

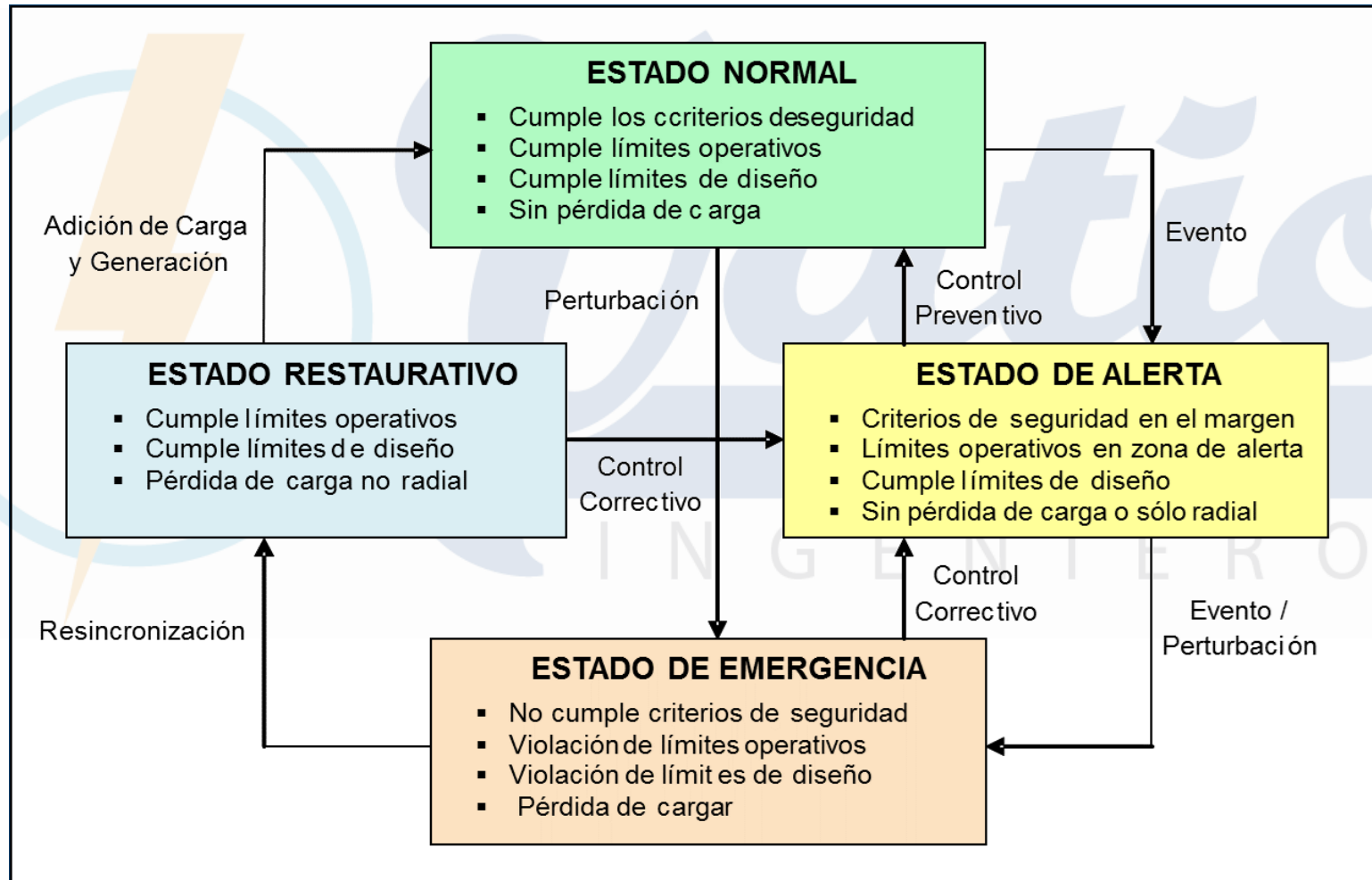
# ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

*CÁLCULO Y EVALUACIÓN DE LAS FALLAS*

# Importancia del análisis de falla

- Introducción
- Recursos para el Análisis de Perturbaciones
- Metodología para Análisis de Perturbaciones
- Normatividad
- Caso Práctico

# Estados Operativos del Sistema



# Objetivos de la Operación de Sistemas de Potencia

- La operación de los sistemas eléctricos se puede caracterizar por tres objetivos interdependientes:
  - Calidad
  - Seguridad
  - Economía
- Para la operación de un sistema eléctrico de potencia, se debe considerar además de los aspectos técnicos, el marco legal en que se desenvuelve éste.



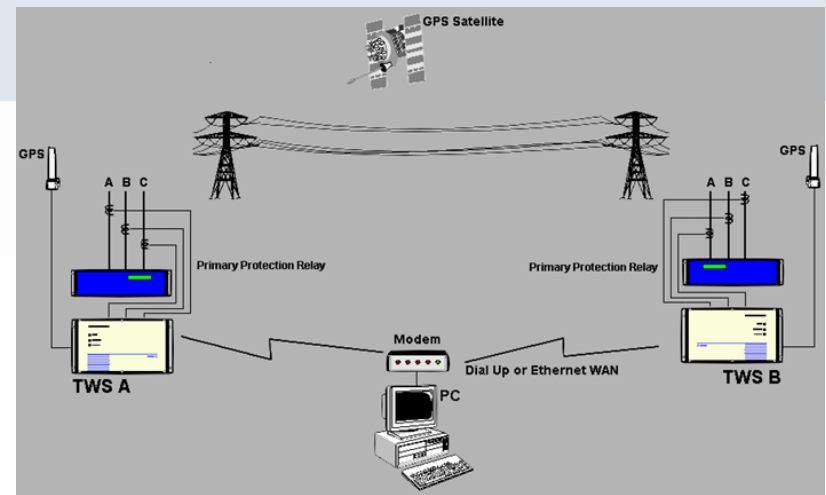
# Objetivo del Análisis de la Perturbación

- Determinar el desempeño del Sistema de Potencia y sus Sistemas de Protección y Control.
- Determinar las anomalías y recomendaciones producidas y gestionar la acción correctiva.
  - Relé de protección (R)
  - Interruptor de potencia (IN)
  - Transformadores de TT y TC
  - Equipo de teleprotección (ET)
  - Sistema de Control (SC)
  - Panel de alarma (PA)
  - GPS
  - Servicios auxiliares (SSAA)
  - Conexiones entre ellas (C)

