

SISTEMAS DE CORRIENTE CONTÍNUA

ÍNDICE	PÁG.
1 - OBJETIVO	3
2 - CONSIDERACIONES INICIALES	3
3 - CONFIGURACIONES DE LOS SISTEMAS	3
4 - ANÁLISIS DE LAS CONFIGURACIONES	6
4.1 - Configuración Básica.....	6
4.2 - Configuración Alternativa.....	8
4.3 - Soluciones para Evitar Sobretensiones	11
4.4 - Evaluación de las Soluciones	14
5 - INSTALACIONES Y EQUIPOS - GENERALIDADES	15
5.1 - Protecciones y Selectividad	15
5.1.1 - Protección de los Diodos.....	15
5.1.2 - Selectividad de las Protecciones.....	15
5.2 - Localización de Falla a Tierra.....	19
5.3 - Baterías	21
5.3.1 - Tipo	21
5.3.2 - Capacidad Nominal	21
5.3.3 - Número de Elementos.....	22
5.3.3.1 - Número de Elementos de las Baterías Ventiladas	22
5.3.3.2 - Número de Elementos de las Baterías Selladas	23
5.3.4 - Cálculo de la Tensión Final de los Elementos.....	23
5.3.5 - Mantenimiento.....	24
5.3.6 - Conclusión.....	24
5.4 - CARGADORES DE BATERÍAS	24
5.4.1 - Unidad de Diodos de Caída	25
5.4.2 - Corrección de Factor de Potencia	25
5.4.3 - Diodo de Bloqueo	25
5.4.4 - Recursos para Interconexión de Polos.....	26
5.4.5 - Operación en Paralelo.....	26
5.4.6 - Repuestos	26
5.5 - PANELES DE CORRIENTE CONTÍNUA.....	26
5.5.1 - Panel Local de Control	27
5.5.2 - Paneles de Distribución de Corriente Contínua.....	27

1 - OBJETIVO

El objetivo de este informativo es hacer consideraciones sobre configuraciones de sistemas de corriente continua, problemas y soluciones, dimensionamiento, tensiones nominales, características de equipos y componentes de sistemas de corriente continua de centrales hidroeléctricas, que también se pueden aplicar a otro tipo de instalaciones.

2 - CONSIDERACIONES INICIALES

Este informativo tiene en cuenta la evolución que se ha producido, principalmente, en baterías, disyuntores de caja moldeada y sistemas digitales de supervisión y control. Uno no puede dejar de considerar que las baterías selladas son una realidad y que las baterías ventiladas ya no se utilizarán. Las características de los disyuntores de caja moldeada están aumentando y sus costos más accesibles. La capacidad y los recursos de los sistemas de supervisión y control evolucionan muy rápidamente y sus costos también se están reduciendo.

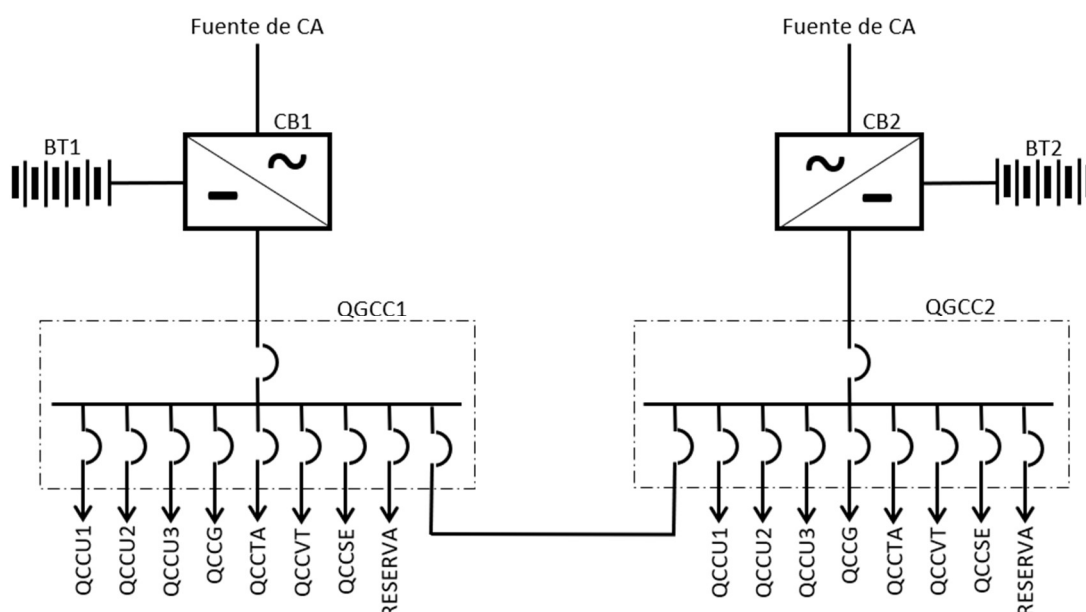
Dependiendo de las consideraciones anteriores, las baterías selladas se considerarán como aquellas indicadas para su uso en sistemas de corriente continua. Sin embargo, la mayoría de las consideraciones para las baterías selladas también se aplican a las baterías ventiladas, que todavía se utilizan en muchas instalaciones existentes.

Los fabricantes de interruptores automáticos de caja moldeada ya proporcionan una amplia variedad de tipos, con informaciones importantes como tipos de curvas, valores de energía de paso, tablas de selectividad y accesorios como contactos auxiliares de estado y defecto. Estos disyuntores satisfacen plenamente las necesidades de las instalaciones de corriente continua.

Los sistemas digitales de supervisión y control, que inicialmente eran muy caros y con recursos limitados, ahora tienen una capacidad muy grande de recursos y posibilidades de control y supervisión, lo que permite aumentar la cantidad de información que se puede administrar de forma remota. Por lo tanto, aunque no se utilice plenamente, debe facilitarse toda la información posible destinada a los sistemas de supervisión y control.

3 - CONFIGURACIONES DE LOS SISTEMAS

La configuración típica de un sistema de corriente continua de una central hidroeléctrica es, o puede ser, la indicada en la siguiente figura:



El sistema consta de dos conjuntos de baterías (BT1 y BT2) y cargadores (CB1 y CB2), que alimentan dos paneles generales (QGCC1 y QGCC2), que a su vez alimentan los paneles de distribución de la planta (QCCU1, QCCU2, QCCU3, QCCG, QCCTA, QCCVT y QCCSE). Tener en cuenta que los dos paneles generales de corriente continua (QGCC1 y QGCC2) son totalmente independientes y la interconexión entre ellos se realiza mediante dos disyuntores, uno en cada panel, para permitir aislar eléctricamente cualquier panel.

Las finalidades de los paneles eléctricos de corriente continua son:

QCCU1, 2, 3 paneles de corriente continua de las unidades 1, 2 y 3

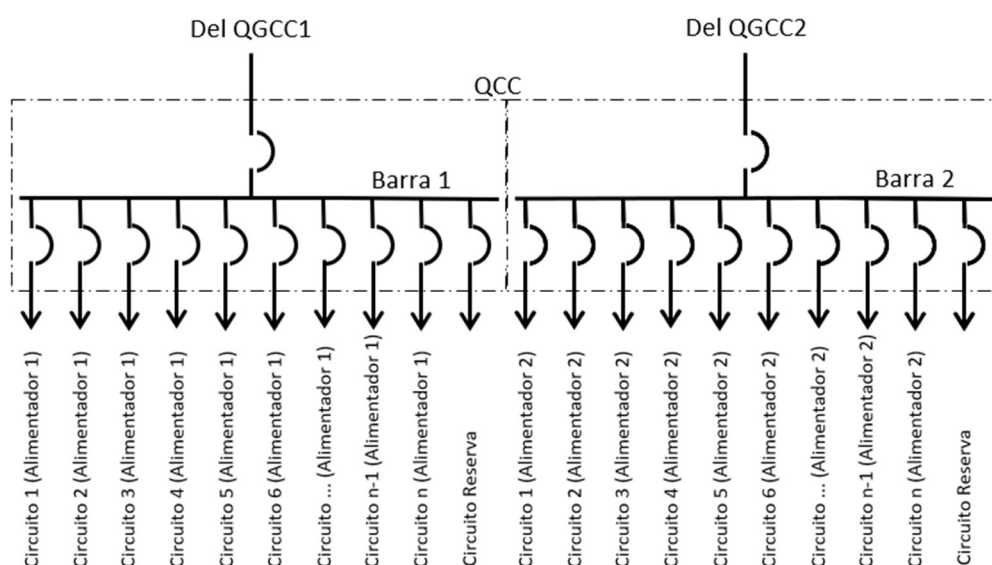
Panel de corriente continua de cargas generales QCCG

Panel de corriente continua de toma de agua QCCUTA

Panel de corriente continua del vertedero QCCUVT

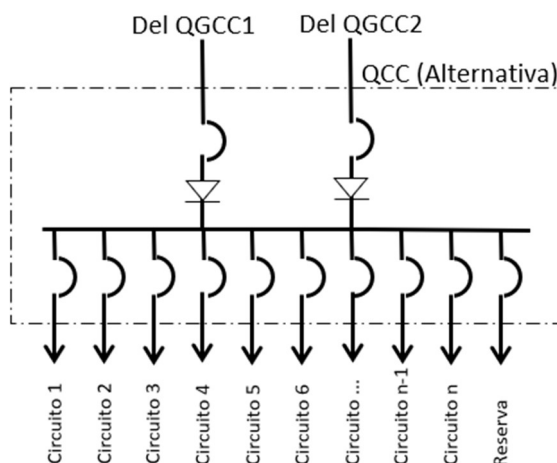
Panel de corriente continua de la subestación QCCSE

La carga es alimentada por los paneles eléctricos, cuya configuración es la indicada en la siguiente figura:



En la configuración anterior el panel puede tener dos barras de corriente continua o, preferiblemente, estar formado por dos secciones independientes, cada una alimentada por una de las fuentes de corriente continua de la planta. Desde los paneles se realizan las alimentaciones de las cargas de corriente continua de la planta, con un alimentador de cada barra.

Otra configuración del panel que se puede adoptar está indicada en la siguiente figura:



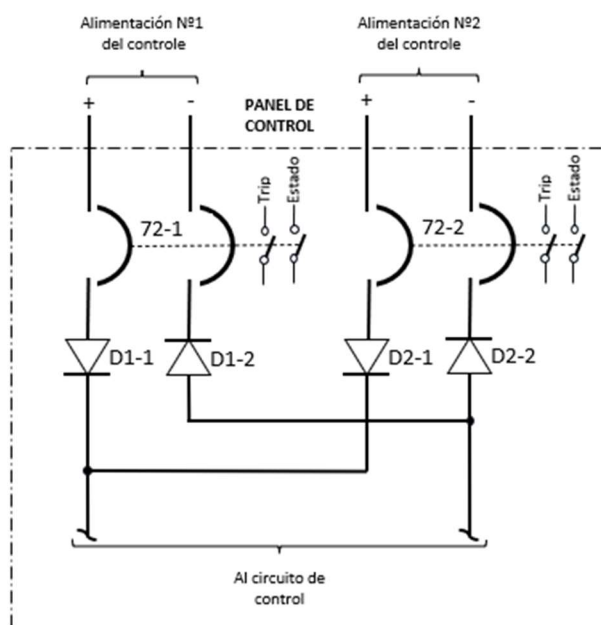
En esta configuración, el paralelismo de las fuentes se realiza en los paneles de distribución en lugar de en los paneles de control locales. Debido a que los cuadros están ubicados cerca de las cargas, las rutas desde los alimentadores hasta los circuitos de control son pequeñas y el riesgo de falla en estos alimentadores es pequeño. De esta manera, prácticamente el número de circuitos de salida de los cuadros se reduce a la mitad y se simplifican las fuentes de alimentación de los circuitos de control. Sin embargo, esta configuración se aplica a todos los circuitos que no requieren simultáneamente doble alimentación de diferentes fuentes, porque en esta configuración, aunque la alimentación viene de diferentes fuentes, el requisito de doble alimentación en el destino no es atendido. En este caso, para cargas que exijan esta condición, se debe usar la configuración con dos barras independientes.

