



SISTEMA DE PROTECCION DE ARCO PAI

1. INTRODUCCIÓN:	3
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES:	4
3. INSTALACIÓN:	6
3.1 INFORMACIÓN DE SEGURIDAD.....	6
3.2 CONSIDERACIONES GENERALES.....	6
3.3 DESCARGA ELECTROSTÁTICA:.....	6
3.4 MONTAJE.....	6
4. FUNCIONAMIENTO:	7
4.1 GENERALIDADES.....	7
4.2 DESCRIPCIÓN DE PLANO SMAI.....	9
5. MANTENIMIENTO:	12
6. MODIFICACIÓN A LA VERSIÓN ANTERIOR:	13
7. SERVICIO TÉCNICO:	14

1. Introducción:

El sistema de protección contra arco eléctrico PAI está compuesto por módulos PAI-MDL, PAI-MDC, PAI-COM y una unidad de monitoreo PAI-UM, cada equipo cumple una función específica dentro de la protección.

Estos equipos están comunicados entre si a través de una red de fibra óptica de plástico bajo un protocolo de comunicación propietario que proporciona una conexión de datos rápida, segura e inmune al ruido electromagnético.

La red de datos antes mencionada funciona con una topología tipo estrella, más adelante en el capítulo 4.1 veremos imágenes de una red de datos típica, un módulo PAI-COM es el centro de esta estrella y su función es intercomunicar a todos los módulos presentes en el sistema. En sistemas pequeños que posean hasta 9 módulos con un PAI-COM alcanza para intercomunicar a todos. En sistemas más grandes los puertos de un PAI-COM no son suficientes por lo que necesitamos utilizar más módulos PAI-COM en forma de estrella extendida. De esta forma ocupando un solo puerto del PAI-COM central podemos conectar 8 módulos a la red. Utilizando una PAI-UM y 9 PAI-COM el sistema puede expandirse hasta un máximo de 62 módulos entre PAI-MDL y PAI-MDC.

La unidad de monitoreo PAI-UM es la interfaz con el usuario, ella contiene la información de la lógica de disparos y configuración de todos los módulos y se encarga de monitorear el sistema, registrar la actividad y generar anuncios, esta información se puede ver desde la pantalla o desde la página web.

Los módulos encargados de monitorear el nivel de iluminación y detectar el efecto lumínico de un arco eléctrico son los PAI-MDL, los módulos PAI-MDC monitorean la corriente y detectan el efecto de sobrecorriente que genera un arco eléctrico. Ambos módulos informan las detecciones de arco por la red, y nuevamente los módulos PAI-MDL son los encargados de recibir esta información y disparar la apertura de los interruptores dependiendo de la lógica de disparo configurada previamente.

A diferencia de su predecesor el sistema de monitoreo de arco eléctrico MAI de **Boherdi Electrónica**, el nuevo sistema PAI es completamente configurable. Cada salida a interruptor tiene 2 ecuaciones, la activación de cualquiera de estas ecuaciones genera el disparo, y cada ecuación puede tener una o dos condiciones de disparo, algunos ejemplos de ecuaciones de una condición son (*arco*), (*sobrecorriente*), (*entrada digital*) y algunos ejemplos de ecuaciones de dos condiciones son (*arco & sobrecorriente*), (*arco & entrada digital*), para que se active una ecuación de dos condiciones deben cumplirse ambas simultáneamente. Usualmente la ecuación número 1 se configura para disparar el interruptor por arco y la ecuación número 2 se configura para disparar el interruptor por falla de otro interruptor aguas abajo el cual haya fallado al realizar la apertura. Estas ecuaciones se configuran desde el software SMAI otorgando flexibilidad y posibilidad de cambios de funcionamiento del sistema sin modificaciones en el conexionado eléctrico ni de fibra óptica y ampliaciones del sistema con el agregado de módulos PAI-MDL y PAI-MDC sin modificaciones en el cableado de la instalación existente.

El SMAI es un software de configuración visual donde se dibuja la subestación con todas sus partes y los distintos módulos de la protección. Permite configurar la lógica de disparo de la protección con las ecuaciones anteriormente mencionadas y permite configurar la sensibilidad de los captosres de luz y TI de corriente configurando los valores de umbral y salto, luego esta lógica es transmitida hacia la PAI-UM y es esta la que, al momento de vincularlos, envía la configuración específica a cada módulo PAI-MDL y PAI-MDC para que el sistema funcione según el diseño realizado en SMAI. También permite generar reportes de conexión, etc.