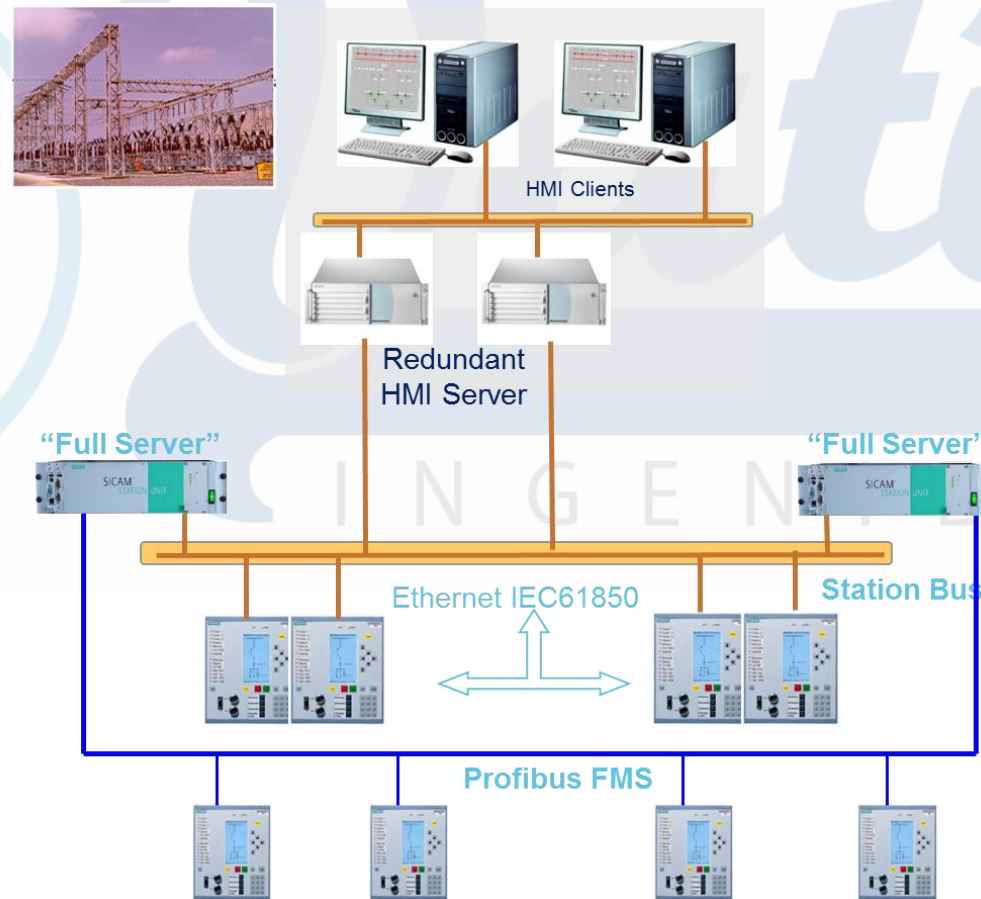


# Recursos para el Análisis de Perturbaciones

- Recursos Humanos
- Recursos Tecnológicos

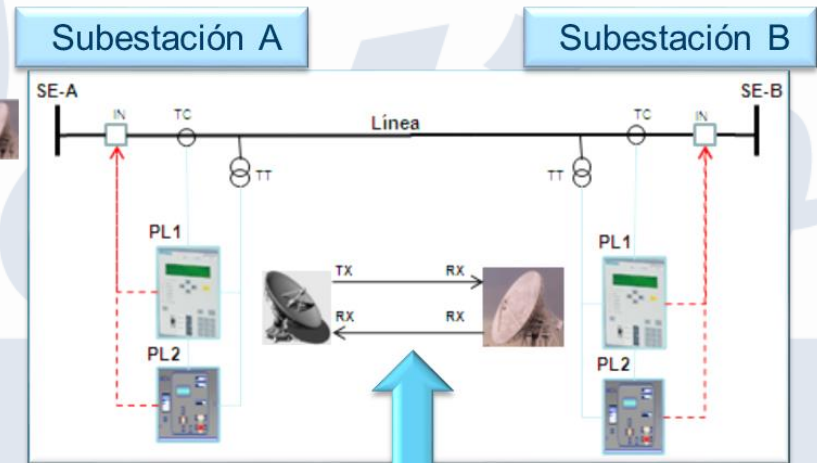


# Recursos para el Análisis de Perturbaciones



# Recursos para el Análisis de Perturbaciones

Satelital  
Fibra óptica  
Onda Portadora  
Microondas

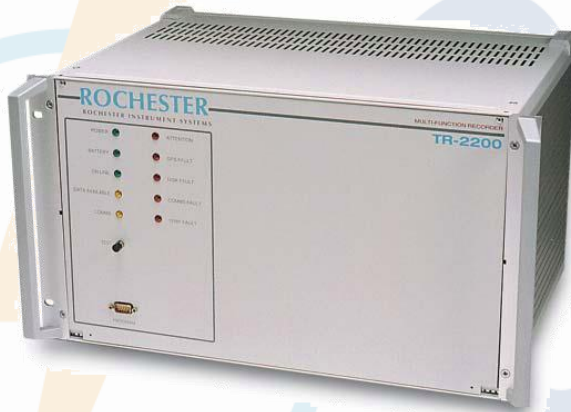


Fibra óptica  
Onda Portadora  
Microondas





# Recursos para el Análisis de Perturbaciones



Registrador de transitorios (300m/ciclo, hasta 1min de registro, trigger por analógico y digital).

Registrador de disturbios (hasta 1 semana de registro, trigger por analógico).

Distintas opciones de interface incluyendo la comunicación remota



# Recursos para el Análisis de Perturbaciones

- No todas las perturbaciones requieren profundizar el análisis, pero si se requiere seleccionarlo y registrarlo sistemáticamente para fines de análisis estadístico.
- Las perturbaciones que requiere mayor análisis del equipo de operación son las que presentan anomalías en el equipamiento o instalaciones, sistema de potencia o desempeño de la persona.
- Las ocurrencias graves se caracterizar por traer grandes consecuencias a los consumidores, sistemas aislados o al sistema interconectado. Para estas ocurrencias existe el equipo de trabajo con especialistas de análisis de la operación y de la protección.

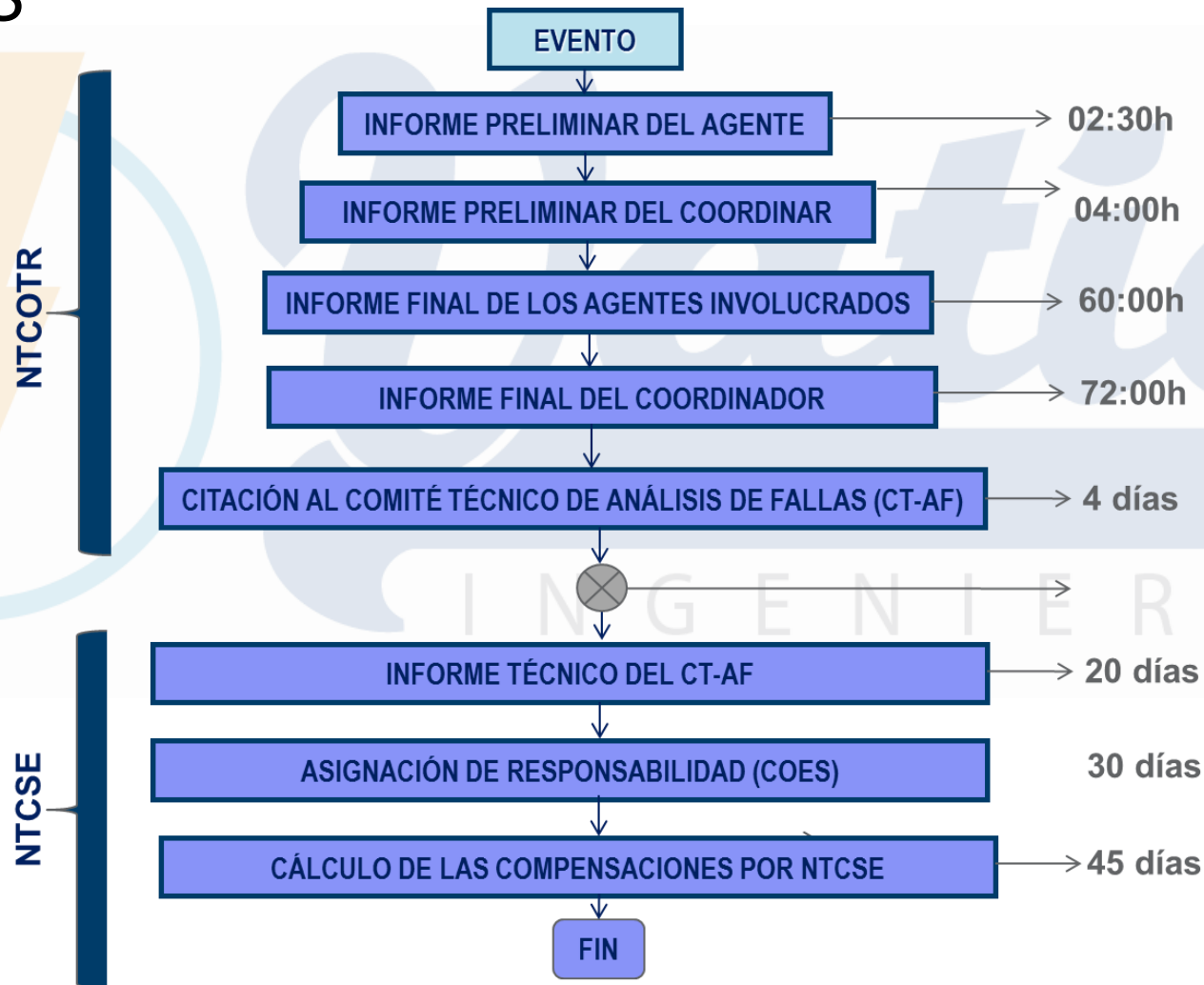
**Flujo de carga**  
**Cortocircuito**  
**Estabilidad**  
**Transitorios**  
**Protecciones**  
**SW Relés**

**Digsilent**  
**Digsilent**  
**Digsilent**  
**ATP. PSCAD**  
**Digsilent, CAPE**  
**Todas las marcas**

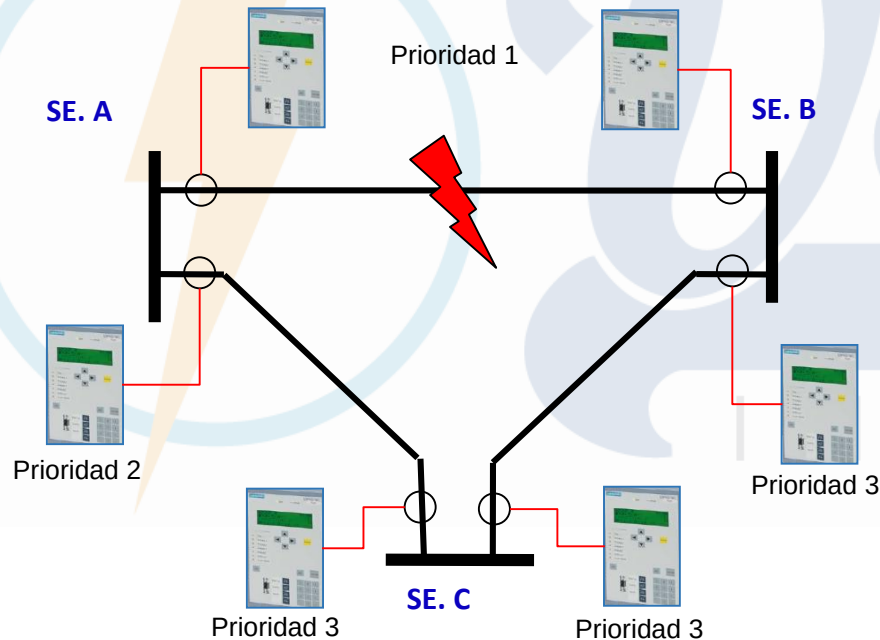
# Normatividad para análisis de fallas



# Normatividad para análisis de fallas



# Importancia del análisis de fallas



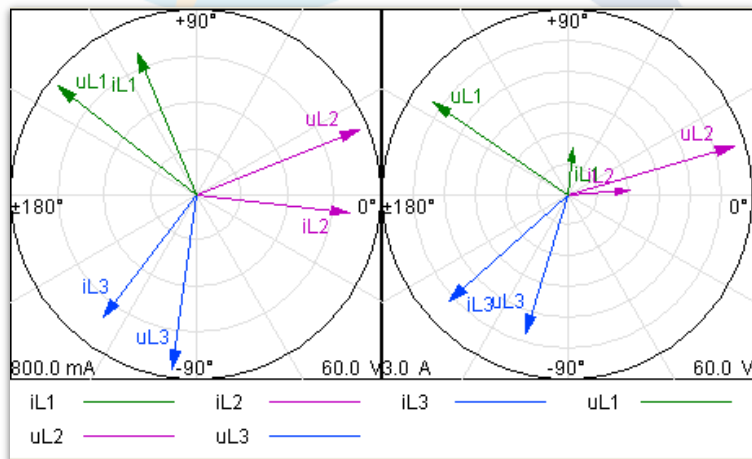
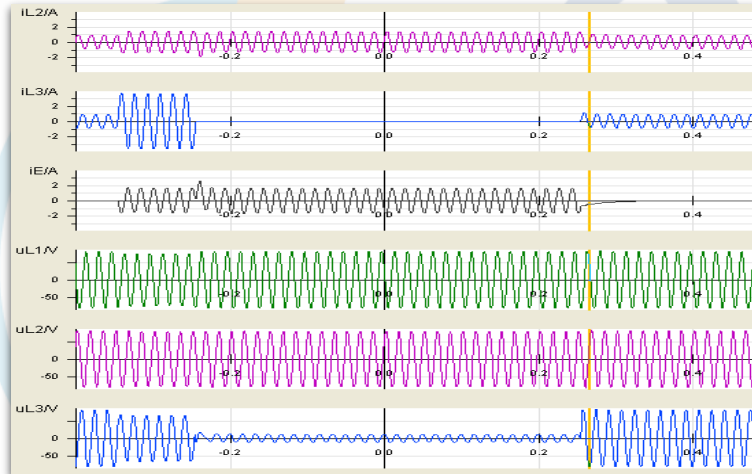
## Clasificación de las oscilografías