Para garantizar la selectividad entre los dispositivos de protección, solo se utilizaban fusibles en serie con interruptores no automáticos en lugar de disyuntores, ya que el tipo de pruebas de fusibles permite garantizar esta selectividad. Para garantizar la selectividad de los circuitos que utilizan fusibles, las corrientes nominales de los fusibles adyacentes deben tener una relación igual o superior a 1,6, ya que se garantiza que el tiempo de interrupción máximo del fusible aguas abajo y menor que el tiempo mínimo de interrupción del fusible aguas arriba.

Con los recursos de disyuntores de caja moldeada, informaciones y tablas de selectividad puestas a disposición por los fabricantes, especialmente mini interruptores, es posible realizar estudios que permitan optimizar la selección de estos componentes con el grado de confianza necesario.

En el pasado, cuando la fuente de alimentación de los circuitos de control se realizaba mediante dos fuentes de corriente continua, la transferencia de las alimentaciones se realizaba a través de relés, lo que provocaba la interrupción momentánea de la alimentación durante la transferencia. Esta interrupción momentánea a veces era compensada por capacitores instalados en los circuitos de control. Actualmente, el suministro de energía de los controles se realiza a través de diodos, que mantienen el suministro de corriente continua ininterrumpida, en caso de falta de tensión de una de las fuentes.

La configuración de alimentación de los circuitos de control con doble alimentación se muestra en la siguiente figura. Esta configuración tiene implicaciones para el funcionamiento del sistema de corriente continua, con sus problemas y soluciones, que forman parte del objetivo de este informativo.

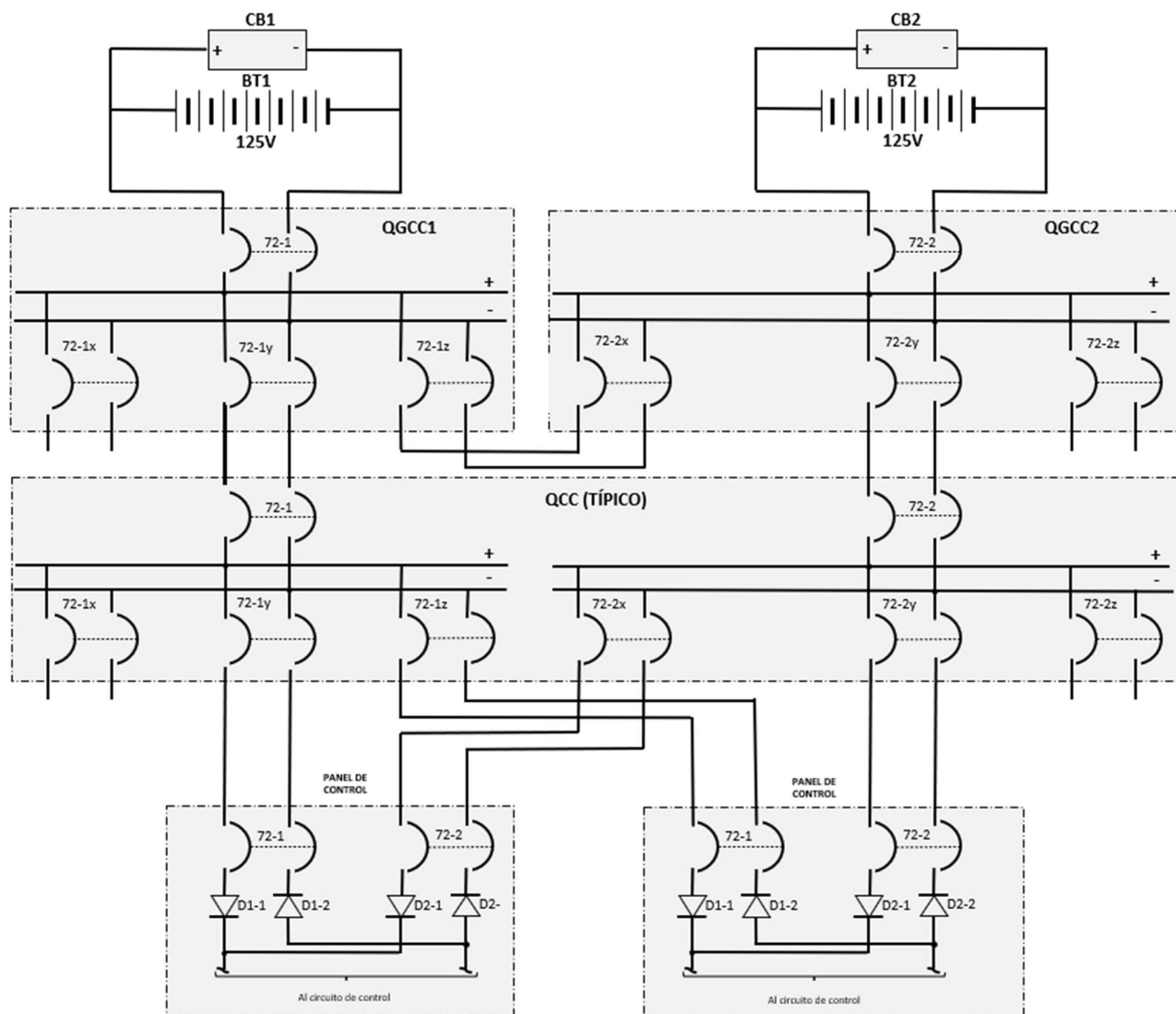


4 - ANÁLISIS DE LAS CONFIGURACIONES

El uso de diodos en circuitos de control ha traído una solución al problema de la transferencia entre fuentes de alimentación, pero también tiene implicaciones que muchas veces no son visualizadas por los usuarios y, en consecuencia, no son evaluadas o resueltas. En este informativo, el análisis de las configuraciones está más enfocado a los sistemas de 125V, pero se aplican a otras tensiones con las adaptaciones adecuadas.

4.1 - Configuración Básica

La configuración básica se muestra de manera más completa en el diagrama bifilar simplificado en la siguiente figura:

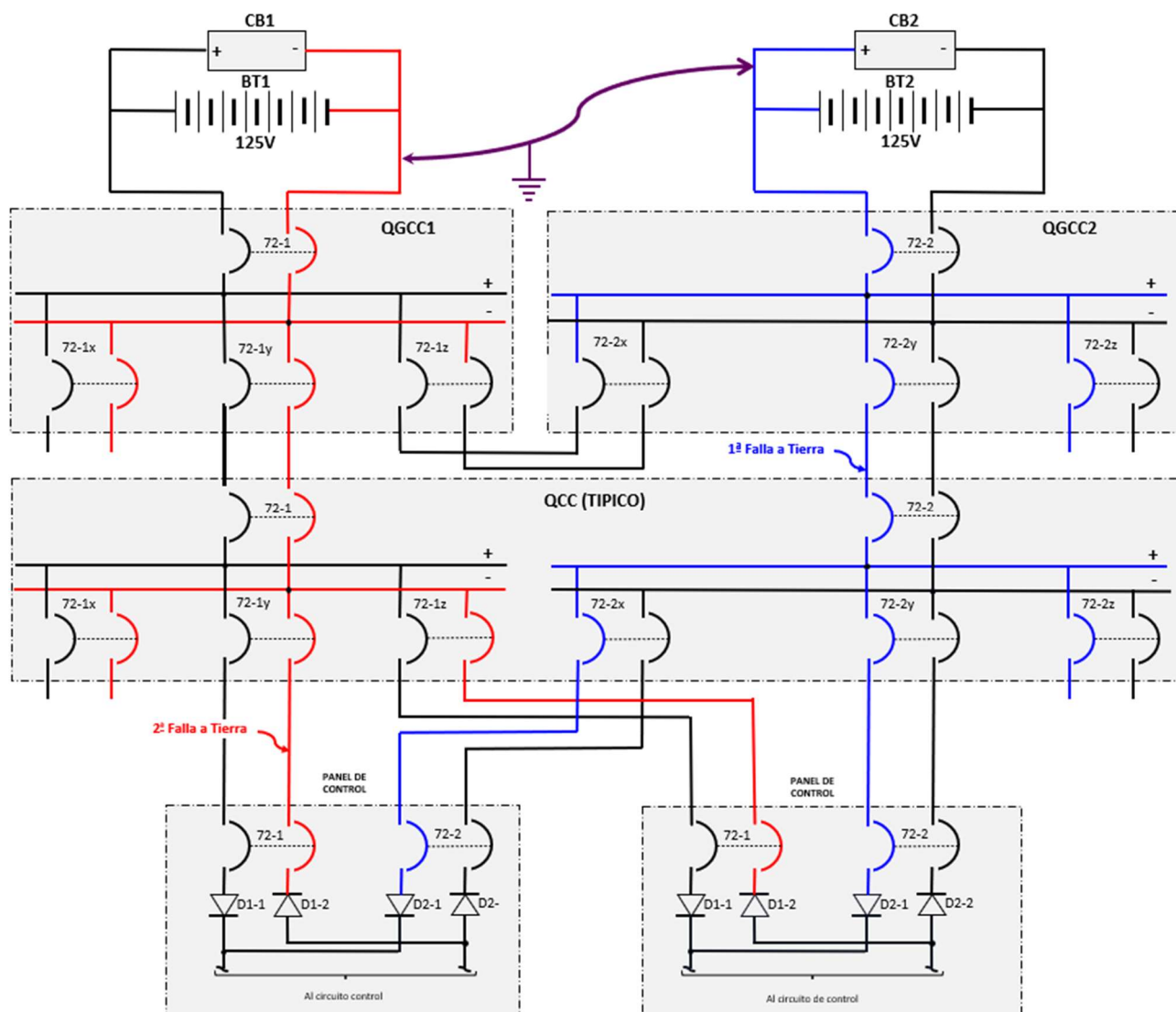


En la figura se indican los conjuntos de baterías (BT1 y BT2), los cargadores (CB1 y CB2), los paneles generales (QGCC1 y QGCC2), un panel de distribución de corriente continua típico (QCC) y dos paneles de control que contienen los circuitos alimentados con la nueva configuración.

En el diagrama no se indican todos los paneles eléctricos y solo se indican dos paneles de control, pero esta información es suficiente para analizar los problemas que pueden ocurrir en el sistema de corriente continua.

Aparentemente, la nueva configuración de la fuente de alimentación de los controles encaja perfectamente en los sistemas existentes, sin ninguna implicación. Sin embargo, si consideramos la ocurrencia de una falla a tierra, en cualquier punto del sistema de corriente continua, aguas arriba de los diodos de potencia de los circuitos de control, en el polo

positivo o negativo, y posteriormente ocurre otra falla a tierra, también aguas arriba de los diodos de potencia de los circuitos de control, en cualquier punto del sistema, pero en el polo opuesto a la primera falla, tendremos la situación indicada en la siguiente figura:



En la figura anterior se indica que la primera falla a tierra se produce en el cable del polo positivo, del alimentador del panel de distribución (QCC), procedente del panel general de corriente continua (QGCC2). De esta manera, todos los circuitos del polo positivo del sistema, alimentados por el conjunto de cargador y batería (CB2 y BT2), indicados en color azul, estarán en el mismo potencial a tierra.

