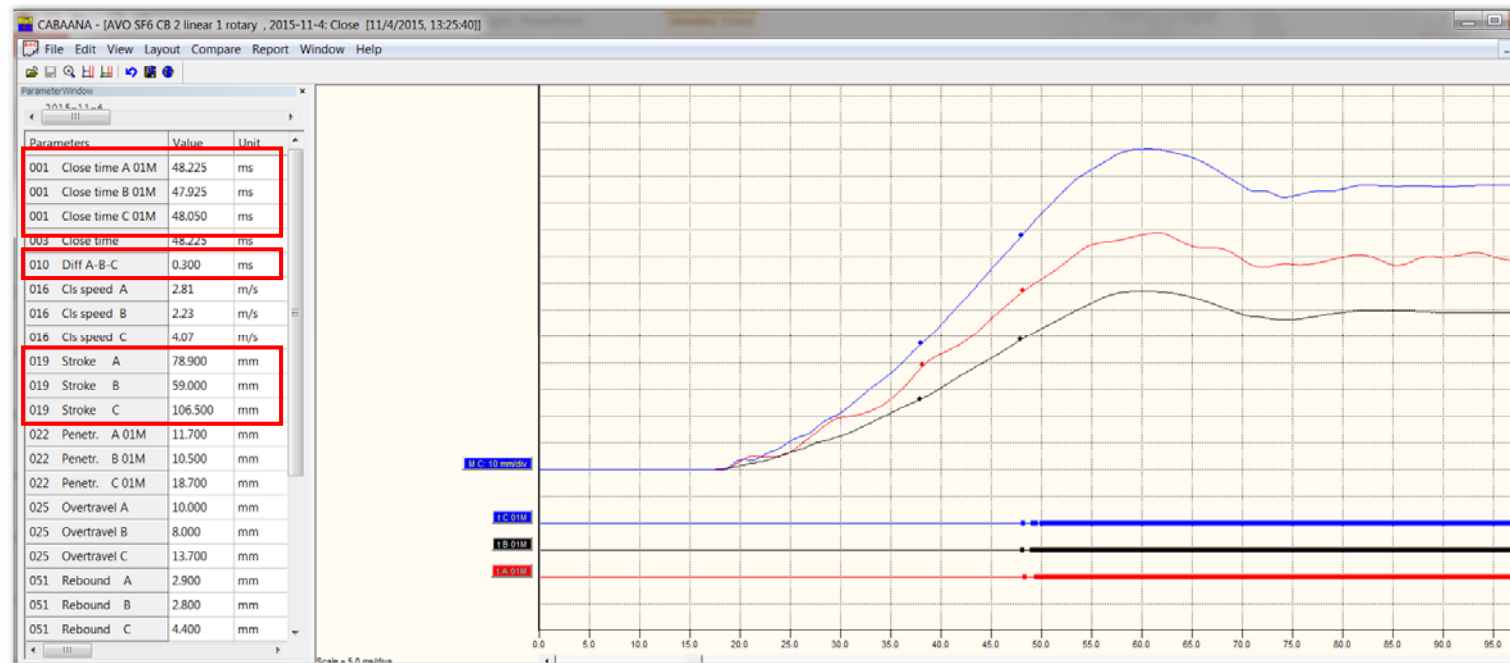
- Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor
 - Conexión adicional 2 – **Rotacionales A-B-C**