- ✓ Prioridad 1: Oscilografías del relé del elemento fallado.
- ✓ Prioridad 2: Oscilografías de los relés de la subestación pero no del elemento fallado.
- ✓ Prioridad 3: Oscilografías de otras subestaciones que son necesarias para el análisis).

# Importancia del análisis de fallas

Mínimamente se requiere.

- Tipo de falla en cuanto a su naturaleza eléctrica (cortocircuito, fase abierta, sobre o mínima tensión, sobre o mínima frecuencia, ferorresonancia, presencia de armónicos, etc.).
- Identificación de las fases afectadas con o sin tierra.
- Determinación del tiempo de actuación de la protección, tiempo de desconexión del interruptor y duración de la falla.
- Confirmación del recierre automático y su tiempo de operación.
- Medida de las condiciones operativas pre falla (tensión, corriente y potencia)
- Medida de las condiciones de falla (corriente y tensión en las 3 fases)
- Medida de las condiciones operativas pos falla (tensión, corriente y potencia) de los elementos no fallados



# Importancia del análisis de fallas

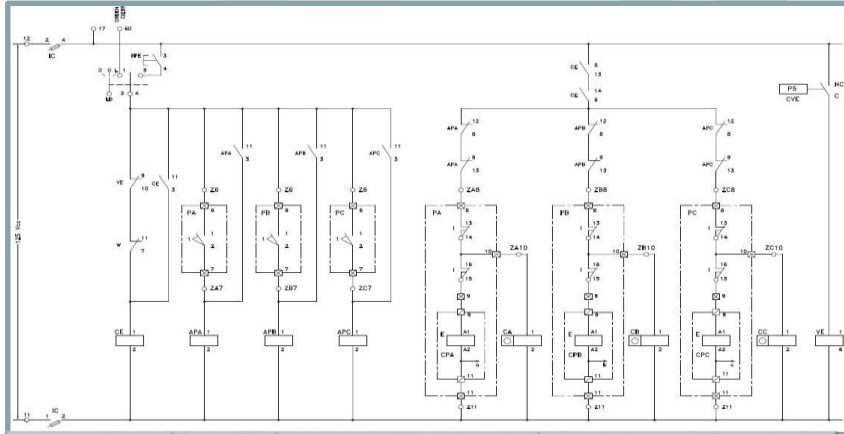
DIGSI - [Trip Log - 000015 / 19/01/2011 03:19:48.108 p.m. - REP / L-1120 / HUANO L-1120 7]

| Number | Indication                               | Value     | Date and time           |
|--------|------------------------------------------|-----------|-------------------------|
| 00301  | Power System fault                       | 15 - ON   | 19.01.2011 15:19:48.108 |
| 00302  | Fault Event                              | 15 - ON   | 19.01.2011 15:19:48.108 |
| 03688  | Distance Pickup L3E                      | ON        | 1 ms                    |
| 03703  | Distance Loop L3E selected forward       | ON        | 1 ms                    |
| 03804  | Distance TRIP command - Only Phase L3    | ON        | 1 ms                    |
| 04056  | Dis. Telep. Carrier SEND signal          | ON        | 1 ms                    |
| 02844  | AR 1st cycle running                     | ON        | 2 ms                    |
| 02801  | AR: Auto-reclose in progress             | ON        | 2 ms                    |
| 00535  | Primary fault current IL3                | 0.72 kA   | 3 ms                    |
| 01335  | Earth fault protection Trip is blocked   | ON        | 10 ms                   |
| 01358  | E/F picked up FORWARD                    | ON        | 12 ms                   |
| 01338  | E/F phase selector L3 selected           | ON        | 12 ms                   |
| 01356  | E/F 3I0> PICKED UP                       | ON        | 12 ms                   |
| 01357  | E/F 3I0p PICKED UP                       | ON        | 12 ms                   |
| 01384  | E/F Telep. Carrier SEND signal           | ON        | 12 ms                   |
| 01373  | E/F Telep. Carrier SEND signal, Phase L3 | ON        | 12 ms                   |
| 02714  | >AR: External trip L3 for AR start       | ON        | 13 ms                   |
| 00593  | Single pole open detected in L3          | ON        | 31 ms                   |
| 04006  | >Dis. Tele. Carrier RECEPTION Channel 1  | ON        | 32 ms                   |
| 01318  | >E/F Carrier RECEPTION, Channel 1        | ON        | 32 ms                   |
| 14082  | E/F 3I0> is blocked                      | ON        | 32 ms                   |
| 14083  | E/F 3I0p is blocked                      | ON        | 33 ms                   |
| 01332  | Earth fault protection is BLOCKED        | ON        | 33 ms                   |
| 01338  | E/F phase selector L3 selected           | OFF       | 33 ms                   |
| 01345  | Earth fault protection PICKED UP         | OFF       | 33 ms                   |
| 02839  | AR dead time after 1 pole trip running   | ON        | 53 ms                   |
| 03671  | Distance PICKED UP                       | OFF       | 56 ms                   |
| 03703  | Distance Loop L3E selected forward       | OFF       | 56 ms                   |
| 00511  | Relay GENERAL TRIP command               | OFF       | 57 ms                   |
| 01335  | Earth fault protection Trip is blocked   | OFF       | 94 ms                   |
| 01125  | Fault Locator Loop L3E                   | ON        | 45 ms                   |
| 01117  | Flt Locator: secondary RESISTANCE        | 2.47 Ohm  | 45 ms                   |
| 01118  | Flt Locator: secondary REACTANCE         | 4.12 Ohm  | 45 ms                   |
| 01114  | Flt Locator: primary RESISTANCE          | 11.38 Ohm | 45 ms                   |
| 01115  | Flt Locator: primary REACTANCE           | 18.95 Ohm | 45 ms                   |
| 01119  | Flt Locator: Distance to fault           | 37.3 km   | 45 ms                   |
| 01120  | Flt Locator: Distance [%] to fault       | 43.3 %    | 45 ms                   |
| 02851  | AR: Close command                        | ON        | 550 ms                  |
| 02784  | AR: Auto-reclose is not ready            | ON        | 550 ms                  |
| 00590  | Line closure detected                    | ON        | 660 ms                  |
| 00593  | Single pole open detected in L3          | OFF       | 660 ms                  |
| 00590  | Line closure detected                    | OFF       | 677 ms                  |
| 14082  | E/F 3I0> is blocked                      | OFF       | 685 ms                  |
| 14083  | E/F 3I0p is blocked                      | OFF       | 685 ms                  |
| 01332  | Earth fault protection is BLOCKED        | OFF       | 685 ms                  |

## Mínimamente se requiere

- Identificación de la desconexión y confirmación de la desconexión automática de los interruptores.
- Constatación de eventuales fallas en el interruptor.
- Constatación de las funciones de protección actuantes.
- Constatación de la actuación de las señalizaciones locales y remotas.
- Constatación de las protecciones actuantes con las fases actuantes.
- Confirmación del tiempo de actuación de la protección.

# Importancia del análisis de fallas



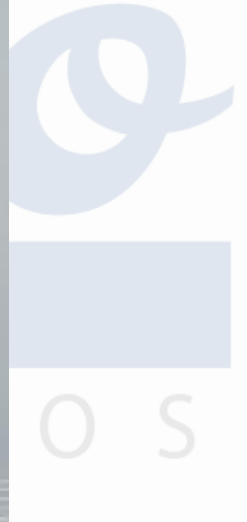
- Identificación, constatación o confirmación de problemas físicos en la red o equipos eventualmente detectados por la protección.
- Identificación o constatación de la existencia de un factor agravante (lluvias, vientos, rayos, nieve, eventos extraordinarios, etc.)
- Identificación, constatación o confirmación de causas contributivas a la falla (horario punta, cargas especiales, etc.)
- Identificación, constatación o confirmación de errores humanos o actuaciones accidentales propias de la empresa.
- Identificación, constatación o confirmación de acciones humanas de empresas ajenas.
- Constatación o confirmación de ocurrencias semejantes al anterior.