2. Características generales:

El sistema de protección posee las siguientes características:

- *Modular*: Cada módulo tiene funciones específicas dentro del sistema.
- *Rápido*: El tiempo de actuación de apertura del interruptor es menor a 2ms.
- *Lógica de disparo*: Totalmente configurable para darle una mayor flexibilidad al usuario a la hora de diseñar la configuración del sistema.
- *Comunicación*: La comunicación entre los módulos del sistema es por medio de fibra óptica.
- *Conexión*: Posee conectividad a una red LAN mediante el puerto ethernet y al bus de campo Modbus mediante el puerto serie.
- *Señalización*: 8 salidas a relé, una para indicar alarma por TRIP, una para indicar alarma por falla en el sistema y las restantes para indicar disparos por luz en las zonas configuradas.
- *Registros y anuncios*: Los registros y anuncios pueden visualizarse de manera local o remota por medio de la página web. Puede almacenar hasta 999 registros.
- *Actualización*: Los módulos PAI-MDL, PAI-MDC y PAI-UM permiten actualizar su firmware en campo por medio del software SMAI.
- *Bornera de corriente*: Extraíble de manera de no interrumpir la corriente en caso de mantenimiento del PAI-MDC, la medición se realiza por sensores de efecto Hall.
- *Captore*: Encargados de medir la luz, funcionan conectados a los PAI-MDL mediante una fibra óptica.
- *Medición de luz*: Capacidad de medir desde 0 a 65000Lux. Se mide la luz ambiente dentro de la celda para configurar los umbrales de luz de arco.
- *Entrada digital*: Señal proveniente de otro equipo que puede utilizarse en la lógica de disparo.
- *Software SMAI*: Utilizado para generar la lógica de disparo del sistema a proteger, de fácil uso e intuitivo.
- *Almacenamiento de lógicas de disparo*: Puede almacenar hasta 8 lógicas de disparo distintas, por ejemplo, una puede ser de prueba otra la de funcionamiento actual y otra para una ampliación a futuro.
- *Supervisión*: El sistema es periódicamente supervisado para asegurar la correcta conexión y comunicación de los PAI-MDC, PAI-MDL y captore.

El sistema de protección puede estar compuesto por los siguientes equipos:

- *Unidad de monitoreo (PAI-UM)*: Todo sistema PAI necesita una PAI-UM, esta envía firmware y configuraciones a los PAI-MDC y PAI-MDL, registra eventos, genera anuncios, supervisa la conexión de los PAI-MDC y PAI-MDL con la red de datos, monitorea las mediciones de luz ambiente en los captore y corriente en los TI, implementa la página web desde donde se pueden ver los registros, anuncios y mediciones antes mencionadas, se conecta al bus de campo Modbus y anuncia disparos en zonas previamente configuradas mediante leds en su frente y salidas a relé.
- *Concentrador de datos (PAI-COM)*: Todo sistema PAI necesita como mínimo un PAI-COM para intercomunicar a los módulos del sistema. Y puede necesitar como máximo hasta 9 PAI-COM para sistemas de 62 módulos, estos retransmiten la información que reciben por cada puerto hacia sus otros puertos de fibra óptica. Mantienen a todos los módulos del sistema y a la unidad de monitoreo conectados e intercomunicados.
- *Módulo detector de luz (PAI-MDL)*: A él, se conectan hasta 8 captore, a través de ellos se mide luz ambiente y se detecta luz de arco, además tienen una entrada digital que permite incluir señales de otros equipos en la lógica de disparo y 3 salidas opto aisladas para actuar sobre los interruptores según la lógica de disparo configurada. Envía información a la red de datos cuando una medición de luz supera los umbrales configurados o cuando la entrada digital es activada. Mide la luz ambiente dentro del compartimiento donde cada captor está instalado, para que el usuario tenga una referencia a la hora de configurar los umbrales de detección. Realiza la supervisión de los captore verificando la continuidad de la de fibra óptica desde el captor al módulo. Recibe información de condiciones de disparo de otros PAI-MDL y PAI-MDC y en caso de estos activar una ecuación de alguna de sus tres salidas, produce el trip.
- *Módulo detector de corriente (PAI-MDC)*: Si bien no es indispensable en todo sistema PAI, ya que los disparos pueden configurarse solo por luz de arco o entrada digital y luz de arco, recomendamos fuertemente que se incluyan algunos de estos módulos en el sistema para poder configurar la lógica de disparos con ecuaciones del tipo luz de arco y sobrecorriente. Mide la corriente instantánea en las 3 fases y en el neutro. En el caso de no poder medir la corriente de neutro se puede configurar para que la calcule en base a las corrientes de fase. Luego compara las mediciones con umbrales configurados por el usuario para detectar condiciones de sobrecorriente e informarlas por la red, además, calcula la corriente eficaz de fases y neutro. También puede detectar condiciones de desbalance entre fases.