Casos de estudio

■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

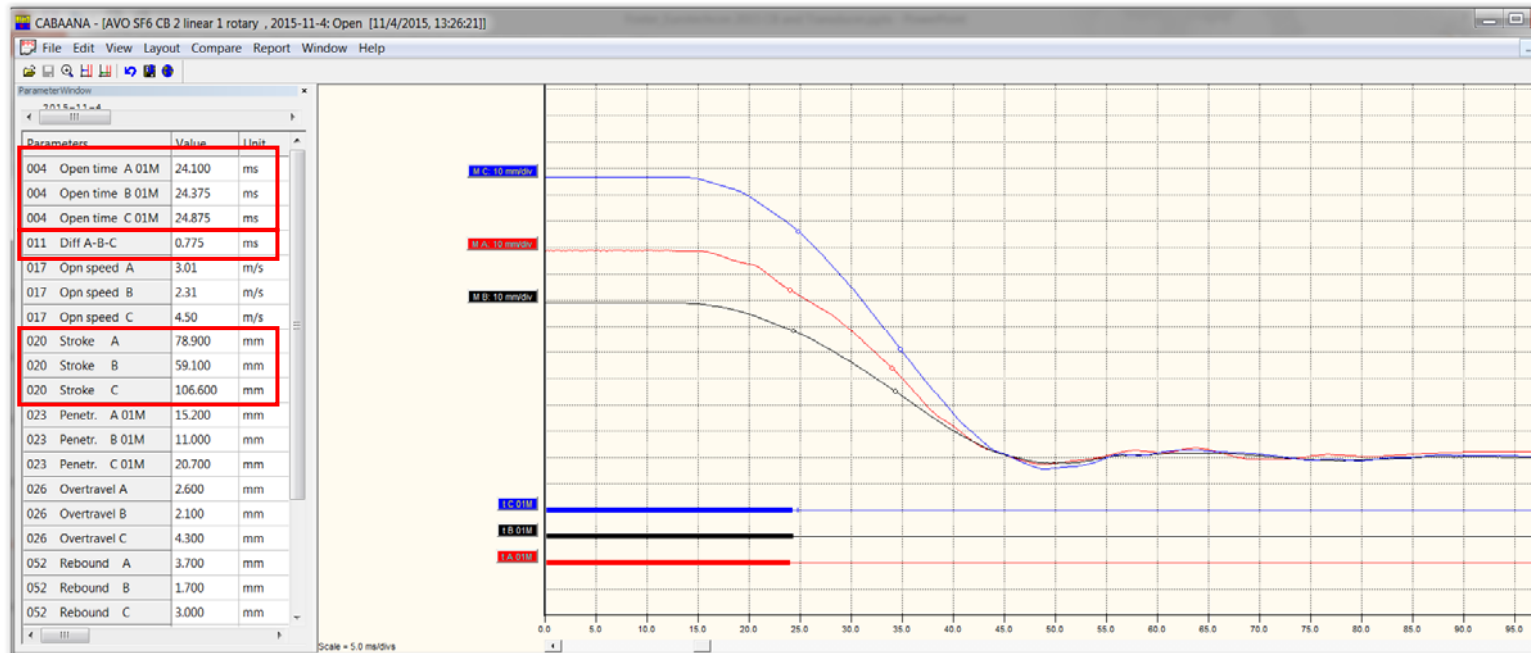
■ Operación de cierre – Sin factores de conversión



Casos de estudio

■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

■ Operación de apertura – Sin factores de conversión

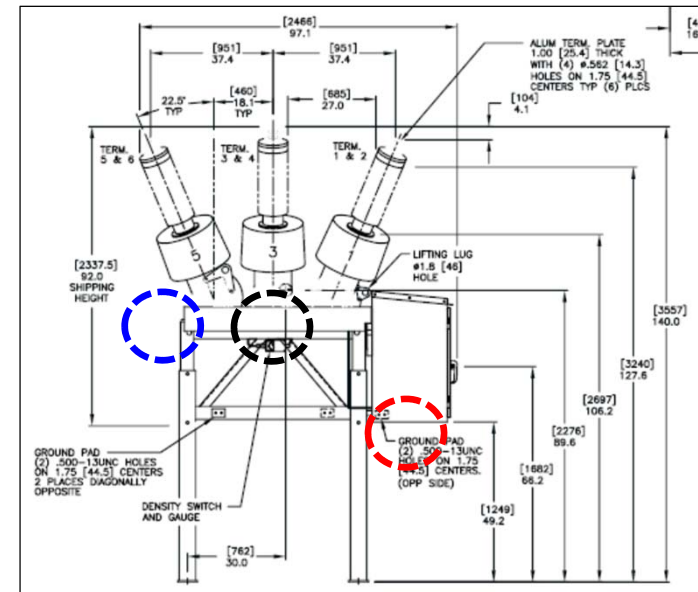


Casos de estudio

■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

■ Sin aplicación de factores de conversión

- Lineal A (**M A: Red**)
 - Desplazamiento de transductor 78.9 mm
- Rotacional B (**M B: Black**)
 - Desplazamiento de transductor 59.0 mm (grados)
- Lineal C (**M C: Blue**)
 - Desplazamiento de transductor 106.5 mm