# Origen y tipos de fallas

- Fenómenos naturales.
- Errores humanos
- Animales
- Vegetación
- Condiciones climáticas
- Condiciones operativas

# Origen y tipos de fallas



# Origen y tipos de fallas





# Origen y tipos de fallas



Vatio  
INGENIEROS

# Origen y tipos de fallas





# Origen y tipos de fallas



# Origen y tipos de fallas



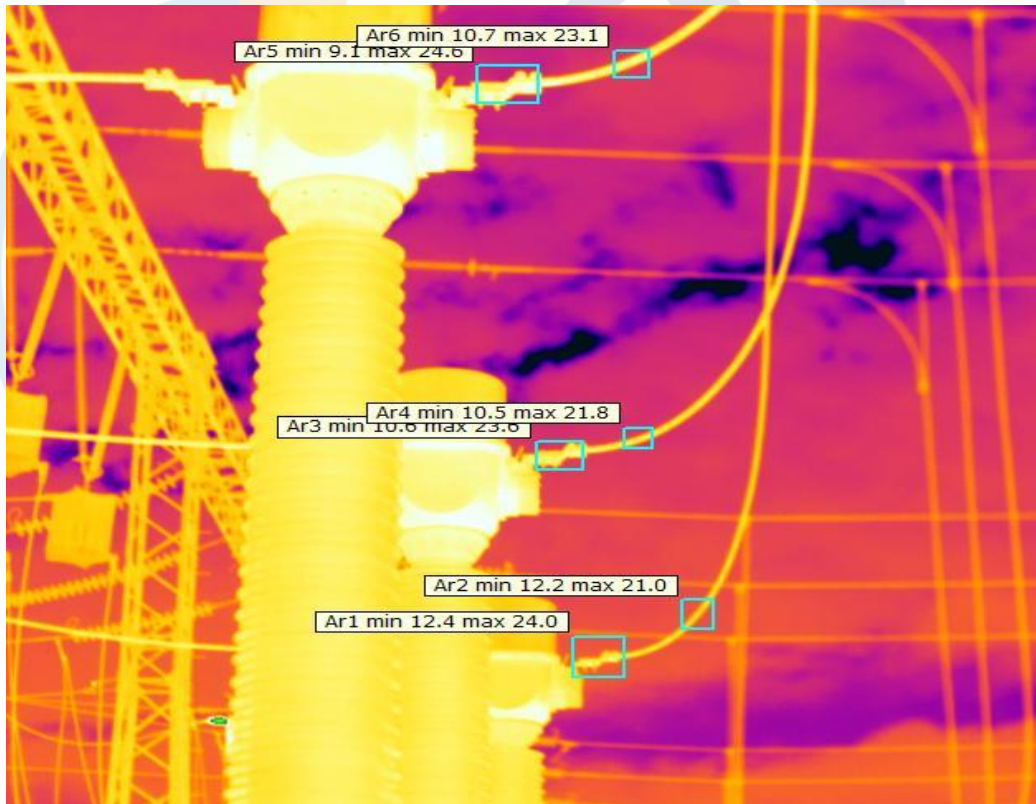


# Origen y tipos de fallas

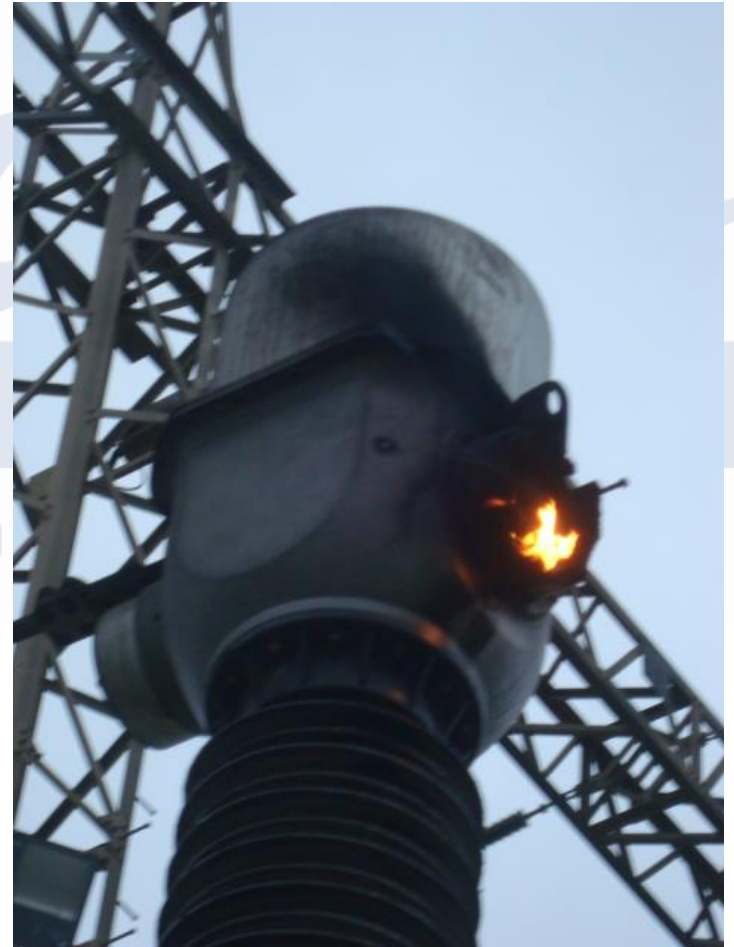




# Origen y tipos de fallas



# Origen y tipos de fallas

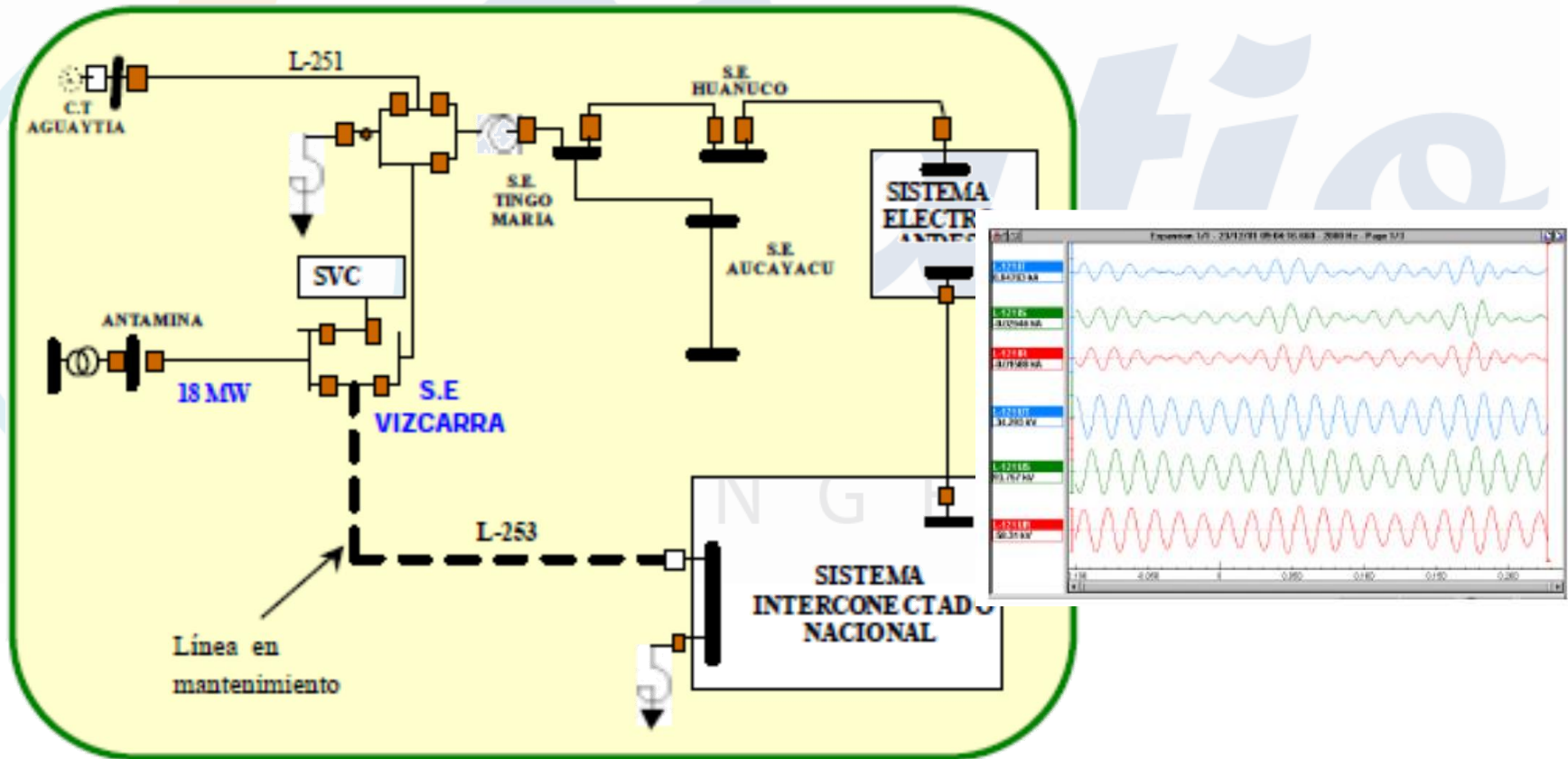


# Origen y tipos de fallas





# Origen y tipos de fallas



# Origen y tipos de fallas





# Origen y tipos de fallas



# Origen y tipos de fallas





# Origen y tipos de fallas



# Origen y tipos de fallas





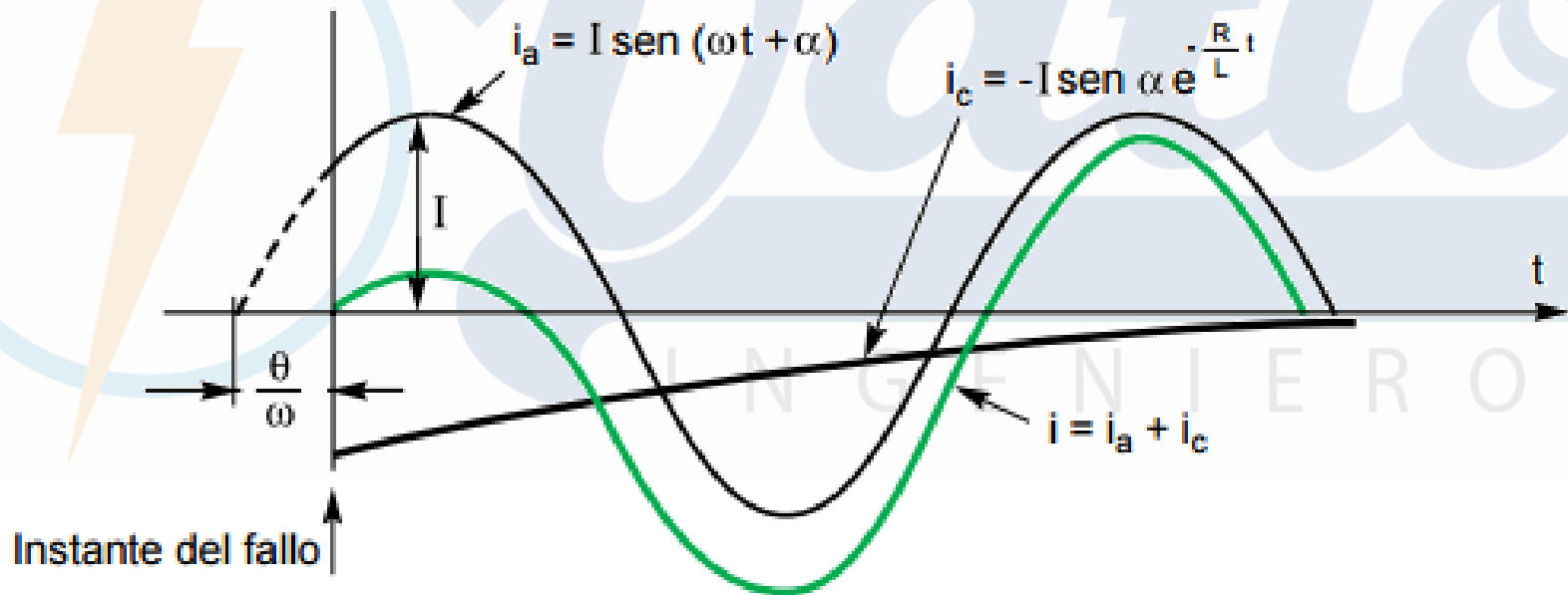
# Origen y tipos de fallas



# Origen y tipos de fallas



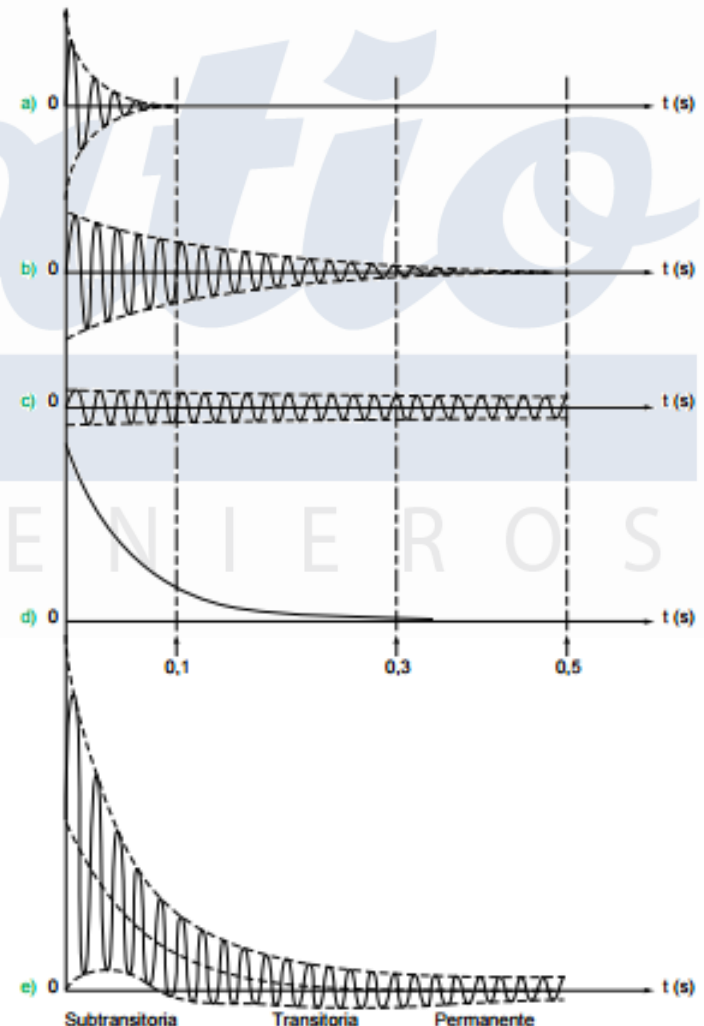
# Comportamiento de la corriente de cortocircuito



# Comportamiento de la corriente de cortocircuito

- a) La reactancia subtransitoria