3. Instalación:

3.1 Información de seguridad.

- En los bornes puede haber tensiones peligrosas.
- Los equipos contienen componentes que son sensibles a las descargas electrostáticas.
- Los equipos deben estar cuidadosamente conectados a tierra.
- La instalación eléctrica de los equipos debe ser realizada por personal competente.
- No abrir los equipos innecesariamente. No contienen partes reemplazables por el usuario.

3.2 Consideraciones generales.

Es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones generales para la instalación de los equipos:

Bornes: Todos los bornes del equipo son del tipo extraíbles con tornillos de sujeción aérea. El cableado puede ser realizado antes o después de la instalación física del equipo. Cuando los bornes son insertados en el equipo, asegurar los tornillos de sujeción aérea para que los bornes hagan buen contacto, evitando así desconexiones por vibraciones o falsos contactos que deterioran la vida útil de la bornera.

Bornera de corriente extraíble: En la instalación de cables de fases y neutro para la medición de los mismos se deberán utilizar terminales del tipo horquilla u ojal de diámetro interno mínimo de 4mm y externo máximo de 10mm. La bornera posee todos sus tornillos imperdibles, tanto para hacer la conexión eléctrica como para hacer la sujeción de la bornera de medición al equipo.

Entradas de captosres: Cada módulo PAI-MDL posee 8 entradas para medir la luz por medio de los captosres. Se utiliza fibra óptica doble de 2,2mm de diámetro. Por una fibra se envían pequeños pulsos de luz necesarios para supervisar la conexión y por la otra se recibe la luz a medir. Ajustar la fibra óptica en los dos extremos, tanto en el captor y en el módulo.

Puerto serie: Ajustar los tornillos de sujeción de la ficha DB9 para que la conexión sea adecuada y evitar la desconexión del puerto por vibraciones.

Puerto ethernet: Insertar el conector RJ45 del cable de red LAN. Es necesario escuchar un "Click" para realizar una la conexión segura. Asegúrese de que la ficha del cable no tenga rota esta traba de lo contrario pueden surgir desconexiones indeseadas provocando que falle la visualización de la página web y la sincronización de reloj con servidor NTP.

Fibras ópticas: La conexión a la red de datos de los módulos se realiza mediante fibras acrílicas bifilares de 2.2mm de diámetro cada fibra. No se requiere preparación alguna más que un corte a 90° con alguna herramienta tipo guillotina. Para más información ver en el manual de usuario de cada módulo la **sección 3.2 Consideraciones generales** para poder proceder a la correcta conexión de la fibra al transceiver óptico.

3.3 Descarga electrostática:

Los equipos incluyen componentes sensibles a las descargas electrostáticas. Estos dispositivos se encuentran bien protegidos por el gabinete y no es conveniente abrirlo innecesariamente.