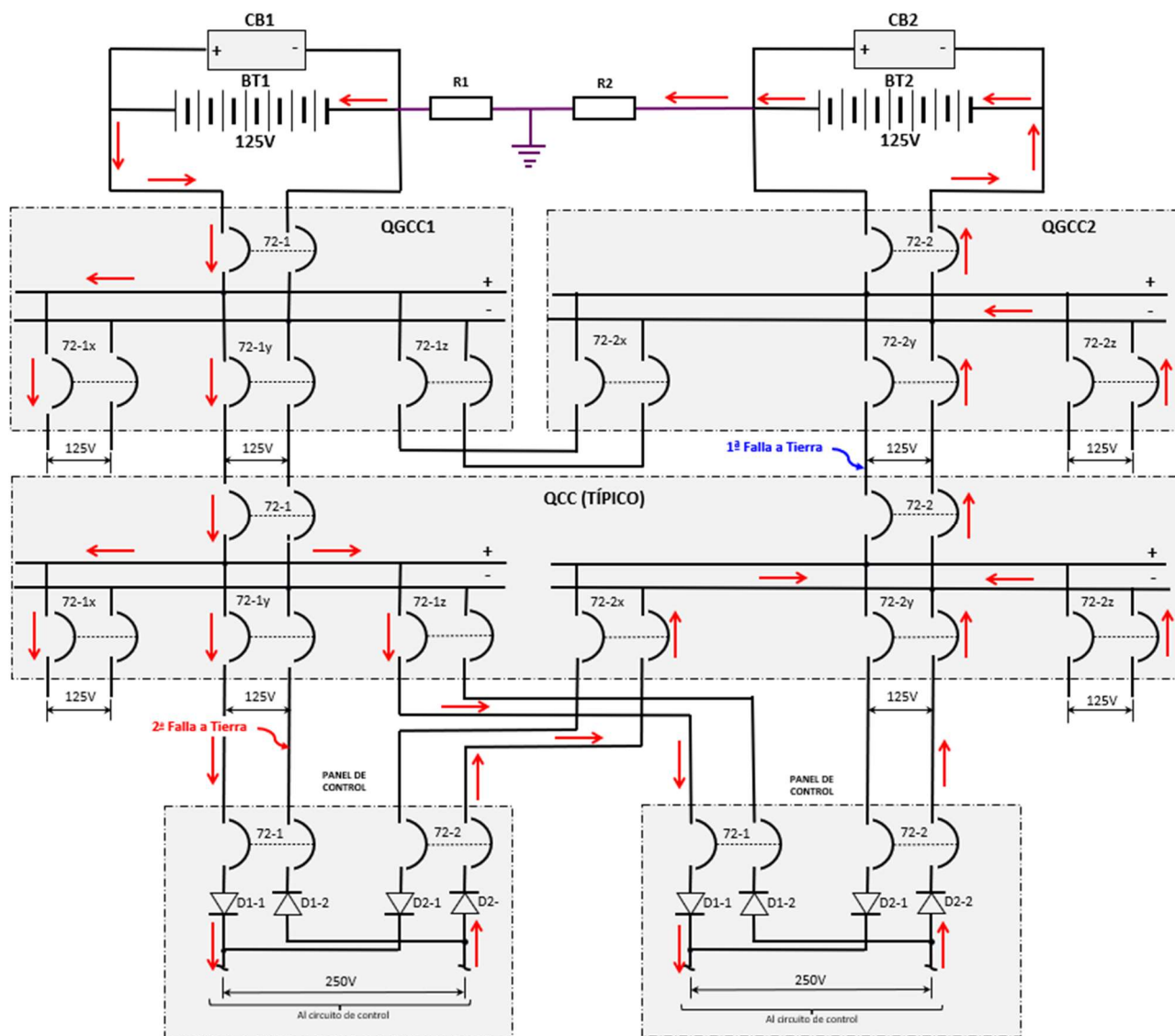
En la figura también se indica que se produce una segunda falla a tierra en el polo negativo del sistema alimentado por conjunto de cargador y batería (CB1 y BT1), esta vez en el cable de alimentación de uno de los paneles de control, aguas arriba de los diodos de los circuitos de control. De esta manera, todos los circuitos del polo negativo del sistema, alimentados por el conjunto de cargador y batería (CB1 y BT1), indicados en el color rojo, estarán en el mismo potencial a tierra.

Como los dos sistemas están originalmente aislados de la tierra, el segundo defecto a tierra será equivalente a interconectar el polo positivo del conjunto de cargador y batería (CB2 y BT2) al polo negativo del conjunto de cargador y batería (CB1 y BT1), como lo indica la conexión en color púrpura.

Dependiendo de la ubicación de los defectos, la solidez de las fallas a tierra, las resistencias de los circuitos, las corrientes involucradas, la actuación de las protecciones, y en la

situación más desfavorable, la tensión en **TODOS** los circuitos de control de la planta, con doble alimentación de los dos sistemas a través de los diodos, puede ser la suma de las tensiones de los dos sistemas.

La siguiente figura ilustra la condición extrema, con la indicación de la tensión en los alimentadores de los circuitos de control y las trayectorias de las corrientes, La interconexión de los polos, que se indicó en color púrpura, fue reemplazada por una conexión directa.

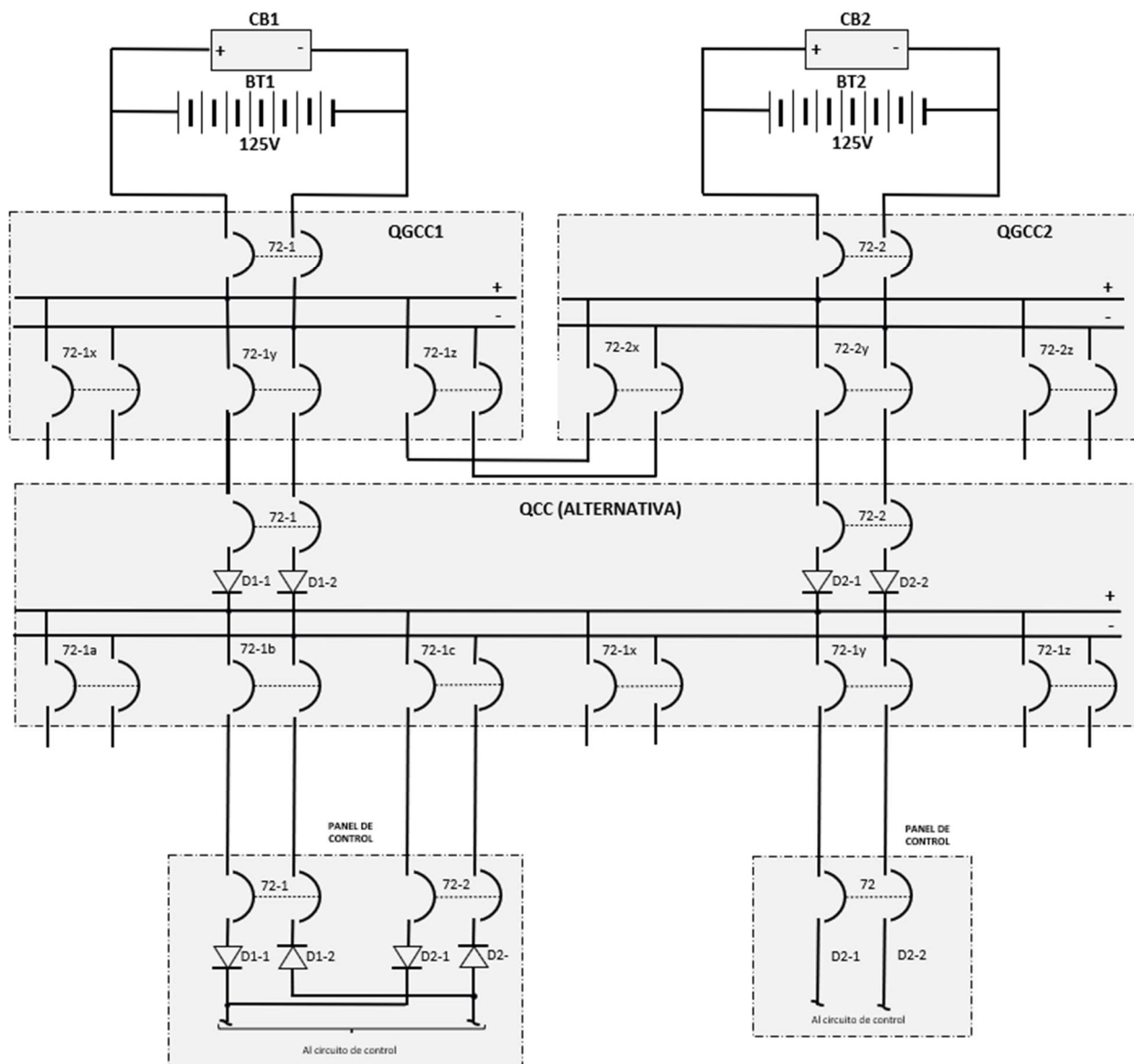


Las resistencias R1 y R2 representan las resistencias de las fallas a tierra, cuyo valor dependerá de la gravedad de la falla. En condiciones extremas, la tensión en los paneles generales (QGCC1 y QGCC2) y los paneles y circuitos de distribución representados por el QCC, será de 125V, pero en todos los paneles de control y cargas alimentadas a través de los diodos, la tensión puede alcanzar los 250V.

Por supuesto, si la primera y segunda falla ocurren en el positivo y negativo del mismo sistema, se caracteriza un cortocircuito que debe ser señalado y eliminado por las protecciones correspondientes.

4.2 - Configuración Alternativa

La configuración alternativa se muestra de forma más completa en el diagrama simplificado de la siguiente figura.