- b) La reactancia transitoria
- c) La reactancia permanente
- d) La componente unidireccional o de corriente continua

Nótese que la reactancia del alternador disminuye más deprisa que la componente unidireccional. Este fenómeno, poco frecuente, puede representar serios problemas de corte y, además, provocar la saturación de los circuitos magnéticos ya que la corriente no pasa por cero sino después de varios periodos.



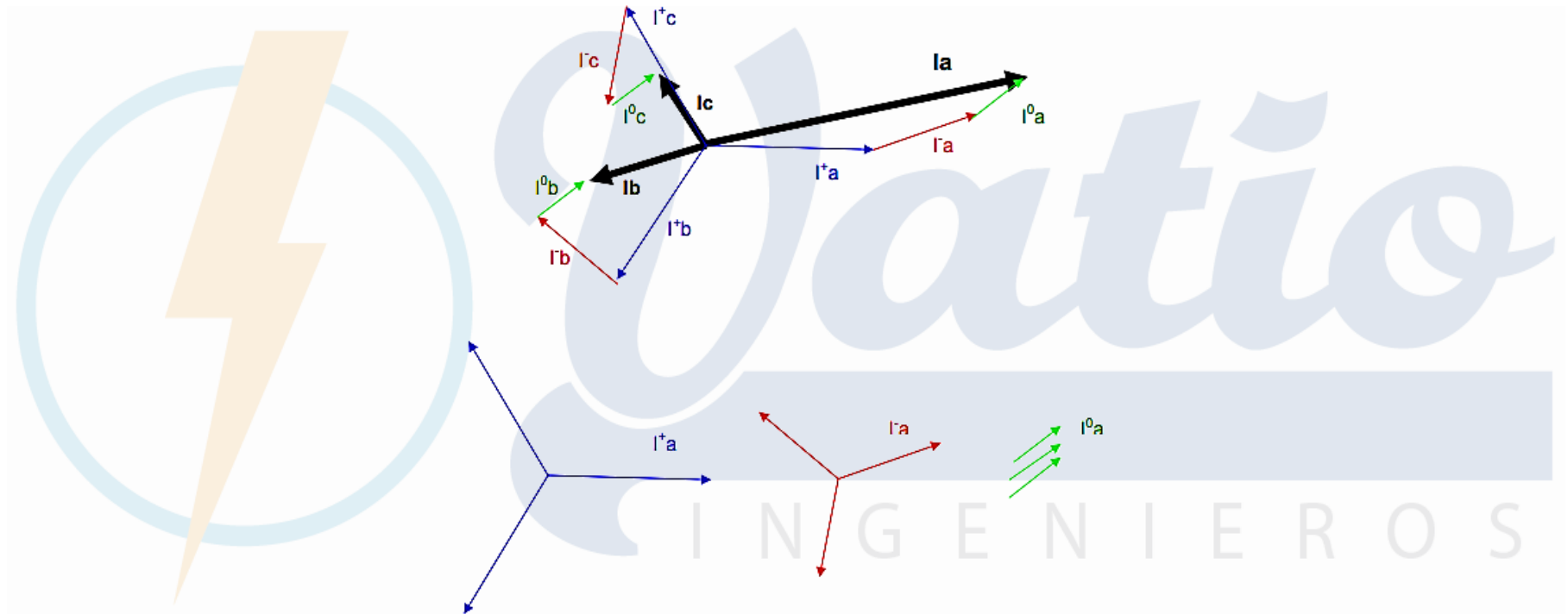


# Componentes simétricas

## TEOREMA DE FORTESCUE

- El teorema de Fortescue o teorema de las componentes simétricas es uno de los teoremas más importantes en la ingeniería eléctrica. Se utiliza para simplificar el análisis de los sistemas de energía trifásicos desequilibrados, pues permite escribir de forma general un sistema polifásico desbalanceado (con  $n$  fases) como la suma de  $n$  sistemas equilibrados aplicando el principio de superposición. Siempre y cuando las corrientes y tensiones del sistema se relacionen con impedancias lineales de otro modo el principio de superposición no es aplicable.