3.4 Montaje

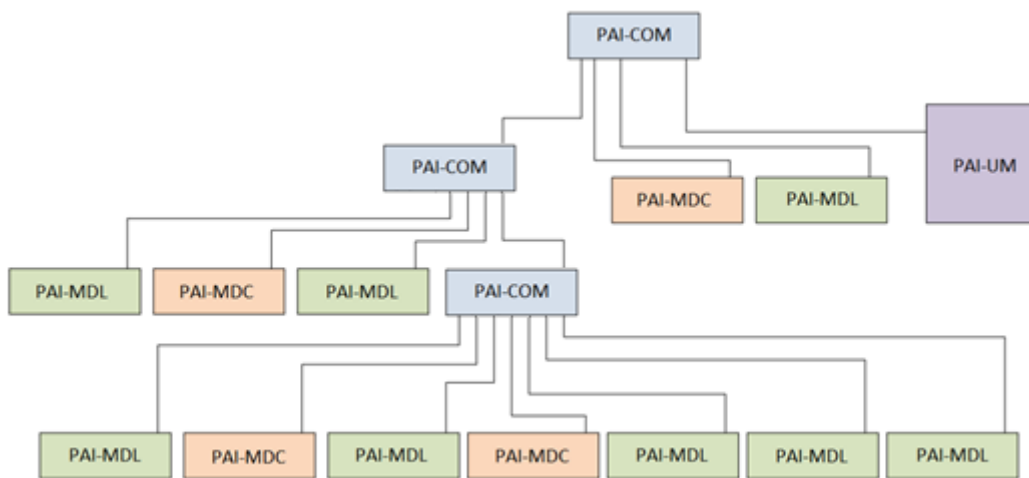
Los módulos PAI-MDL, PAI-MDC, PAI-COM y PAI-MEX están preparados para ser montados de manera fija o sobre riel DIN46277/3. En cuanto al módulo PAI-UM está preparado para ser montado de manera fija. Para esto ver la **sección 3.5 Montaje** de los manuales de los módulos.

4. Funcionamiento:

4.1 Generalidades

Un sistema PAI como se mencionó anteriormente puede estar compuesto por los módulos PAI-UM, PAI-COM, PAI-MDL y PAI-MDC. El sistema está preparado para incluir, de ser necesario, hasta 62 módulos combinando PAI-MDC y PAI-MDL en una misma red, esto se logra con varios PAI-COM conectados en forma de estrella extendida. Es importante tener en cuenta que el sistema como mínimo debe contar con un módulo PAI-COM que permite la interconexión de hasta 8 módulos PAI-MDL y/o PAI-MDC y una PAI-UM necesaria para monitorear, supervisar y enviar la configuración y a los PAI-MDL y PAI-MDC.

A continuación, una posible red de protección con 8 PAI-MDL, 4 PAI-MDC, la PAI-UM y 3 PAI-COM para comunicarlos.



El software SMAI genera un texto para identificar a los PAI-MDC, PAI-MDL, captosres, TI, entradas e interruptores del sistema. Por ejemplo: para los PAI-MDC y PAI-MDL este texto se arma de la siguiente forma “CELDA / COMPARTIMIENTO / TIPO ID”, los campos celda y compartimiento nos ayudan a conocer el lugar físico que ocupan en la instalación, el tipo puede ser MDL o MDC y el ID es un número entre 1 y 62 con el que el PAI-UM identifica a cada módulo. Estos textos permiten identificar de manera rápida y eficaz los anuncios y registros generados por los distintos elementos, como detección de luz o corriente, disparos, entradas activas, etc. La asignación del número ID vincula el módulo a una posición particular en la lógica de disparo del sistema y su configuración correspondiente. Desde el SMAI, al momento de armar el dibujo de la subestación, se puede designar los ID de los módulos dentro del menú de propiedades como así también el nombre de las celdas y los compartimientos. Para más información ver manual del software de configuración SMAI en el **capítulo 5 Configuración**.

Cada módulo PAI-MDL o PAI-MDC presente en el sistema, es periódicamente supervisado y validado por la Unidad de Monitoreo PAI-UM. En este procedimiento se verifica la configuración actual de cada módulo, su versión de firmware y su número de serie, si coinciden con los almacenados para cada posición dentro de la memoria SD de la PAI-UM se validan para poder operar en el sistema, caso contrario el módulo se desvinculará y deberá ser vinculado con una nueva posición en la lógica de disparo para que el equipo quede validado y funcionando de acuerdo a lo configurado en SMAI. De ser necesario un cambio en el firmware de los módulos, la PAI-UM enviará a cada módulo la versión de firmware necesaria para funcionar.

Para que un módulo PAI-MDL o PAI-MDC funcione en el sistema debe estar vinculado con una posición dentro de la lógica de disparos que se desea utilizar, para identificar estas posiciones utilizamos un número que llamaremos ID. Este procedimiento se describe en el manual de usuario de la unidad de monitoreo (PAI-UM) en la **Sección 5.5 Sistemas de pantallas** en el apartado de la pantalla **Inicio.Ajustes.Modulos**. Los módulos se pueden desvincular manualmente con el motivo de cambiar una posición asignada erróneamente. Cuando un módulo es desvinculado el led de estado de ese módulo permanece rojo mientras que si el led permanece en verde indica que el equipo está vinculado y validado de acuerdo a la lógica de disparo del sistema. Para más información sobre los estados posibles que puede tomar un módulo ver la sección **5.5 Leds y service pin** en manual de usuario de los módulos PAI-MDL y PAI-MDC.