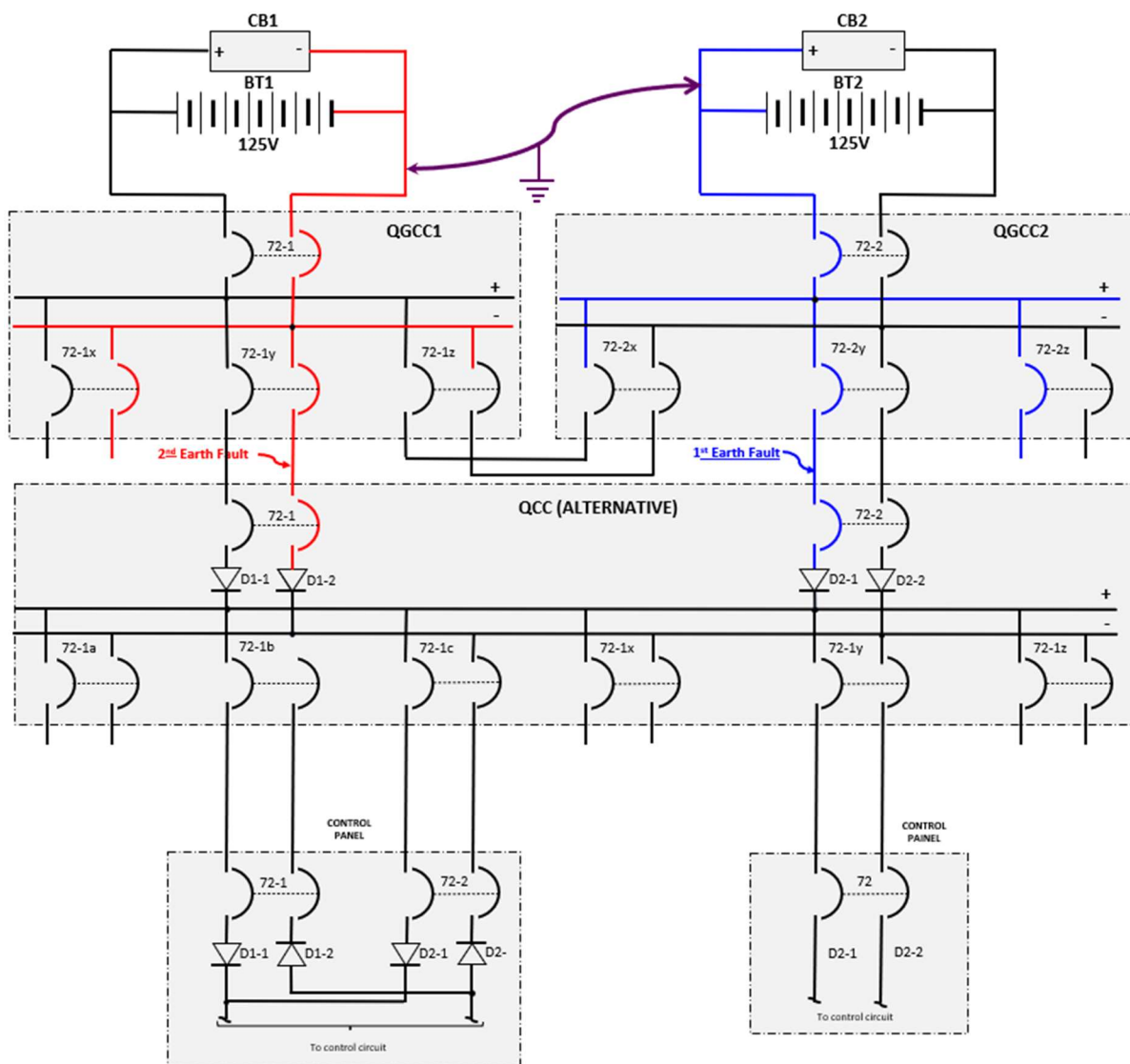


En el circuito bifilar se indican los conjuntos de baterías (BT1 y BT2), los cargadores (CB1 y CB2), los paneles generales (QGCC1 y QGCC2), un panel de distribución de corriente continua típico (QCC), un panel de control que contiene la nueva configuración con doble alimentación y un panel de control sin doble alimentación.

En esta configuración se indican dos tipos de controles locales, el primero, que considera un circuito de control con el paralelismo de las alimentaciones que se realizan en el propio panel de control, a través de los diodos, y el segundo, que no tiene doble alimentación, porque considera que la doble alimentación existe en el panel de distribución QCC, donde la transferencia de fuentes se realiza a través de los diodos instalados en el panel QCC.

El primer tipo de control tiene redundancia por falla en una de las alimentaciones, pero durante el periodo de descarga de la batería, debido a la existencia de dos diodos más en serie en el circuito, la tensión en la carga se reducirá en casi 1,5V.

Si consideramos la ocurrencia de una falla a tierra, en cualquier punto del sistema de corriente continua, aguas arriba de los diodos de potencia de los paneles eléctricos, en el polo positivo o negativo, y posteriormente ocurre otra falla en tierra, también aguas arriba de los diodos de potencia de los paneles eléctricos, en cualquier punto del sistema, sin embargo, en el polo opuesto a la primera falla, tendremos la situación indicada en la siguiente figura:



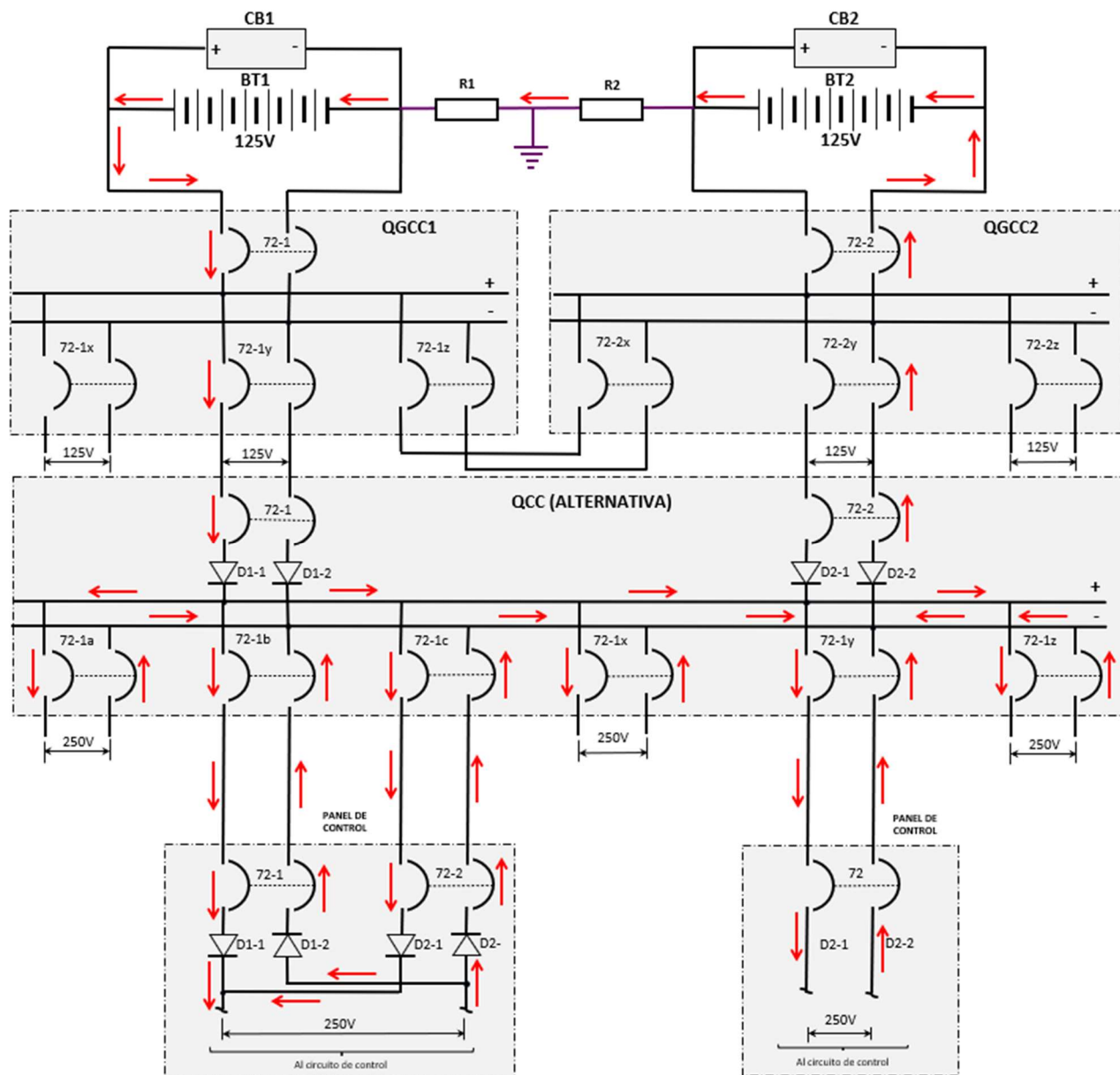
En la figura se indica que la primera falla a tierra se produce en el cable del polo positivo, del alimentador del panel de distribución (QCC), procedente del panel general de corriente continua (QGCC2). De esta manera, todos los circuitos del polo positivo del sistema, alimentados por el conjunto cargador y baterías (CB2 y BT2), indicados en color azul, estarán en el mismo potencial al suelo.

En la figura también se indica que se produce una segunda falla a tierra en el polo negativo, del alimentador de panel de distribución (QCC), procedente del panel de distribución general de corriente continua (QGCC2). De esta manera, todos los circuitos del polo negativo del sistema, alimentados por el conjunto cargador y baterías (CB1 y BT1), indicados en el color rojo, estarán en el mismo potencial a la tierra. La segunda falla a tierra podría haber ocurrido en el alimentador que en cualquier panel de distribución.

Como los dos sistemas están originalmente aislados de la tierra, la segunda falla a tierra será equivalente a interconectar el polo positivo del conjunto cargador y batería (CB2 y BT2) al polo negativo del conjunto cargador y batería (CB1 y BT1), como lo indica la conexión en color púrpura.

Dependiendo de la ubicación de los defectos, la solidez de las fallas a tierra, las resistencias de los circuitos, las corrientes involucradas, la acción de las protecciones, y en la situación más desfavorable, la tensión en **TODOS** los paneles de distribución de la planta, con doble alimentación de los dos sistemas a través de los diodos, puede ser la suma de las tensiones de los dos sistemas.

La siguiente figura ilustra la condición extrema, con la indicación de la tensión en los alimentadores de los circuito y los caminos de corriente, La interconexión de los polos, que se indicó en púrpura, fue reemplazada por una conexión directa.



Las resistencias R1 y R2 representan las resistencias de las fallas a tierra, cuyo valor dependerá de la gravedad de la falla. En condiciones extremas, la tensión en los paneles generales (QGCC1 y QGCC2) será de 125V, pero en todos los paneles de distribución y sus cargas puede alcanzar los 250V.

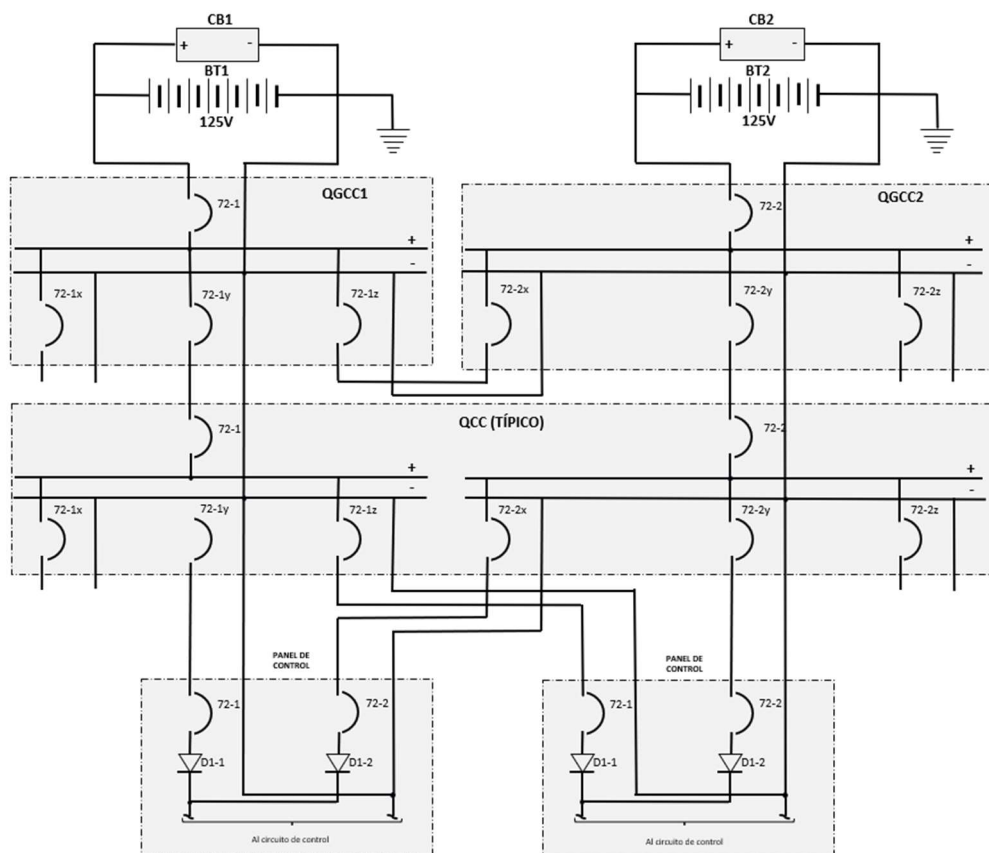
Por supuesto, si la primera y segunda fallas ocurren en el positivo y negativo del mismo sistema, se caracteriza un cortocircuito que debe ser señalado y eliminado por las protecciones correspondientes.