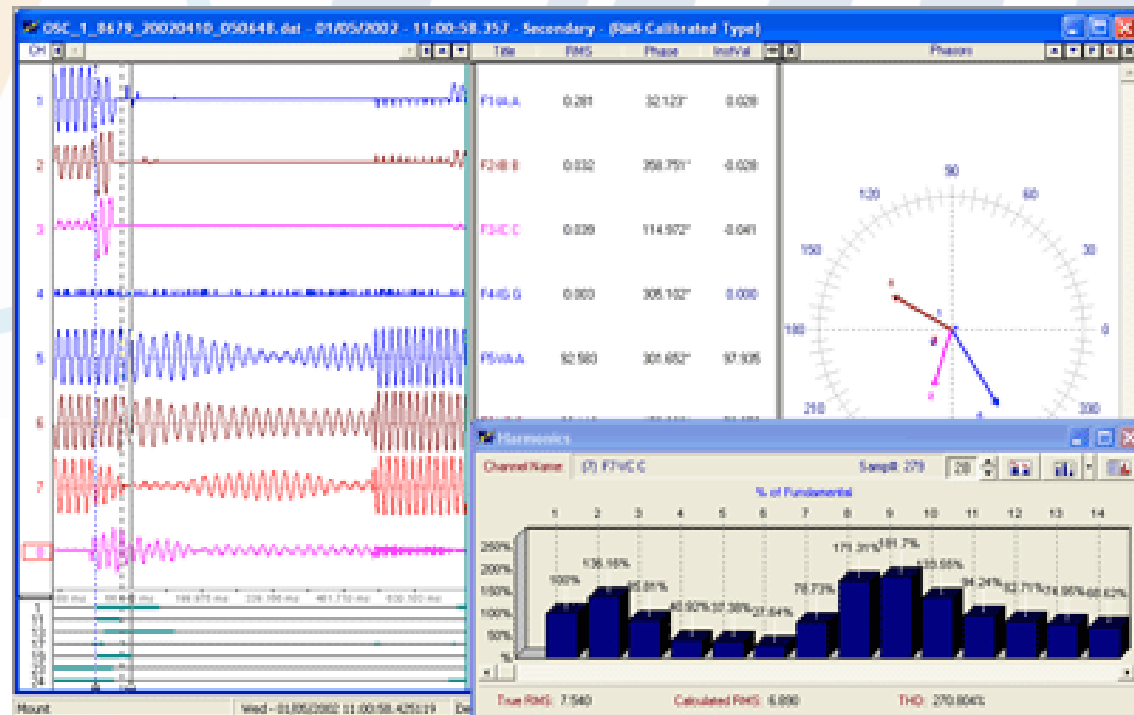
# Componentes simétricas



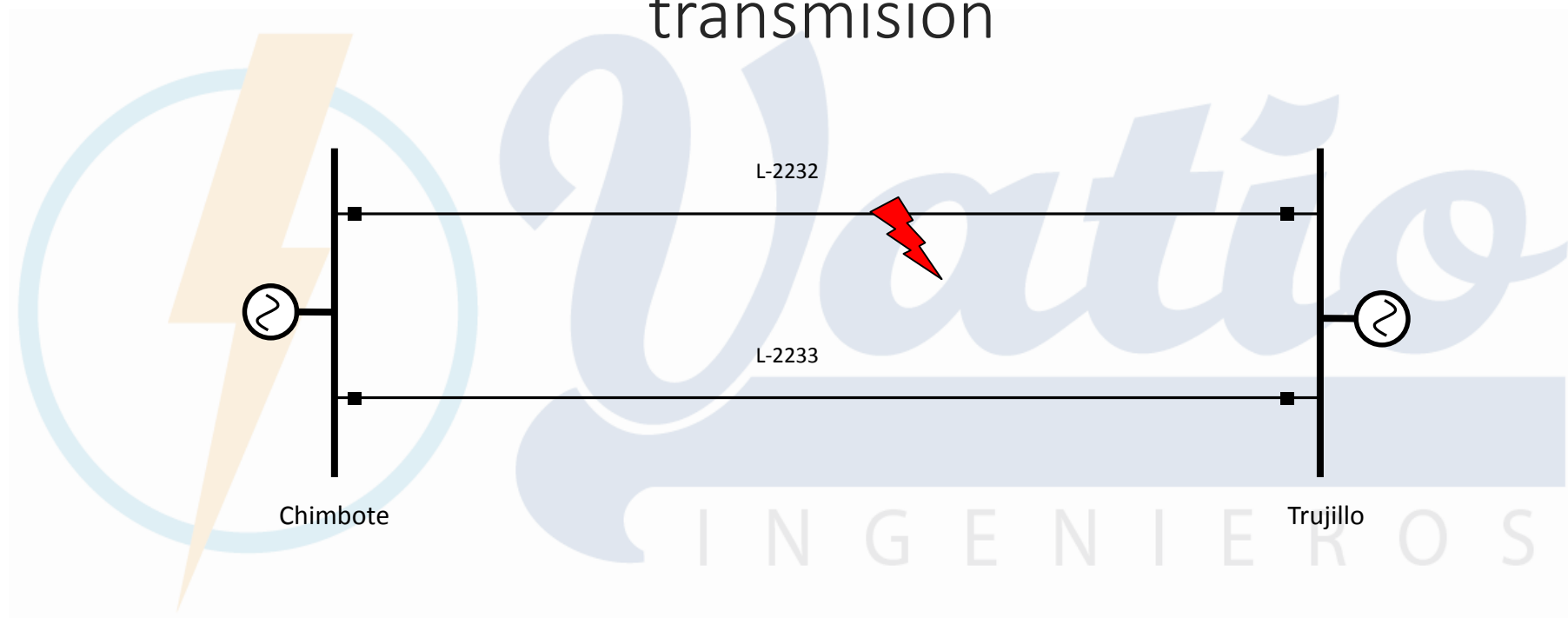
$$\begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_a^0 \\ I_a^+ \\ I_a^- \end{pmatrix}$$

# Análisis de oscilografías

- ¿Qué es una oscilografía?
- ¿Archivo Comtrade?



# Proceso de un ciclo de recierre monofásico en una línea de transmisión

**EVENTO:**

Recierre monofásico exitoso de la fase "S" en la Línea L-2232 (Chimbote - Trujillo 220 kV).

**DÍA:**

Ocurrida el 13 de marzo de 2010 a las 07:34 a.m.

**UBICACIÓN:**

75.6 km de la SE. Chimbote

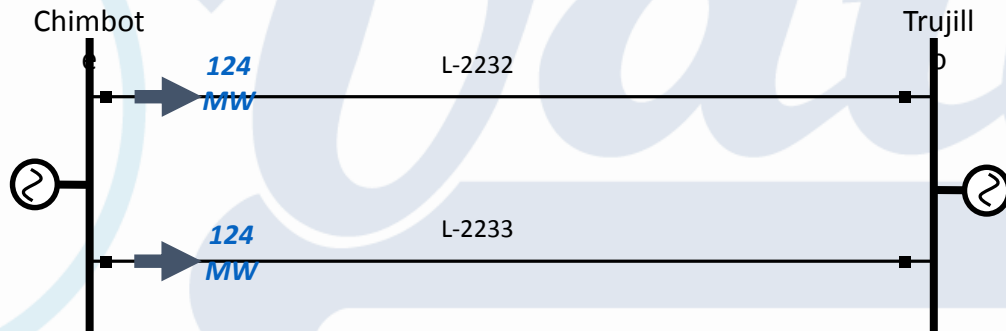
**CONSECUENCIA:**

No hubo restricción de suministro. Las protecciones se desempeñaron correctamente.

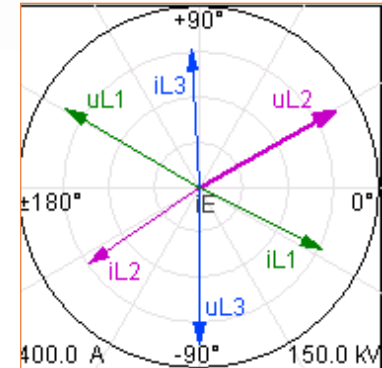
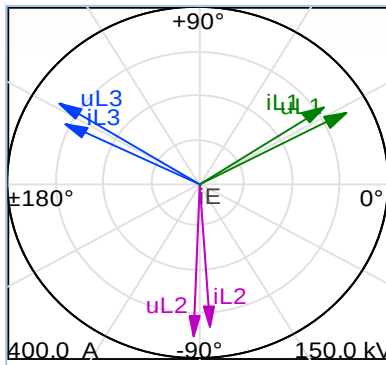