Casos de estudio

■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

■ Lineal A (Recomendación del fabricante):

- 80 mm en transductor es equivalente a 120 mm en contactos
- **Conv_A = 1.5 mm/mm** factor de conversion lineal
- Desplazamiento del contacto es 118.35 mm

■ Rotacional B:

- 59.0° (transductor) = 118.35 mm (contacto)
- $\text{Conv}_B = (118.35 \text{ mm}) / (59.0^\circ) = 2.003 \text{ mm/}^\circ$
- **Conv_B = 2.003 mm/°** factor de conversion lineal

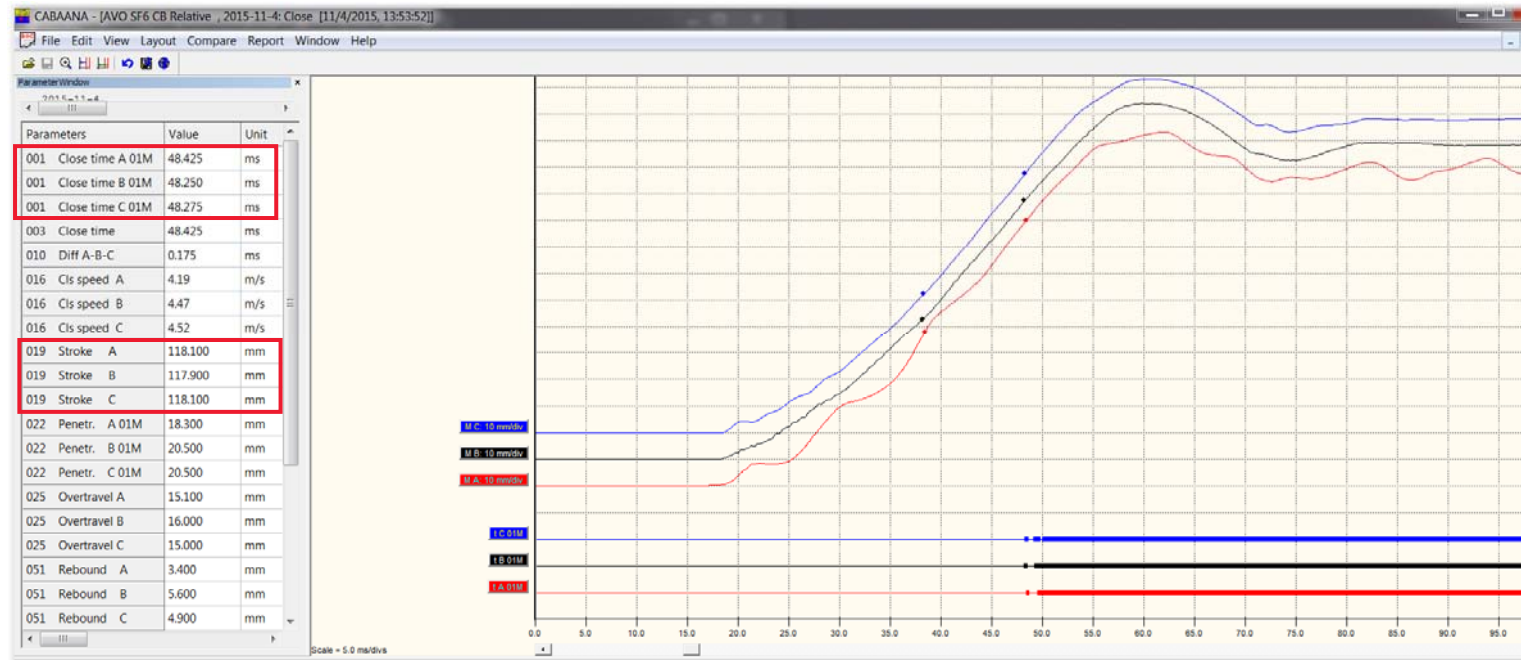
■ Lineal C

- 106.5 mm (transductor) = 118.35 mm (contacto)
- $\text{Conv}_C = (118.35 \text{ mm}) / (106.5 \text{ mm}) = 1.1099 \text{ mm/mm}$
- **Conv_C = 1.1099 mm/mm** factor de conversion lineal