Cuando el sistema está en funcionamiento la PAI-UM es la encargada de supervisar los módulos periódicamente, de esta manera se asegura que el sistema de protección este completo libre de fallas o desconexiones. En caso de encontrar alguna falla se genera un anuncio (si hay anuncios se enciende el led de anuncios en el frente de la PAI-UM) y además se genera un registro, ya que el anuncio se eliminará una vez solucionada la falla, de esta forma los anuncios nos muestran fallas o estados actuales y los registros nos permiten ver fallas o eventos que hayan sucedido anteriormente. A su vez el módulo PAI-MDL cada 2 segundos realiza una supervisión de la fibra óptica con la que se conecta a los captores, garantizando su correcta conexión. Si se detecta una falla se genera un anuncio y un registro de falla captor que se podrá visualizar en la pantalla en la PAI-UM o desde la página web.

Cada anuncio tiene un punto de dato asociado en el mapa Modbus del sistema, de este modo un cliente Modbus puede encuestar a la PAI-UM por la ocurrencia de eventos importantes como lo son la presencia de sobrecorriente, un disparo de interruptor o la desconexión de un captor de luz.

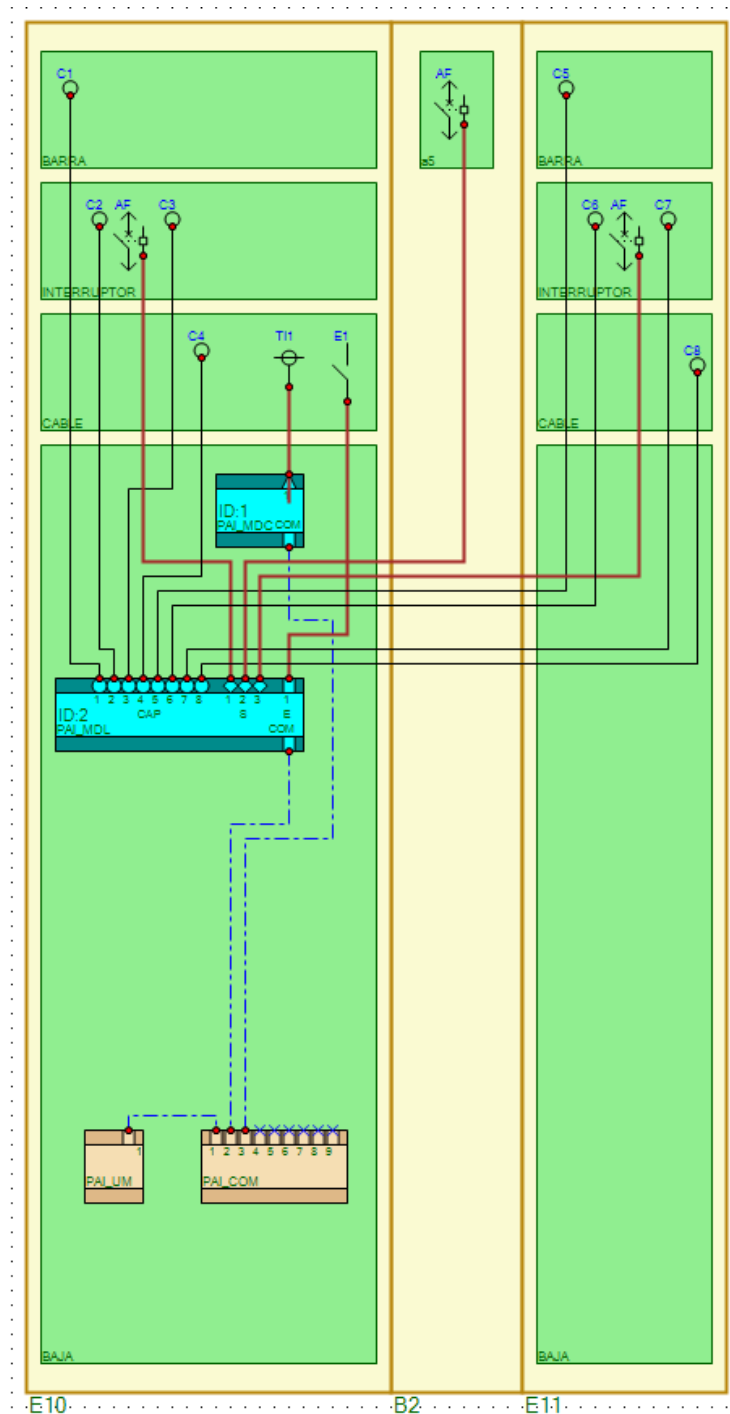
La protección de arco PAI fue pensada de manera modular para que sea de fácil armado y permitir modificaciones de funcionamiento y ampliación de sistema de manera sencilla. Por medio del software SMAI el usuario puede configurar la lógica de disparo según su necesidad y así proteger al sistema de manera eficiente. De acuerdo con la experiencia adquirida durante los años, recomendamos colocar un módulo detector de corriente PAI-MDC en la entrada de cada sección, por supuesto que esto queda a criterio del usuario y puede utilizar tantos módulos PAI-MDC como considere necesario siempre y cuando no supere el límite máximo de 62 equipos. En cuanto a los módulos detectores de luz PAI-MDL, por lo general se acostumbra utilizar un captor alojado en el compartimiento de la BARRA, uno para el compartimiento del INTERRUPTOR y otro para el compartimiento de SALIDA de la celda. Utilizando este criterio con un módulo PAI-MDL se pueden cubrir 2 celdas y 2/3 de otra, pero el usuario puede disponer la ubicación de los captores como desee y puede utilizar más o menos captores por celda.