# Proceso de un ciclo de recierre monofásico en una línea de transmisión

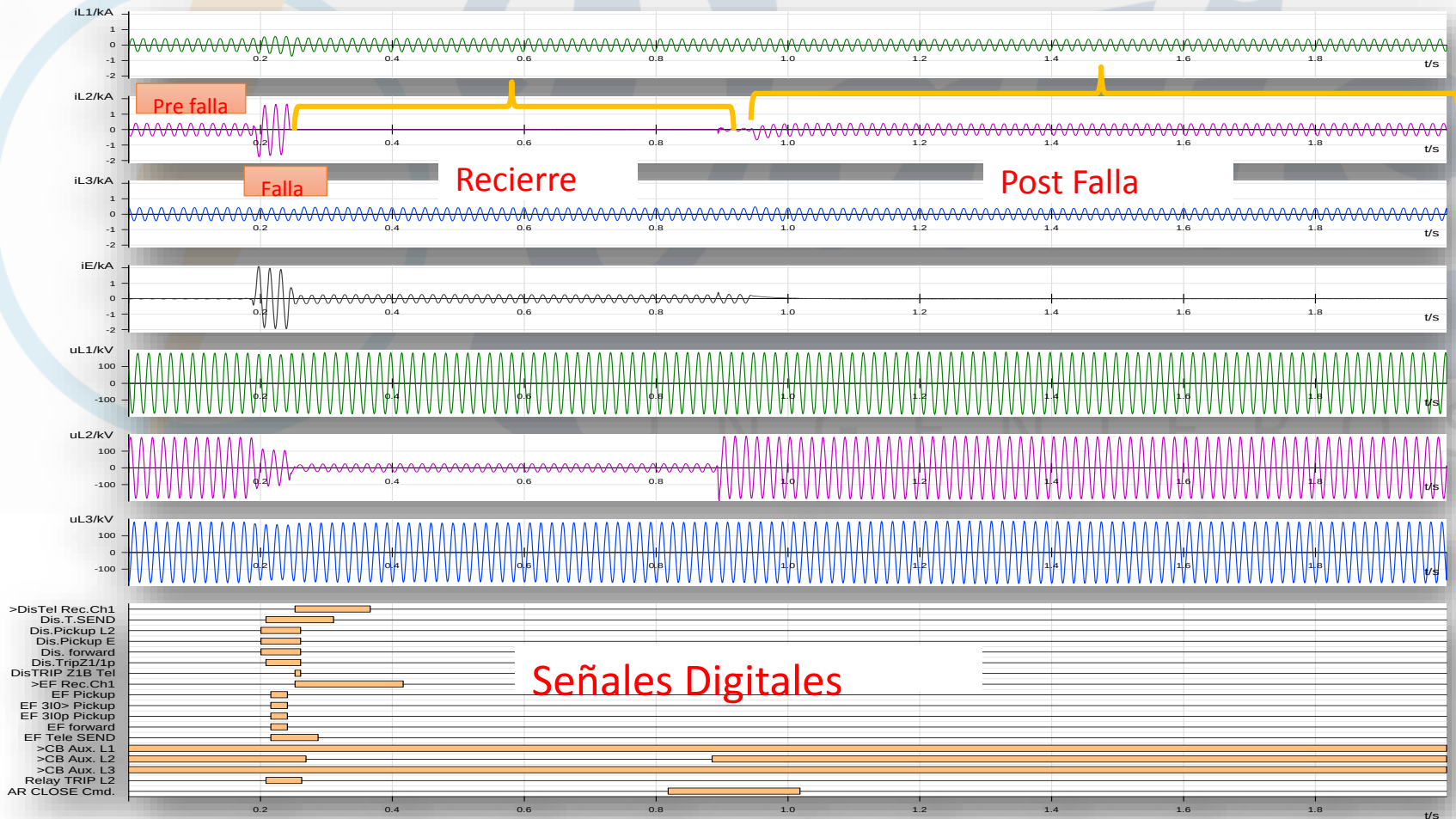
| Measuring Signal | R.M.S.    |
|------------------|-----------|
| iL1              | 315 A     |
| iL2              | 0.33 kA   |
| iL3              | 317 A     |
| iE               | 0.0089 kA |
| uL1              | 131 kV    |
| uL2              | 131 kV    |
| uL3              | 131 kV    |
| P*               | 124 MVA   |
| Q*               | -13.7 MVA |



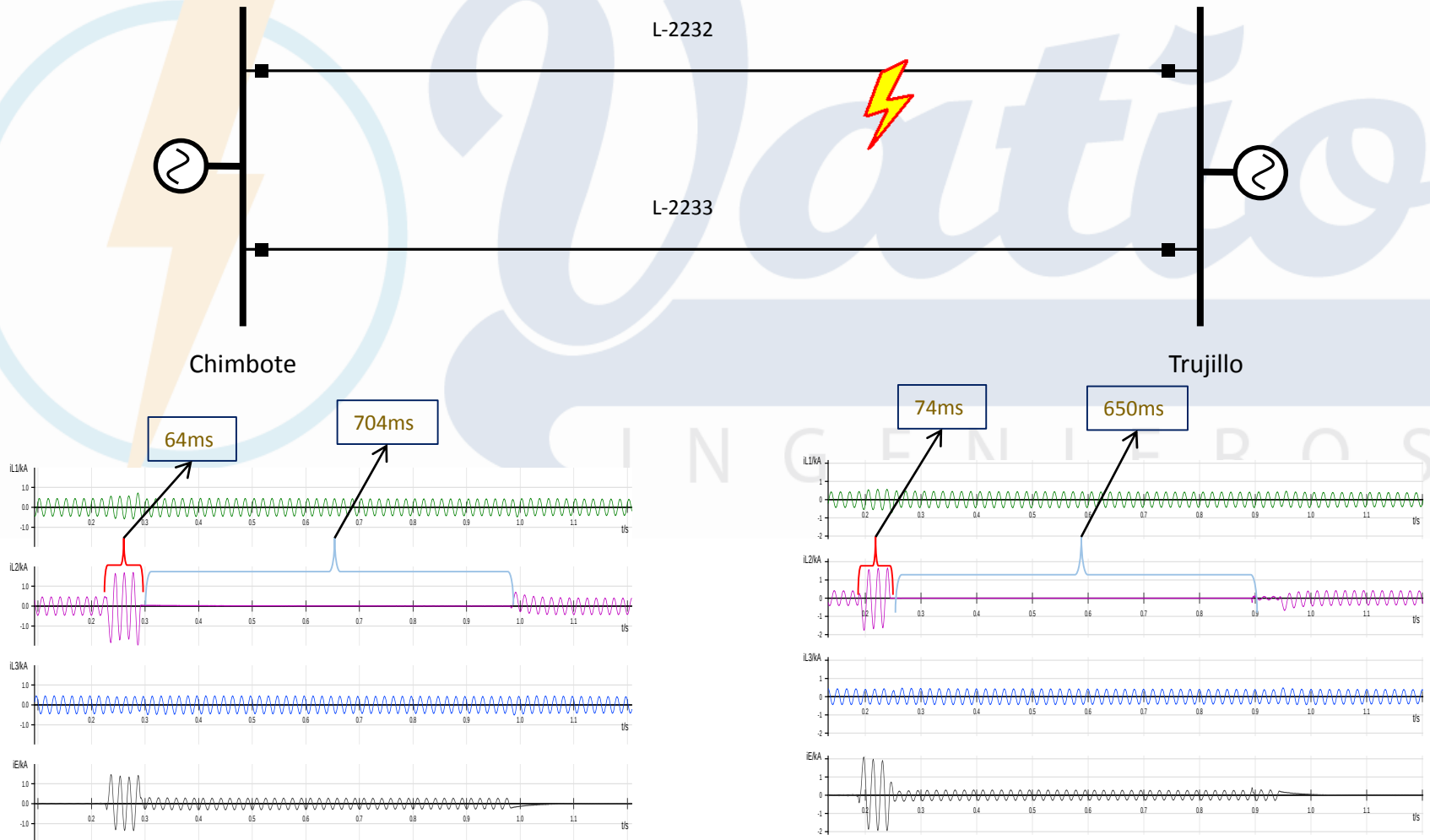
| Measuring Signal | R.M.S.   |
|------------------|----------|
| iL1              | 305 A    |
| iL2              | 0.30 kA  |
| iL3              | 309 A    |
| iE               | 0.013 kA |
| uL1              | 129 kV   |
| uL2              | 130 kV   |
| uL3              | 129 kV   |
| P*               | -118 MVA |
| Q*               | 8.13 MVA |



# Proceso de un ciclo de recierre monofásico en una línea de transmisión



# Proceso de un ciclo de recierre monofásico en una línea de transmisión



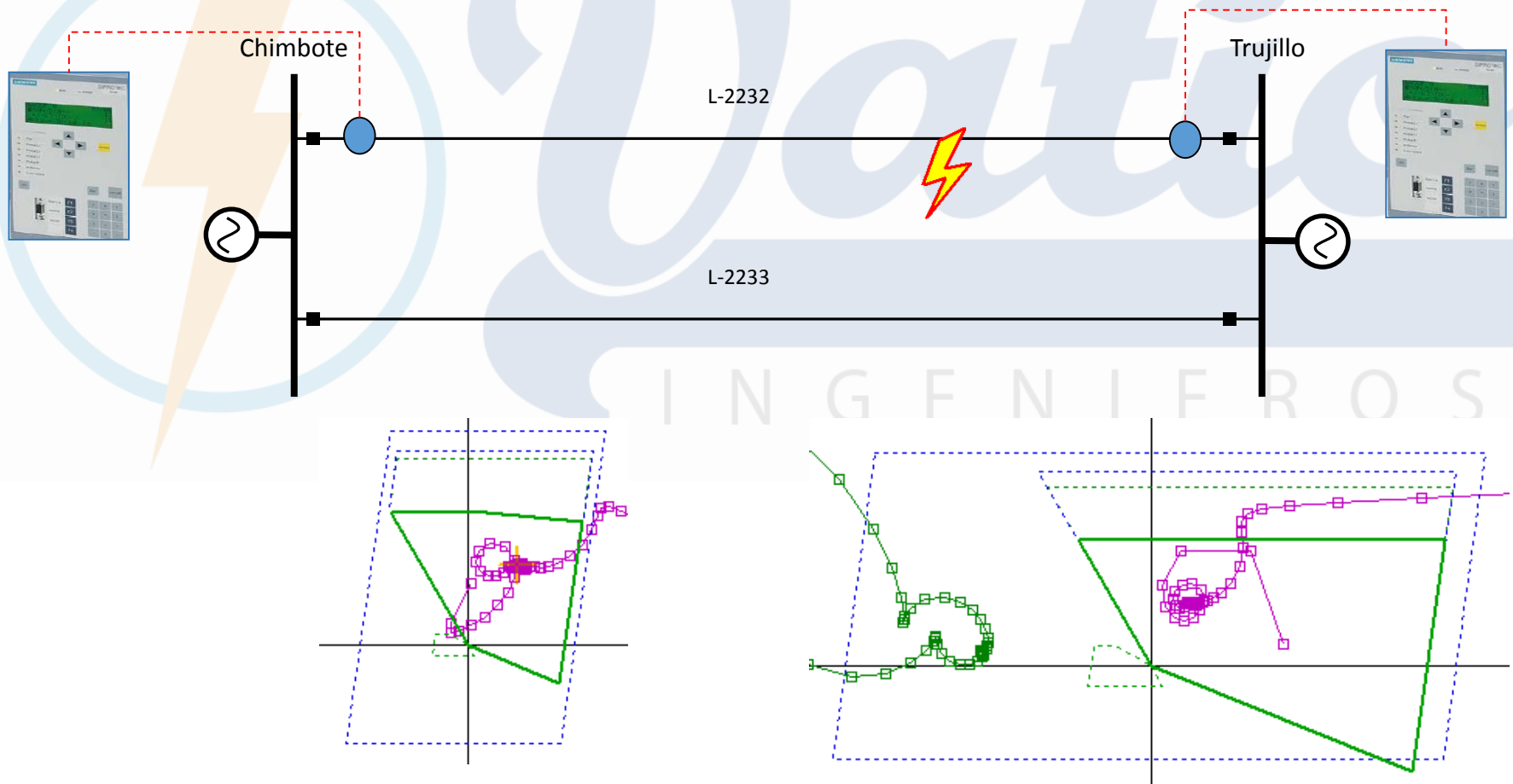
# Proceso de un ciclo de recierre monofásico en una línea de transmisión