4.3 - Soluciones para Evitar Sobretensiones

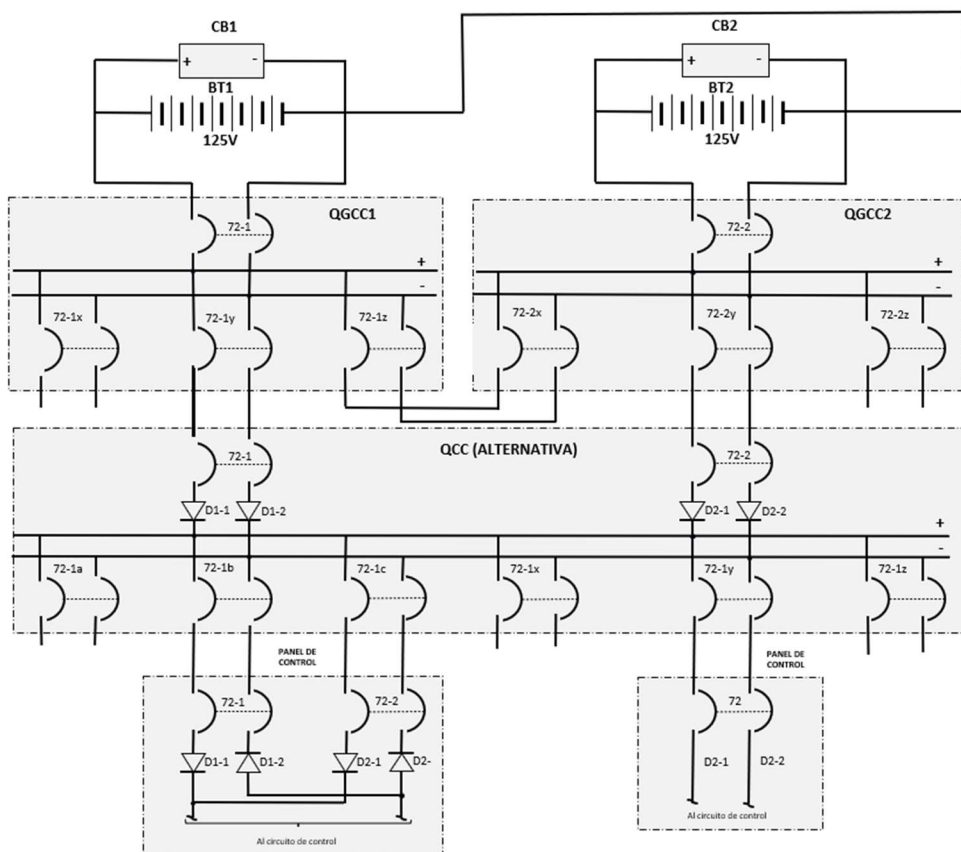
Existen dos soluciones para evitar las sobretensiones que se pueden producir en los sistemas de corriente continua, provocadas por el uso de diodos en las instalaciones.

La primera solución es conectar a tierra uno de los polos de las dos fuentes de corriente continua, sin embargo, el sistema perderá en confiabilidad, una de sus características importantes, que es la posibilidad de seguir operando cuando uno de los polos del sistema vaya a tierra.

El siguiente es el diagrama bifilar de la configuración básica considerada (paralelismo en los paneles de control locales):



El siguiente es el diagrama bifilar de la configuración alternativa (paralelismo en los paneles de distribución de corriente continua):

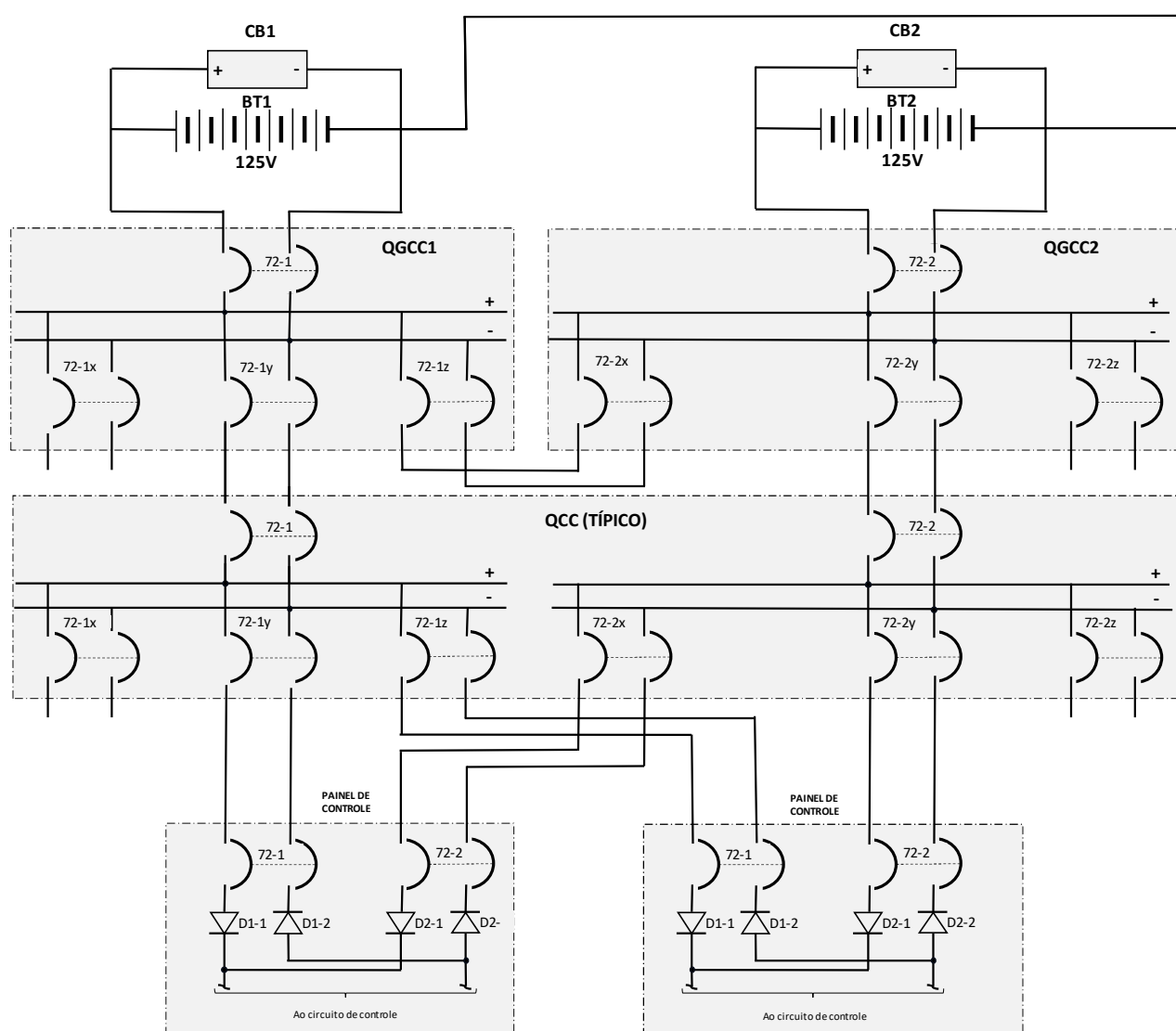


En esta solución, cualquier defecto a tierra hará que el circuito defectuoso sea interrumpido. Si se adopta esta solución, no es necesario que los disyuntores sean bipolares, ya que el sistema está conectado a tierra.

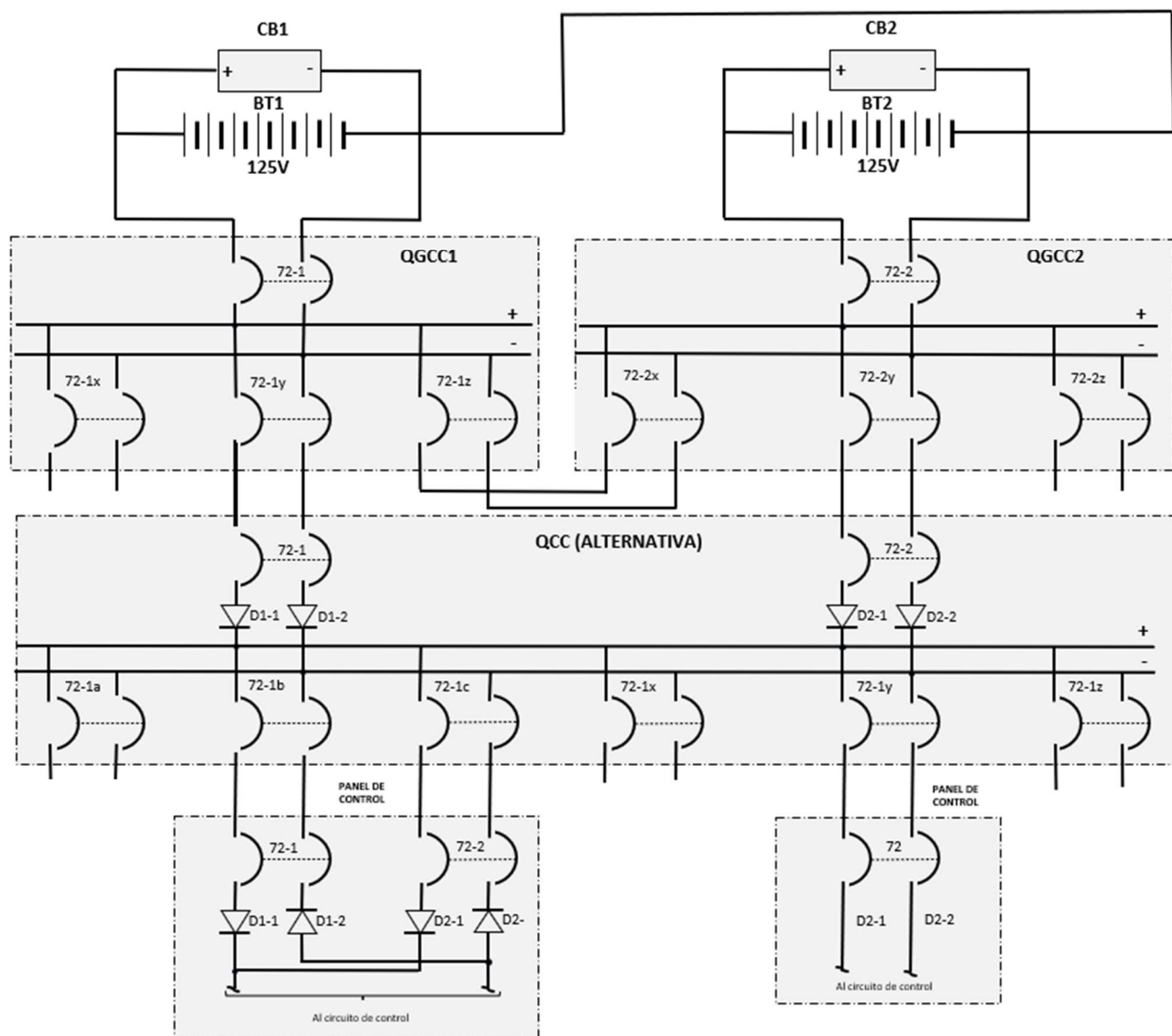
La segunda solución es interconectar uno de los polos del mismo nombre de los dos sistemas, es decir, interconectar los polos positivos o negativos de los conjuntos de cargadores y baterías. Esta conexión debe realizarse en la fuente, es decir, en los conjuntos de cargadores y baterías para garantizar que no se interrumpa. Esta solución se recomienda porque evita los problemas de sobretensión mostrados en los puntos anteriores y mantiene las ventajas de los sistemas aislados.