La conexión de los captores al módulo PAI-MDL se realiza por fibra óptica y esta distancia no debe superar los 10m, en cuanto a los módulos la distancia de fibra óptica entre ellos no debe superar los 100m. En caso de superarlo no se garantiza el correcto funcionamiento del sistema. A la hora de realizar la conexión de la fibra tanto para el captor como para los módulos, se debe tener en cuenta que las curvas generan atenuación de la señal lumínica, esta atenuación es inapreciable si la curvatura **no** supera la curvatura crítica, por lo tanto, para evitar problemas por atenuación se toma como regla práctica que el radio de curvatura de la fibra óptica debe ser como mínimo debe ser 10 veces el diámetro de la protección de la fibra. En este caso como se utiliza fibra de 2.2mm de diámetro, el radio de curvatura mínimo debe ser de 22mm.

4.2 Descripción de plano SMAI

A continuación, se muestra un esquema básico de protección en el SMAI y se detallará su funcionamiento. Para más información sobre cómo realizar un esquema ver el *manual de usuario del SMAI* en el **capítulo 4 armado del plano**.

La lógica de disparo es la siguiente, si hay luz de arco y sobrecorriente se abren los interruptores de la celda de salida **E11** o entrada **E10** dependiendo de donde ocurrió el arco. En caso de no abrir el interruptor de la celda de salida **E11**, pasado el tiempo de actuación, se manda a abrir el interruptor de entrada **E10** por falla de interruptor y si este falla se abre el interruptor de aguas arriba **B2**.



A continuación, se describirá el funcionamiento en detalle de la lógica de disparo para una salida y se mostrarán los registros capturados cuando se produce un disparo. Para más información sobre la lógica de disparo y las posibles ecuaciones, ver el manual de usuario del detector de luz MDL en la sección **5.3 Configuración de parámetros**.

El interruptor de la celda de salida E11 se ubica en el compartimento INTERRUPTOR y está conectado a la salida S3 del MDL ID:2, su ecuación 1 está configurada para disparar por luz de arco en el captor de cable C8 y sobrecorriente en T11, y su ecuación 2 está configurada para disparar en caso de entrada digital activa E1.

A continuación, se muestran los registros generados durante un disparo por entrada digital (ecuación 2).

N	Fecha y Hora	Título	Descripción
2	2021-12-29 08:36:13.217	Causa trip	"E11/AF" ent. digital "E10"
3	2021-12-29 08:36:13.217	Trip	"E11/AF" por ent. digital

El registro 3 indica que se disparó la celda E11 por causa entrada digital. En el registro 2 se especifica cual fue la entrada digital que causo el disparo, en este caso tenemos una sola y no había duda, pero en un sistema más complejo esta información es necesaria.

En el menú anuncios se observan los datos de los registros 2 y 3 combinados dando la información completa del disparo.