Casos de estudio

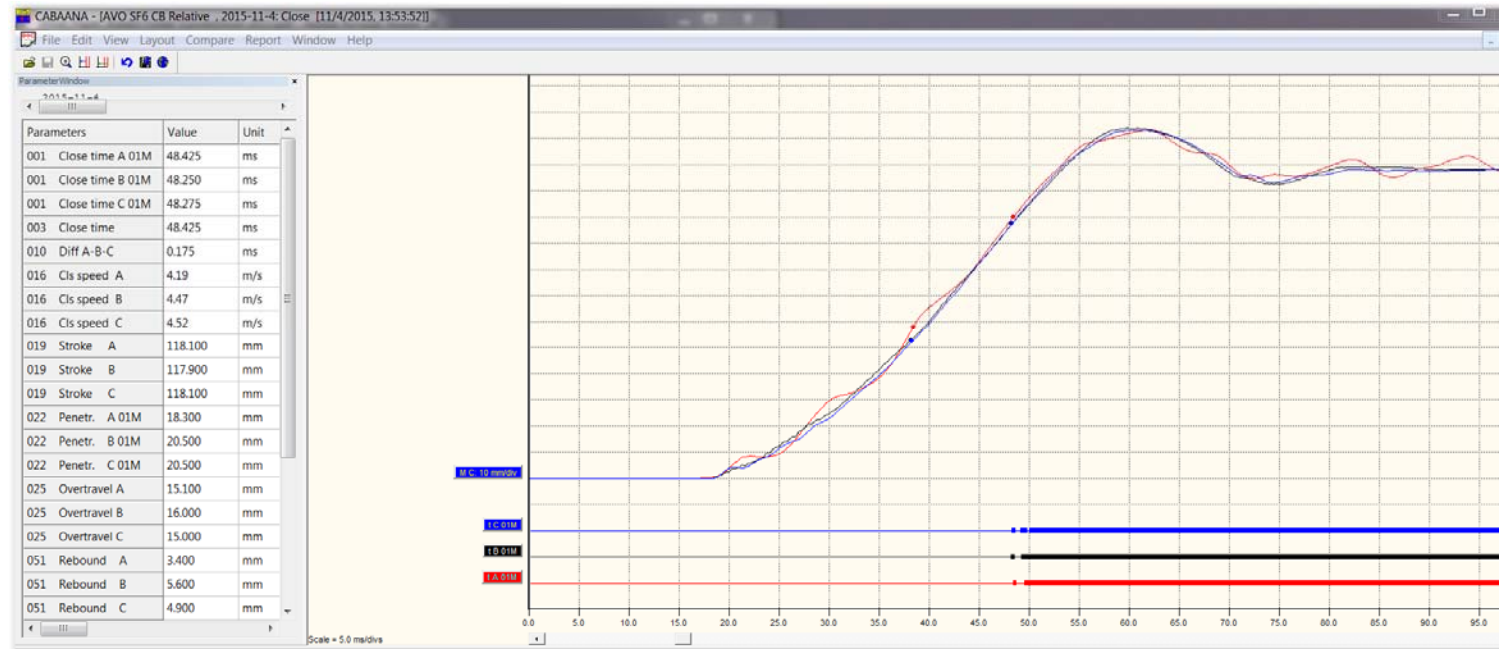
■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