En esta solución, en caso de un defecto en uno de los polos, el sistema seguirá funcionando.

Esta solución para la configuración básica, interconectando los polos negativos de los conjuntos de cargadores y baterías, se representa en el diagrama bifilar de la siguiente figura:



Esta solución para la configuración alternativa, interconectando los polos negativos de los conjuntos de cargadores y baterías, se representa en el diagrama bifilar de la siguiente figura:



4.4 - Evaluación de las Soluciones

El riesgo de sobretensión en el sistema de CC, debido al uso de diodos para transferir las fuentes de alimentación de los circuitos, debe ser realizado por el usuario. El problema es que, la mayoría de las veces, el usuario no es consciente del riesgo y, por esta razón, no toma ninguna medida.

Como se vio anteriormente, la sobretensión ocurrirá si el segundo defecto ocurre en la tierra y este defecto ocurre en el polo opuesto de la otra fuente, es decir, si el primer defecto ocurre en el polo positivo de una fuente y el segundo defecto ocurre en el polo negativo de la otra fuente. El valor de la sobretensión dependerá de la solidez del defecto, las resistencias de los circuitos y las corrientes de las cargas. Debido a que las corrientes de carga generalmente no son altas, incluso si las conexiones a tierra son débiles, los puntos de falla pueden causar sobretensiones en todos los circuitos de control en la planta o instalación. Las sobretensiones, aunque no alcancen niveles hasta el punto de duplicar la tensión del sistema, provocarán la quema de los componentes de algunos circuitos y, a medida que se produzcan las quemaduras, las corrientes de las cargas disminuirán, facilitando la circulación de las corrientes, con el consiguiente aumento de la tensión en las instalaciones. Dado que este riesgo se puede resolver de una manera relativamente simple, uno no debe tomar estos riesgos.

Con el paso de los años, las instalaciones se vuelven más propensas a defectos y las fallas a tierra se vuelven más frecuentes. Por esta razón se debe adoptar una de las soluciones para evitar sobretensiones.

La puesta a tierra de los sistemas o la interconexión de los polos del sistema es necesaria para evitar el riesgo de sobretensiones en todas las cargas de la instalación, ya que los valores de las sobretensiones y sus consecuencias son impredecibles.

La solución de interconexión de los polos está más indicada, porque el sistema mantiene las características del sistema con los dos polos aislados de la tierra y, si se produce un segundo defecto, no se producirán problemas de sobretensión. Por este motivo, a partir de este momento, solo se analizará la configuración del sistema con polos interconectados.

La solución alternativa es más económica, porque el paralelismo de las fuentes se realiza en los paneles de distribución y, de ellos, solo sale una alimentación para cada circuito de control. En caso de cualquier exigencia, se pueden realizar dos alimentaciones, pero se debe adoptar la misma configuración de la solución básica en el destino para que, en caso de defecto en uno de los alimentadores, el otro pueda continuar funcionando normalmente.

La solución básica recomendada es la más confiable en términos de alimentación, ya que los alimentadores se duplican hasta el destino, donde se realiza el paralelismo de las fuentes.

5 - INSTALACIONES Y EQUIPOS - GENERALIDADES

Debido a que no se trata de especificaciones o manuales de equipos, y aunque no es el propósito específico de este informativo, se harán algunas consideraciones sobre las instalaciones y equipos de CC.

5.1 - Protecciones y Selectividad

Debido a los diferentes niveles de protección, puede ser difícil garantizar la selectividad entre todas las protecciones.

5.1.1 - Protección de los Diodos

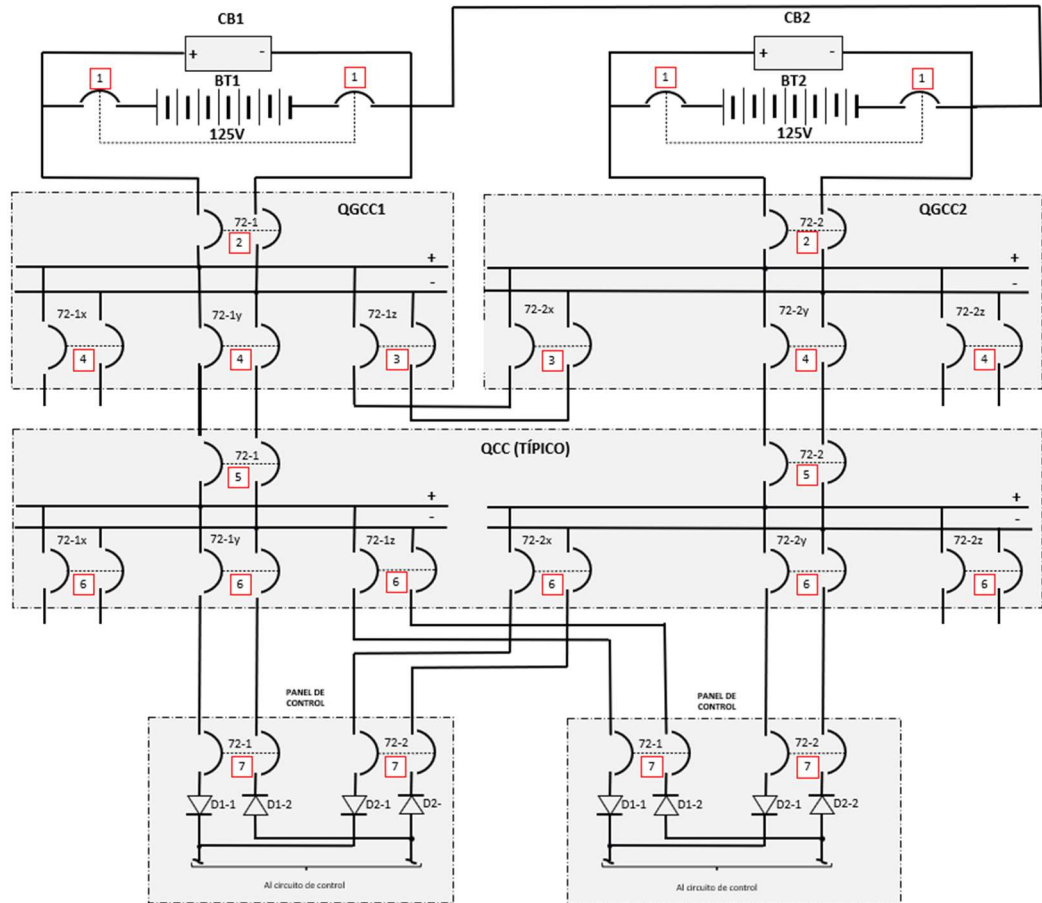
La protección de todos los diodos de la instalación debe estar garantizada por los dispositivos (fusibles o disyuntores), de modo que la energía que pasa a través del dispositivo de protección sea siempre inferior a la energía de paso soportada por el diodo protegido. Esta garantía es importante para asegurar que, en caso de defecto en el circuito de control, los dispositivos de protección actúen sin dañar los diodos. La corriente nominal de los diodos también debe ser compatible con los circuitos suministrados.

5.1.2 - Selectividad de las Protecciones

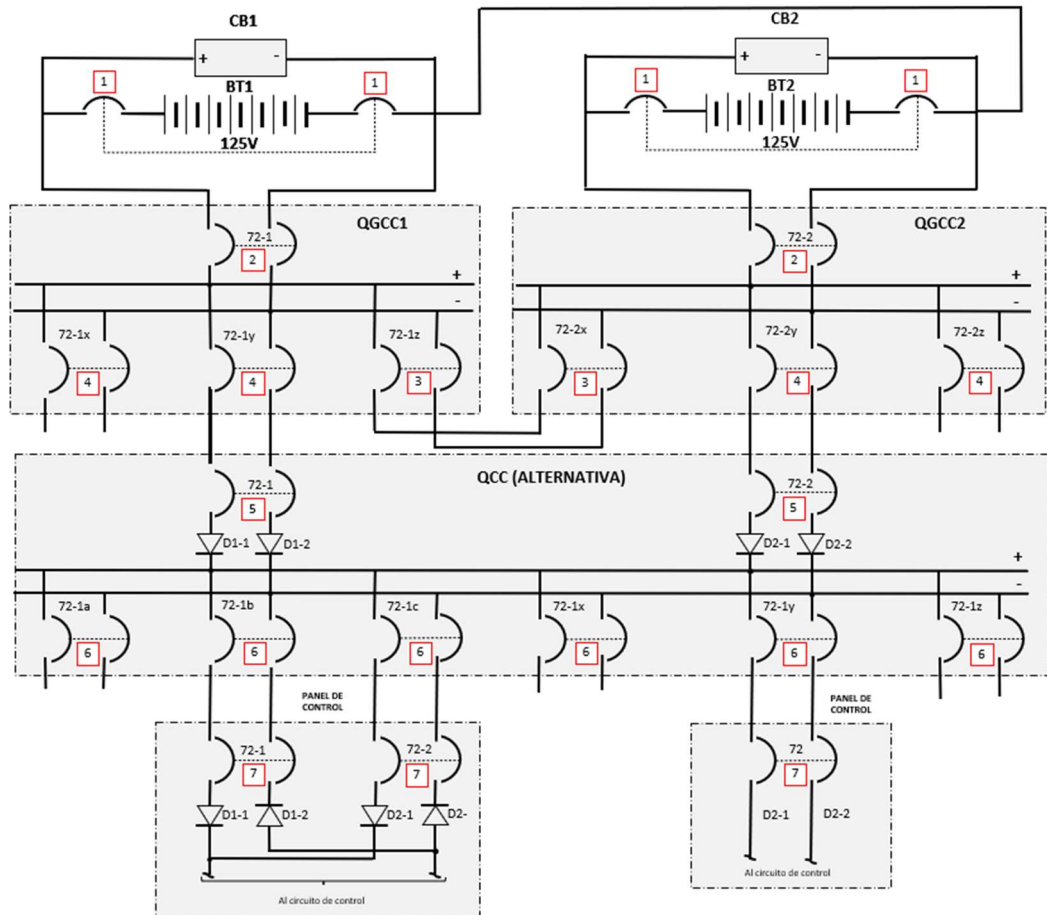
La coordinación y selectividad de las protecciones de los circuitos implicados es una actividad que debe ser bien estudiada para asegurar la continuidad del funcionamiento del sistema de corriente continua y, en consecuencia, de la instalación. Se deben utilizar todos los recursos disponibles, entre los que mencionamos la gran cantidad de informaciones proporcionada por los fabricantes de mini disyuntores, disyuntores de caja moldeada y, si es necesario, combinados con fusibles. Los cálculos de las corrientes de cortocircuito, máximas y mínimas en todos los puntos también deben servir de subvención para definir las protecciones y su integración y, con estas informaciones, definir el tipo de coordinación más adecuado. La selectividad entre todas las protecciones de una instalación siempre debe ser el objetivo de cualquier estudio.

En los siguientes diagramas se indican números, junto a las protecciones, que indican el nivel de selectividad de la protección. Diferentes números indican selectividad entre protecciones; Los mismos números indican el mismo nivel de selectividad.