| Number | Indication                               | Value     | Date and time           | Cause | State |
|--------|------------------------------------------|-----------|-------------------------|-------|-------|
| 00301  | Power System fault                       | 11 - ON   | 13.03.2010 07:34:08.425 |       |       |
| 00302  | Fault Event                              | 14 - ON   | 13.03.2010 07:34:08.425 |       |       |
| 03684  | Distance Pickup L2E                      | ON        | 0 ms                    |       |       |
| 03702  | Distance Loop L2E selected forward       | ON        | 0 ms                    |       |       |
| 03803  | Distance TRIP command - Only Phase L2    | ON        | 0 ms                    |       |       |
| 04056  | Dis. Telep. Carrier SEND signal          | ON        | 1 ms                    |       |       |
| 02844  | AR 1st cycle running                     | ON        | 1 ms                    |       |       |
| 02801  | AR: Auto-reclose in progress             | ON        | 1 ms                    |       |       |
| 00534  | Primary fault current IL2                | 1.16 kA   | 3 ms                    |       |       |
| 01335  | Earth fault protection Trip is blocked   | ON        | 4 ms                    |       |       |
| 01370  | E/F Inrush picked up                     | OFF       | 5 ms                    |       |       |
| 01358  | E/F picked up FORWARD                    | ON        | 5 ms                    |       |       |
| 01337  | E/F phase selector L2 selected           | ON        | 5 ms                    |       |       |
| 01356  | E/F 3I0> PICKED UP                       | ON        | 5 ms                    |       |       |
| 01357  | E/F 3I0p PICKED UP                       | ON        | 5 ms                    |       |       |
| 01384  | E/F Telep. Carrier SEND signal           | ON        | 5 ms                    |       |       |
| 01372  | E/F Telep. Carrier SEND signal, Phase L2 | ON        | 5 ms                    |       |       |
| 04006  | >Dis.Tele. Carrier RECEPTION Channel 1   | ON        | 18 ms                   |       |       |
| 03850  | DisTRIP Z1B with Teleprotection scheme   | ON        | 18 ms                   |       |       |
| 02713  | >AR: External trip L2 for AR start       | ON        | 25 ms                   |       |       |
| 00592  | Single pole open detected in L2          | ON        | 32 ms                   |       |       |
| 14082  | E/F 3I0> is blocked                      | ON        | 37 ms                   |       |       |
| 14083  | E/F 3I0p is blocked                      | ON        | 37 ms                   |       |       |
| 01332  | Earth fault protection is BLOCKED        | ON        | 37 ms                   |       |       |
| 01337  | E/F phase selector L2 selected           | OFF       | 38 ms                   |       |       |
| 01345  | Earth fault protection PICKED UP         | OFF       | 38 ms                   |       |       |
| 01318  | >E/F Carrier RECEPTION, Channel 1        | ON        | 39 ms                   |       |       |
| 03671  | Distance PICKED UP                       | OFF       | 63 ms                   |       |       |
| 03702  | Distance Loop L2E selected forward       | OFF       | 63 ms                   |       |       |
| 00511  | Relay GENERAL TRIP command               | OFF       | 64 ms                   |       |       |
| 02839  | AR dead time after 1pole trip running    | ON        | 78 ms                   |       |       |
| 01335  | Earth fault protection Trip is blocked   | OFF       | 100 ms                  |       |       |
| 01124  | Fault Locator Loop L2E                   | ON        | 35 ms                   |       |       |
| 01117  | Flt Locator: secondary RESISTANCE        | 5.63 Ohm  | 35 ms                   |       |       |
| 01118  | Flt Locator: secondary REACTANCE         | 9.76 Ohm  | 35 ms                   |       |       |
| 01114  | Flt Locator: primary RESISTANCE          | 20.63 Ohm | 35 ms                   |       |       |
| 01115  | Flt Locator: primary REACTANCE           | 35.77 Ohm | 35 ms                   |       |       |
| 01119  | Flt Locator: Distance to fault           | 74.5 km   | 35 ms                   |       |       |
| 01120  | Flt Locator: Distance [%] to fault       | 55.6 %    | 35 ms                   |       |       |
| 02851  | AR: Close command                        | ON        | 627 ms                  |       |       |

| Number | Indication                               | Value     | Date and time           | Cause | State |
|--------|------------------------------------------|-----------|-------------------------|-------|-------|
| 00301  | Power System fault                       | 27 - ON   | 13.03.2010 07:34:08.414 |       |       |
| 00302  | Fault Event                              | 31 - ON   | 13.03.2010 07:34:08.414 |       |       |
| 03684  | Distance Pickup L2E                      | ON        | 1 ms                    |       |       |
| 03702  | Distance Loop L2E selected forward       | ON        | 1 ms                    |       |       |
| 01335  | Earth fault protection Trip is blocked   | ON        | 7 ms                    |       |       |
| 03803  | Distance TRIP command - Only Phase L2    | ON        | 8 ms                    |       |       |
| 04056  | Dis. Telep. Carrier SEND signal          | ON        | 8 ms                    |       |       |
| 01370  | E/F Inrush picked up                     | ON        | 8 ms                    |       |       |
| 02844  | AR 1st cycle running                     | ON        | 9 ms                    |       |       |
| 02801  | AR: Auto-reclose in progress             | ON        | 9 ms                    |       |       |
| 00534  | Primary fault current IL2                | 1.10 kA   | 10 ms                   |       |       |
| 01370  | E/F Inrush picked up                     | OFF       | 16 ms                   |       |       |
| 01358  | E/F picked up FORWARD                    | ON        | 16 ms                   |       |       |
| 01337  | E/F phase selector L2 selected           | ON        | 16 ms                   |       |       |
| 01356  | E/F 3I0> PICKED UP                       | ON        | 16 ms                   |       |       |
| 01357  | E/F 3I0p PICKED UP                       | ON        | 16 ms                   |       |       |
| 01384  | E/F Telep. Carrier SEND signal           | ON        | 16 ms                   |       |       |
| 01372  | E/F Telep. Carrier SEND signal, Phase L2 | ON        | 16 ms                   |       |       |
| 02713  | >AR: External trip L2 for AR start       | ON        | 27 ms                   |       |       |
| 00592  | Single pole open detected in L2          | ON        | 40 ms                   |       |       |
| 14082  | E/F 3I0> is blocked                      | ON        | 40 ms                   |       |       |
| 14083  | E/F 3I0p is blocked                      | ON        | 40 ms                   |       |       |
| 01332  | Earth fault protection is BLOCKED        | ON        | 40 ms                   |       |       |
| 01337  | E/F phase selector L2 selected           | OFF       | 41 ms                   |       |       |
| 01345  | Earth fault protection PICKED UP         | OFF       | 41 ms                   |       |       |
| 04006  | >Dis.Tele. Carrier RECEPTION Channel 1   | ON        | 52 ms                   |       |       |
| 01318  | >E/F Carrier RECEPTION, Channel 1        | ON        | 52 ms                   |       |       |
| 03850  | DisTRIP Z1B with Teleprotection scheme   | ON        | 52 ms                   |       |       |
| 03671  | Distance PICKED UP                       | OFF       | 61 ms                   |       |       |
| 03702  | Distance Loop L2E selected forward       | OFF       | 61 ms                   |       |       |
| 00511  | Relay GENERAL TRIP command               | OFF       | 62 ms                   |       |       |
| 00352  | >Circuit breaker aux. contact: Pole L2   | OFF       | 69 ms                   |       |       |
| 02839  | AR dead time after 1pole trip running    | ON        | 71 ms                   |       |       |
| 01335  | Earth fault protection Trip is blocked   | OFF       | 97 ms                   |       |       |
| 01124  | Fault Locator Loop L2E                   | ON        | 42 ms                   |       |       |
| 01117  | Flt Locator: secondary RESISTANCE        | 5.22 Ohm  | 42 ms                   |       |       |
| 01118  | Flt Locator: secondary REACTANCE         | 7.00 Ohm  | 42 ms                   |       |       |
| 01114  | Flt Locator: primary RESISTANCE          | 19.13 Ohm | 42 ms                   |       |       |
| 01115  | Flt Locator: primary REACTANCE           | 25.67 Ohm | 42 ms                   |       |       |
| 01119  | Flt Locator: Distance to fault           | 53.5 km   | 42 ms                   |       |       |



# Proceso de un ciclo de recierre monofásico en una línea de transmisión



# Proceso de un ciclo de recierre monofásico en una línea de transmisión

- La falla ocurrió el 13 de marzo de 2010 a las 07:34 a.m en hora fuera de punta.
- La falla fue monofásica en la fase S ocurrida en la cadena de aislador de la torre 217 ubicada a 67km de Chimbote, provocada por fuertes vientos de arena.
- Las protecciones de los extremos de la línea actuaron correctamente.
- Localizaron la falla en zona 1 a 74.5km de Chimbote y 53.2km de Trujillo.
- Despejaron la falla por actuación de la función 21 con disparo monofásica y recierre no exitoso al persistir la falla. Operó la transmisión y recepción de la teleprotección para la función 21.
- Arrancó la función 67N y operó la transmisión y recepción de la teleprotección, no actúa esta función porque fue bloqueada por el arranque de la función 21.