■ Operación de cierre – Con factores de conversión



Casos de estudio

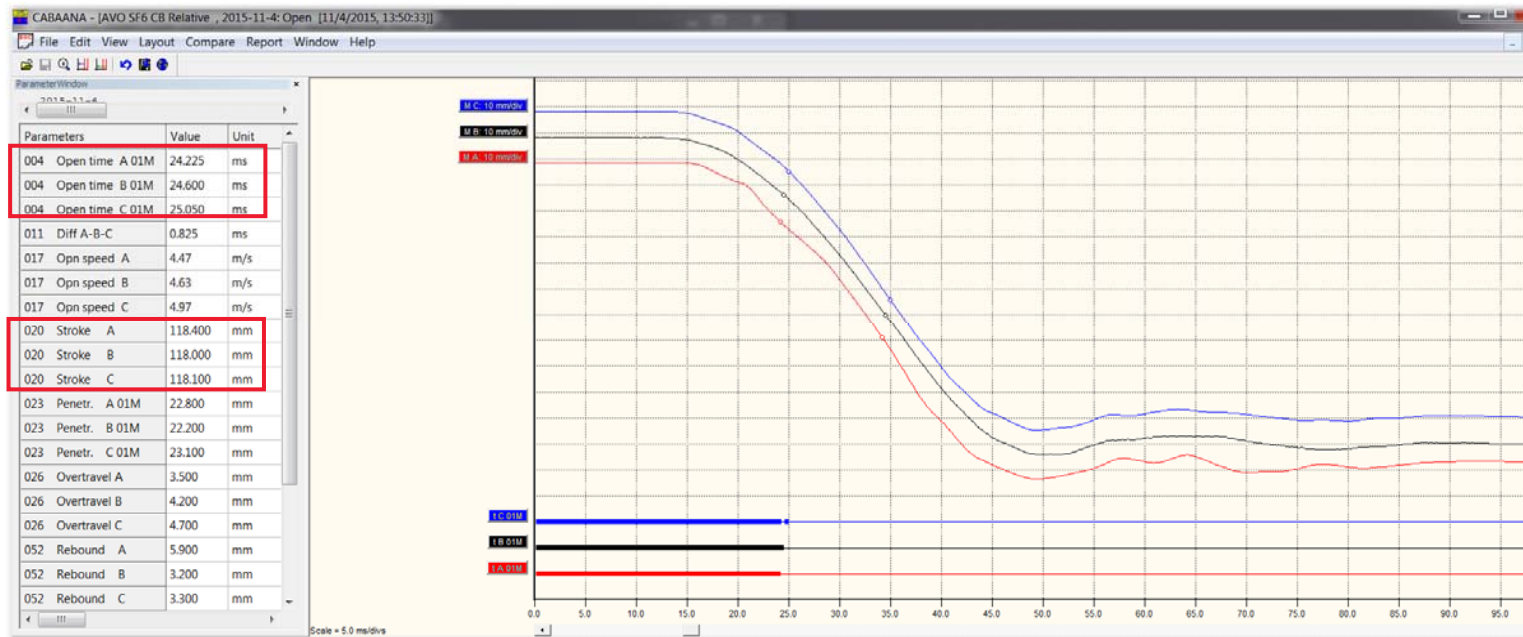
- Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor
- Operación de cierre – Con factores de conversión