El siguiente diagrama indica la selectividad en todos los niveles de la configuración básica, es decir, la mejor de las posibilidades:



El siguiente diagrama indica selectividad en todos los niveles de la configuración alternativa:

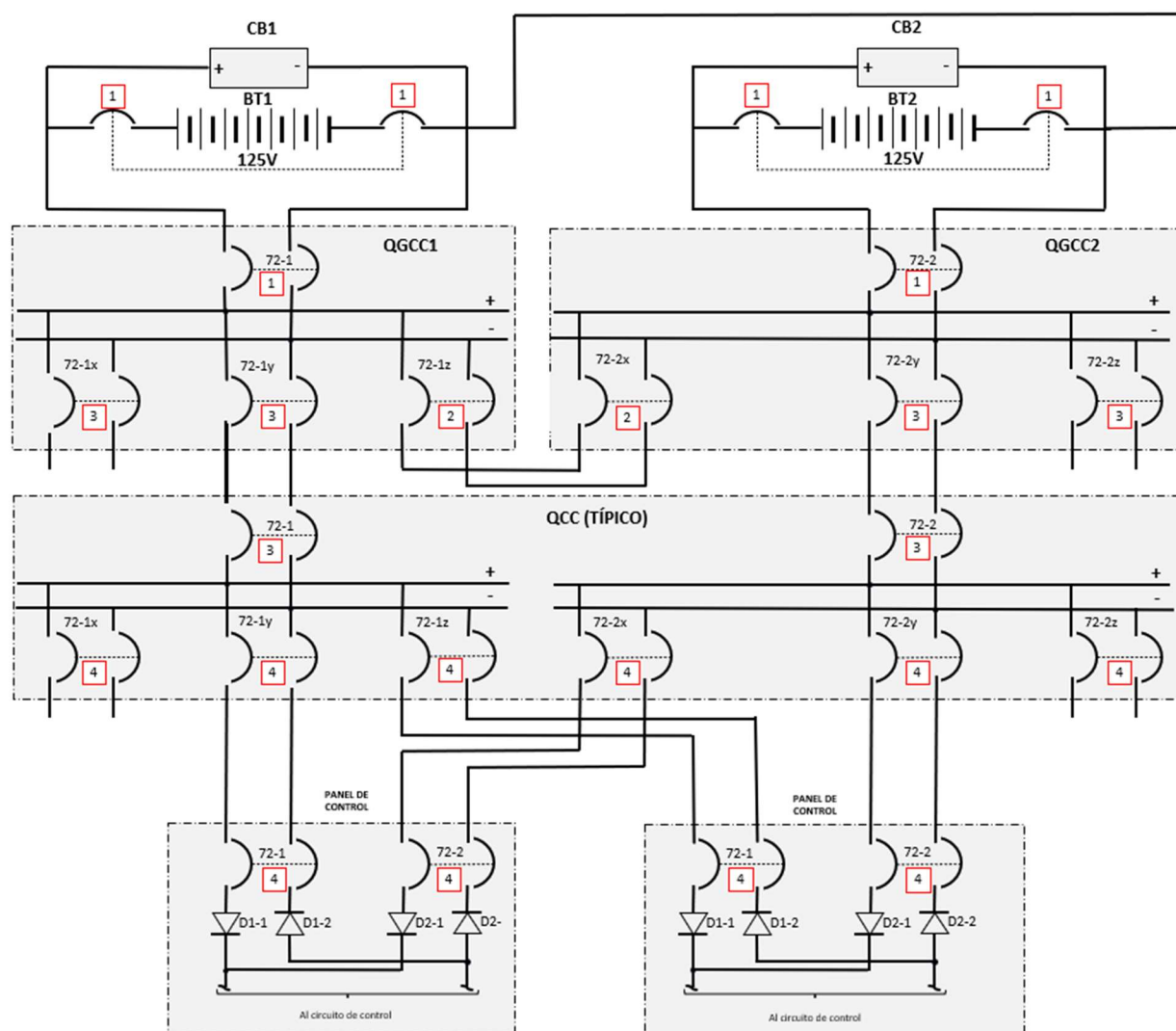


Las protecciones de los circuitos de control local (Panel de Control), con mayor frecuencia, son definidas por los proveedores del equipo y, por esta razón, puede ser difícil estandarizar sus características. Sin embargo, siempre que sea posible, se debe buscar optimizar su integración en el sistema de la planta.

Los diodos de los paneles eléctricos y los circuitos de control tienen la función de garantizar la continuidad del suministro de las cargas cuando falta una de las fuentes, lo que ocurre incluso durante un defecto. Cuando se produce un defecto en cualquier punto aguas abajo de los diodos, las protecciones involucradas actuarán.

Como no siempre es posible obtener la selectividad total de un sistema, es necesario establecer prioridades para asegurar la continuidad del funcionamiento de la instalación. Los siguientes diagramas indican un nivel mínimo de selectividad entre protecciones.

El siguiente diagrama indica la selectividad mínima de la configuración básica:



Se puede destacar la selectividad entre la protección de la batería (1) y la entrada del panel general QGCC (1). Si se produce un defecto en la barra del QGCC, las protecciones de entrada del panel y de la batería deben actuar y la falta de selectividad no cambiará las condiciones de funcionamiento de la instalación. Si se produce un defecto en el alimentador QGCC, solo debe actuar la protección de la batería. El cargador de batería tiene su propia protección que no necesita hacer parte de este estudio.

Si los paneles generales QGCC1 y 2 están interconectados, las protecciones de los circuitos de interconexión pueden tener el mismo nivel de selectividad (2). En caso de defecto en la barra del panel alimentado, funcionará la protección de interconexión, pero en

caso de defecto en una de las salidas del panel general alimentado, solo se aislará el circuito defectuoso y el resto de la instalación seguirá funcionando con normalidad.

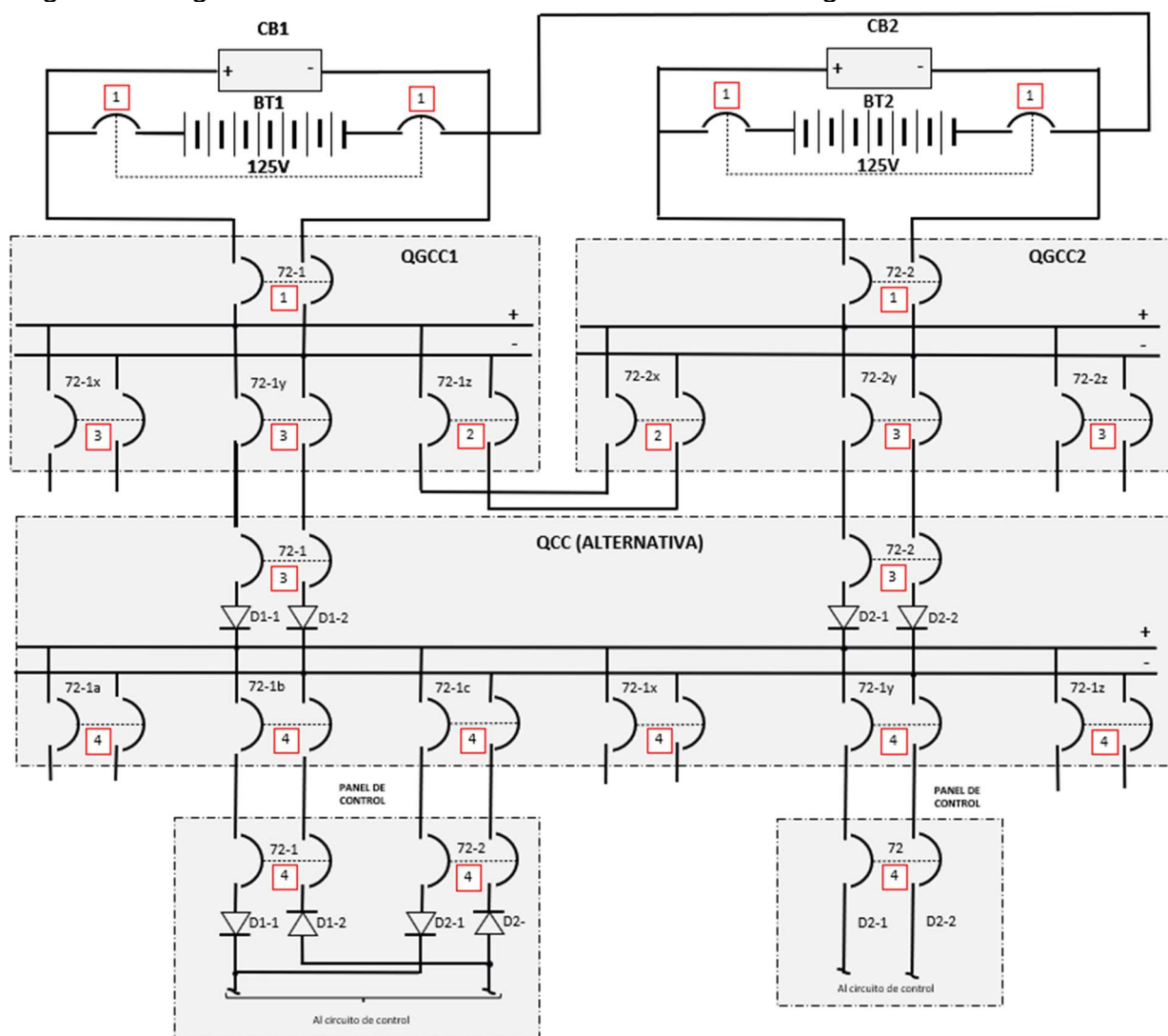
Debe garantizarse la selectividad entre la protección de la entrada del panel general QGCC (1) y las protecciones de los circuitos de salida (3), ya que, si se produce un defecto en cualquier salida, las otras salidas pueden seguir funcionando normalmente.

Se puede destacar la selectividad entre las protecciones de las salidas del QGCC (3) y las entradas de los paneles de distribución del QCC (3), ya que, si se produce un defecto en la barra de uno de los paneles de distribución del QCC, ambas protecciones deben operar; si el defecto se produce en el alimentador del cuadro de distribución QCC, sólo funcionará la protección de salida del panel general QGCC.

Debe garantizarse la selectividad entre la protección de la entrada del cuadro de distribución QCC (3) y las protecciones de los circuitos de salida (4), ya que, si se produce un defecto en cualquier salida, las otras salidas pueden seguir funcionando normalmente.

Se puede destacar la selectividad entre las protecciones de las salidas del panel de distribución QCC (4) y las entradas de los paneles de control (4), ya que, si se produce un defecto en el circuito del panel de control, las dos protecciones deben actuar; si el defecto ocurre en el alimentador del panel de control, solo debe funcionar la protección de salida del panel QCC. Tenga en cuenta que, si se produce un defecto en el circuito del panel de control, las protecciones de las dos fuentes de alimentación funcionarán, porque el circuito de control defectuoso será alimentado por la otra fuente, en ausencia de la primera.

El siguiente diagrama indica la selectividad mínima de la configuración alternativa:



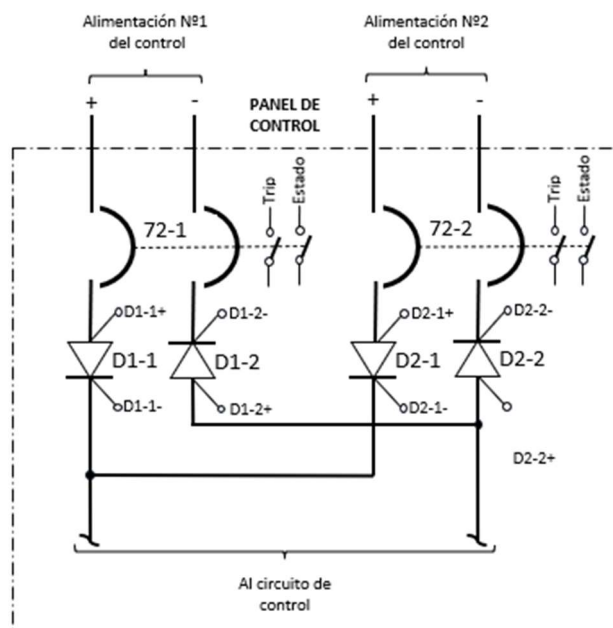
5.2 - Localización de Falla a Tierra

La localización de fallas a tierra en circuitos de corriente continua no es una tarea sencilla de realizar, pues siempre conlleva riesgos de interrupción del suministro eléctrico de algún circuito, lo que puede comprometer la continuidad del funcionamiento de los sistemas e incluso de la instalación. Sin embargo, como existen instrumentos que permiten localizar los puntos defectuosos de un circuito, este informativo se limitará a analizar algunas alternativas y medidas de seguridad para interrumpir los circuitos alimentadores de corriente continua.