Fecha y Hora de creación	Título	Descripción
2021-12-29 08:36:13.217	Trip	"E11/AF" condicion 1 ent. digital "E10"

A continuación, se muestran los registros generados para un disparo de la misma salida, pero en este caso por activación de la ecuación 1 (luz de arco y sobrecorriente).

N	Fecha y Hora	Título	Descripción
18	2021-12-29 08:40:33.265	Intensidad scorriente	en "E10/CABLE/TI1" fase R 2875 A
19	2021-12-29 08:40:33.255	Intensidad arco	en "E11/CABLE/C8" 10307 Lux
20	2021-12-29 08:40:33.246	Causa trip	"E11/AF" scorriente en "E10" fases R S T N
21	2021-12-29 08:40:33.246	Causa trip	"E11/AF" arco en "E11/CABLE"
22	2021-12-29 08:40:33.246	Trip	"E11/AF" por arco - scorriente

El registro 22 es el disparo propiamente dicho en E11, seguido de 21 y 20 que especifican donde ocurrieron las condiciones que lo ocasionaron.

En el registro 19 y 18 se observan las intensidades del arco y sobrecorriente que produjeron el disparo.

Luego de que mandamos a abrir el interruptor de E11, pueden pasar 2 cosas, que el interruptor logre abrir el circuito y despejar la falla o que el interruptor falle, a continuación, mostraremos los registros en caso de que el interruptor falle.

N	Fecha y Hora	Título	Descripción
11	2021-12-29 08:40:33.315	Intensidad corriente PFI	en "E10/CABLE/TI1" fase R 2875 A
12	2021-12-29 08:40:33.295	Causa trip	"E10/AF" corriente PFI en "E10" fases R S T N
13	2021-12-29 08:40:33.295	Causa trip	"E10/AF" falla interruptor "E11"
14	2021-12-29 08:40:33.295	Trip	"E10/AF" por falla interruptor - corriente PFI

El sistema de protección en este caso utiliza la medición de corriente como verificación de que la falla fue despejada, si el interruptor logro abrir la corriente debe bajar, si sigue circulando corriente significa que el interruptor fallo.

El registro 14 es el del disparo, seguido de 13 y 12 que son el detalle de sus causas. Finalmente el registro 11 trae la información de cual era la intensidad de corriente por falla de interruptor.

En el menú de anuncios los registros *Trip* y *Causa trip* se combinan para dar la información completa del disparo como se muestra a continuación.

Fecha y Hora de creación	Título	Descripción
2021-12-29 08:49:53.761	Trip	"E11/AF" condicion 1 arco en "E11/CABLE" condicion 2 scorriente en "E10" fases: R S T N
2021-12-29 08:49:53.810	Trip	"E10/AF" condicion 1 falla interruptor "E11" condicion 2 corriente PFI en "E10" fases: R S T N

5. Mantenimiento:

Si los equipos son utilizados en las condiciones especificadas en el **Capítulo 6 “Datos técnicos”** de los respectivos módulos, es prácticamente libre de mantenimiento. No incluye componentes o partes que sufran desgastes bajo condiciones normales de operación.

Si las condiciones ambientales difieren de las especificadas, tales como la temperatura y la humedad, o si la atmósfera alrededor del equipo contiene gases químicamente activos o polvo, se debe realizar una inspección visual en forma periódica, verificando:

- Signos de daño mecánico en la cubierta y en los terminales.
- Polvo dentro del gabinete del equipo. Remover cuidadosamente con aire comprimido.
- Signos de corrosión dentro del equipo, en los terminales o en el gabinete.

Si los equipos funcionan indebidamente o si los valores de operación difieren considerablemente de los especificados, es necesaria una revisión exhaustiva. Todas las reparaciones importantes involucrando la electrónica del equipo deben ser realizadas por el fabricante. Reparaciones realizadas por personal no autorizado por BOHERDI ELECTRÓNICA anularán la garantía.

6. Modificación a la versión anterior:

-Se actualizaron los registros de disparo a la versión actual.

7. Servicio Técnico:

Ante cualquier inconveniente con los equipos, ponerse en contacto con el servicio técnico de Boherdi Electrónica en forma inmediata.

Boherdi Electrónica S.R.L.

Teléfonos / Fax:

+54-11-4925-4843

+54-11-4923-9060

+54-11-4923-1030

+54-11-4923-5595 (fax)

E-mail: ventas@boherdi.com

Dirección: Muñiz 1858

Buenos Aires (Capital Federal)

República Argentina

CP: C1255ACP