Casos de estudio

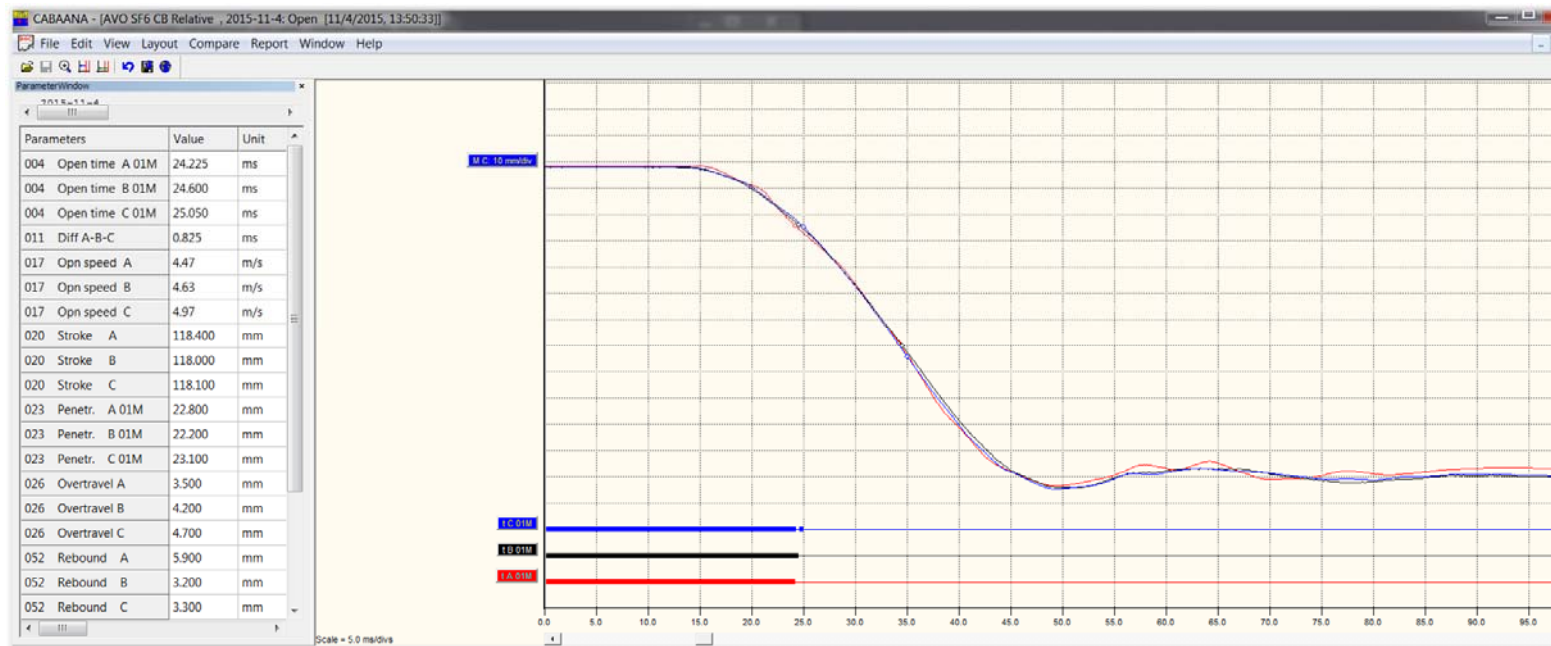
■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

■ Operación de apertura – Con factores de conversión



Casos de estudio

- Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor
- Operación de apertura – Con factores de conversión



Casos de estudio

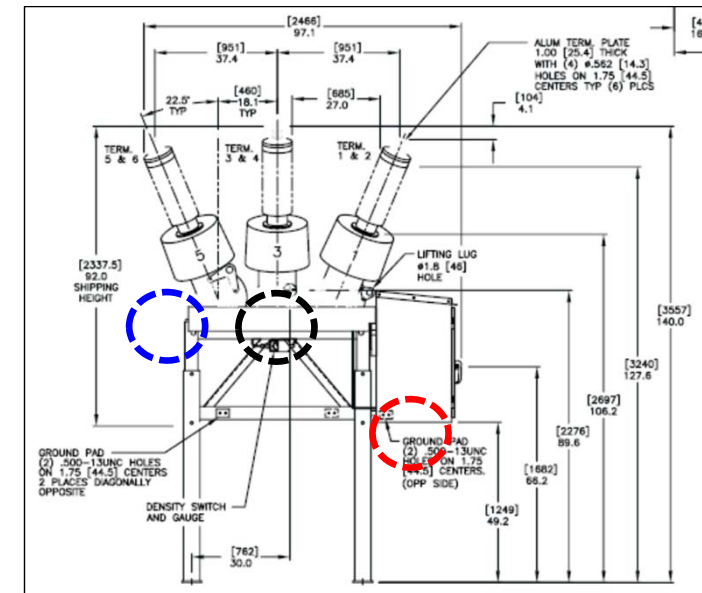
■ Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor

■ Análisis: Lineal A - Rotacional B - Lineal C

- Desplazamientos similares
 - Max diferencia Close 0.2 mm
 - Max diferencia Open 0.5 mm
- Velocidades diferentes en cada fase
 - Max diferencia 0.5 m/s (~10%)
 - Tiempos ligeramente diferentes

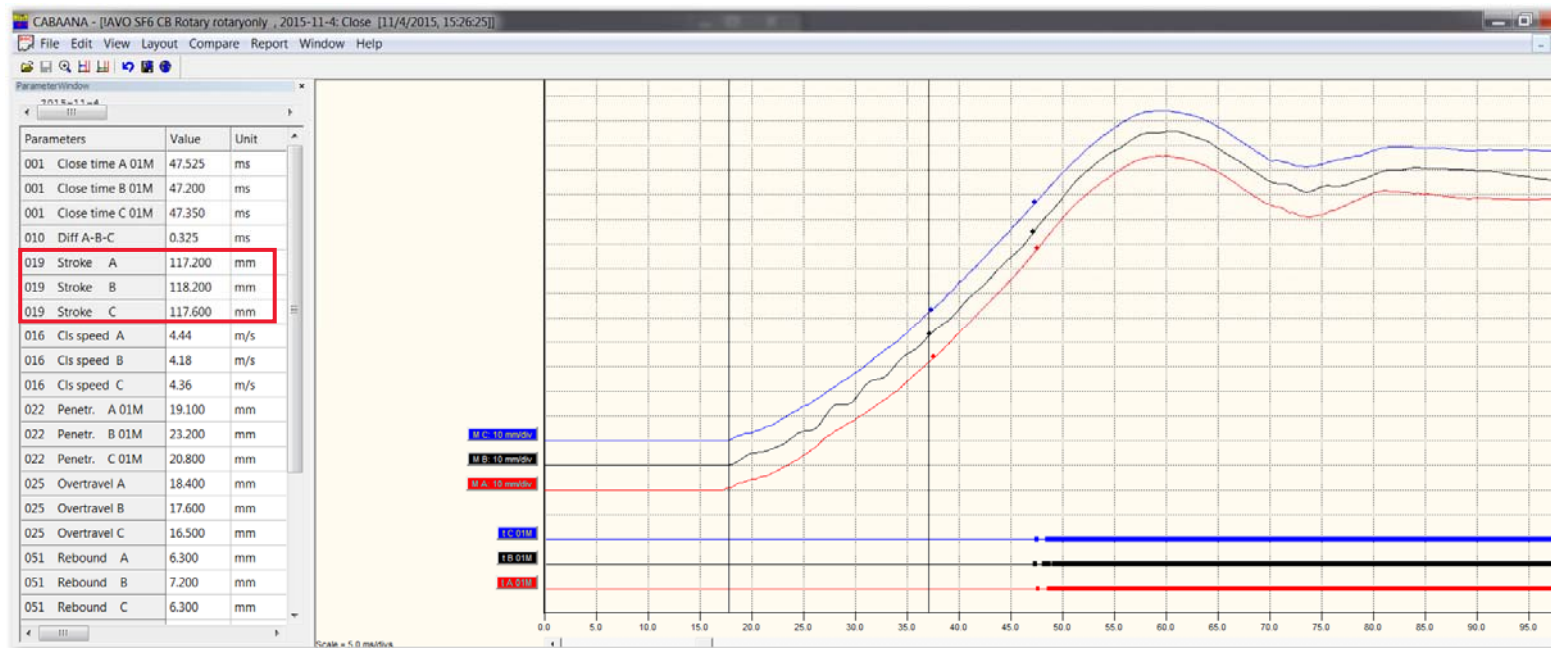
■ Tipo y ubicación de transductor tiene poco efecto

- Lo importante es conocer la relación entre cada punto de conexión y los contactos



Casos de estudio

- Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor
- Operación de cierre – Con factores de conversión (Rotacionales A-B-C)



Casos de estudio

- Caso de estudio II: Influencia de ubicación de transductor
- Operación de cierre – Con factores de conversión (Rotacionales A-B-C)