En la configuración básica del sistema de corriente continua, con la interconexión de los polos positivos o negativos, los circuitos hasta la carga, donde se realiza el paralelismo entre las fuentes, están más sujetos a defectos a tierra que la configuración alternativa, porque tiene, prácticamente, el doble de circuitos de alimentadores de cargas que la configuración alternativa, donde el paralelismo de fuentes se realiza en los paneles de distribución.

La interrupción de alimentadores en los paneles de control, con doble alimentación, también es una operación que debe hacerse con precaución, ya que existen riesgos de interrupción de la alimentación. Algunos de estos riesgos se describirán más adelante.

El siguiente circuito es la configuración básica de una alimentación de circuito de control de corriente continua, donde se introdujeron terminales para realizar mediciones en los diodos. El acceso a los diodos, a través de terminales, para permitir mediciones facilita los servicios de mantenimiento y evaluación del estado de los circuitos:

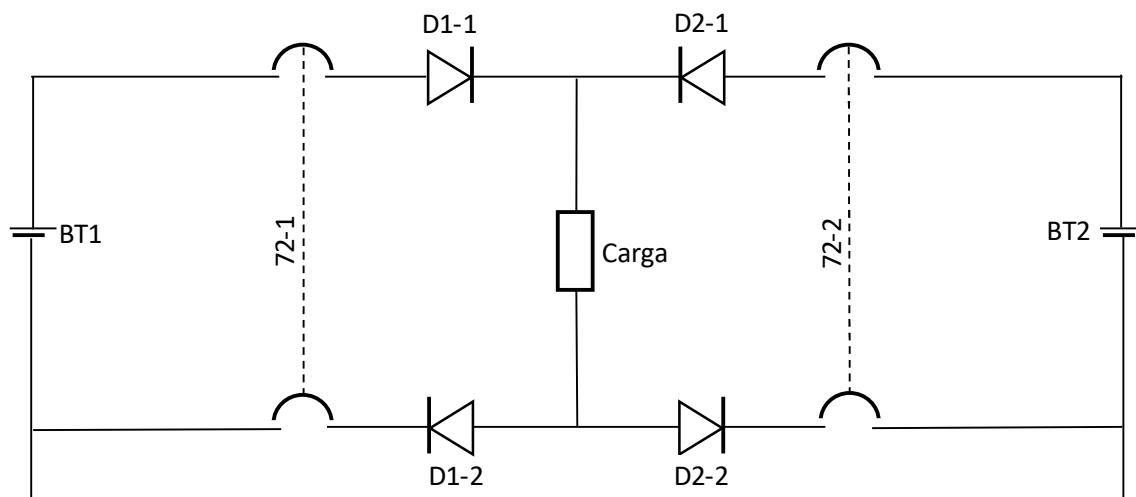


Independientemente de si es necesario desconectar una de las fuentes de alimentación de un circuito de control y mantenerla alimentada por la otra fuente, la verificación del estado de los diodos debe hacerse de forma rutinaria, ya que, si están en problemas, desconectar una de las fuentes puede interrumpir la alimentación del circuito. Como los diodos pueden estar abiertos o en cortocircuito, las comprobaciones deben prever estas posibilidades. Cuando el circuito está en mantenimiento, estas comprobaciones se pueden hacer fácilmente, sin embargo, si el circuito está funcionando, cualquier desconexión debe hacerse con todas las precauciones.

Los circuitos de control que son alimentados por dos fuentes de corriente continua, a través de diodos, pueden tener una de sus alimentaciones interrumpidas, siempre que los diodos no tengan defectos porque, inadvertidamente, puede causar una falta de tensión en el

circuito. Por ejemplo, si uno de los diodos de una entrada está abierto y la otra entrada de alimentación es desconectada, se interrumpirá el suministro de corriente continua del circuito. Por lo tanto, antes de interrumpir cualquier fuente de alimentación es necesario asegurarse de que los diodos de las entradas estén operativos.

El siguiente diagrama representa, simplificado, el circuito eléctrico de alimentación del control de un sistema de corriente continua con negativos interconectados (si son los positivos interconectados la situación será la misma):



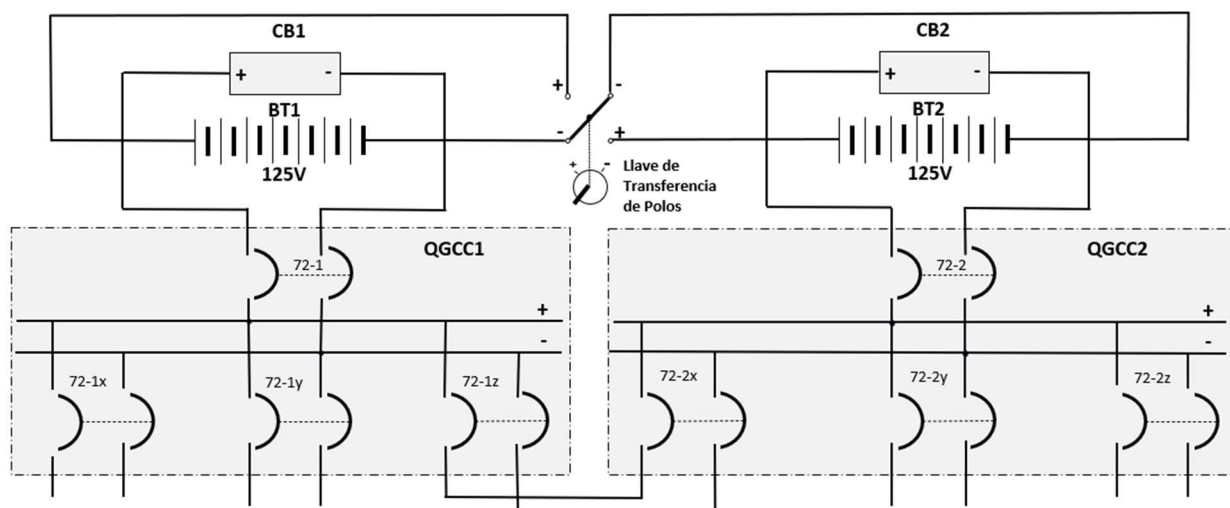
La tensión en los diodos que alimentan el circuito de control debe ser de aproximadamente 0.7V. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, como las rutas y los circuitos de alimentación deben ser prácticamente idénticos, si el circuito de control se alimenta a través del diodo D1-1 o D2-1, el retorno puede no ser por el diodo D1-2 o D2-2, respectivamente. Así, por ejemplo, si las dos alimentaciones están conectadas, si la alimentación está siendo hecha por el diodo D1-1, si el diodo D1-2 está abierto, el retorno de la alimentación necesariamente ocurrirá por el diodo D2-2. Por lo tanto, si en estas condiciones el disyuntor 72-2 se abre para que la alimentación se haga por el disyuntor 72-1, la alimentación del circuito de control se interrumpirá. Se deben medir las tensiones de los diodos y, en la situación mencionada, los diodos D2-1 y D2-2 deben indicar el voltaje de 0.7V.

La tensión en la entrada de la alimentación de control, antes de los diodos, debe ser aproximadamente 1.4V más alta que la tensión del circuito de control.

Si todos los diodos están funcionando correctamente y ocurre que la alimentación está siendo realizada por el diodo D1-1 y el retorno por el diodo D2-2, y si abre el disyuntor 72-2, el retorno de la alimentación se realizará automáticamente por el diodo D1-2, sin causar ninguna interrupción en la fuente de alimentación del control.

En el caso del uso de la configuración del sistema de corriente continua, con la interconexión de uno de los polos del mismo nombre, en caso de defecto a tierra en el circuito de polos interconectados, los sensores a tierra de los dos sistemas acusarán el defecto. Si el defecto de tierra ocurre en un circuito de polo no interconectado, solo el sistema en el que ocurrió la falla informará el defecto.

Para ayudar a localizar la falla a tierra, se puede usar un interruptor u otro dispositivo para invertir los polos interconectados y, de esta manera, si la falla a tierra ocurre en un circuito del polo interconectado y los sensores de tierra de los dos sistemas señalan el defecto, a través del interruptor se puede realizar la transferencia de la interconexión de polos. Es decir, en lugar de mantener los polos negativo o positivo de los dos sistemas interconectados, los polos positivo o negativo están interconectados, respectivamente, y las señalizaciones solo acusarán el defecto en el sistema afectado.



Al realizar esta transferencia de polos hay que tener cuidado, ya que, si se han producido dos defectos a tierra, uno en cada sistema y en polos diferentes, al interrumpir la interconexión, para llevar a cabo la transferencia de polos interconectados, puede darse la situación que provoca la sobretensión que se quiere evitar.

La probabilidad de que se produzca una sobretensión en la configuración alternativa es mucho menor, porque la cantidad y calidad de los circuitos sujetos a causar este problema son pocos y se reducen a los alimentadores de los paneles eléctricos.

5.3 - Baterías

Las siguientes son algunas consideraciones sobre las baterías que normalmente se utilizan en las centrales hidroeléctricas.

5.3.1 - Tipo

La evolución de las baterías selladas es innegable y su uso está consolidado, ya que tienen la misma fiabilidad, duración y garantías que ofrecían las baterías ventiladas, y las necesidades de mantenimiento y funcionamiento de las baterías selladas son mucho menores. Sin embargo, como muchas instalaciones todavía tienen baterías ventiladas, este tipo también se considerará en algunas evaluaciones.

Para nuevas instalaciones y reemplazo de baterías existentes, se debe considerar preferido el uso de baterías selladas.

5.3.2 - Capacidad Nominal

El cálculo de la capacidad de las baterías depende de la información de las cargas y las condiciones de funcionamiento consideradas. Las cargas momentáneas, que duran hasta 1 minuto, se ven afectadas por la caída de voltaje, pero no son determinantes para la definición de la capacidad de la batería. Las cargas permanentes y de corta duración son las que definen la capacidad de la batería. Por lo tanto, los valores reales de consumo y las condiciones de funcionamiento son la información más importante que se debe obtener.

Con frecuencia, los responsables de definir los consumos, por comodidad, informan los valores de las potencias de las fuentes de los circuitos de control como los valores del consumo de las cargas. Como las potencias de las fuentes suelen tener potencias muy superiores al consumo de las cargas, la capacidad nominal de las baterías acaba siendo muy superior a la necesaria. Por lo tanto, es necesario estar al tanto de esta información. Por ejemplo, la corriente de todas las cargas de corriente continua de una unidad generadora, excluyendo cualquier motor en corriente continua, con tensión nominal de 125V, es del orden de 10 a 15A.

La capacidad nominal de las baterías es definida para una tensión final de descarga, tiempo de descarga y temperatura del electrolito. Los fabricantes proporcionan los datos necesarios para dimensionar correctamente las baterías en función de otros valores de corrientes de descarga, voltaje final por elemento y electrolito o temperatura ambiente. Por lo tanto, es importante conocer esta información para evitar conceptos erróneos al elegir la batería correcta.

En las centrales hidroeléctricas, donde normalmente se utiliza la recomendación IEEE Std 485, la capacidad nominal de las baterías se define en Amperios-hora, referidos a un tiempo de descarga de 10 horas, temperatura del electrolito de 25°C y tensión final de descarga de 1,75V/elemento.

5.3.3 - Número de Elementos

El número de elementos de una batería se define a menudo, como 60 elementos para sistemas nominales de 125V. En las memorias de cálculo siempre asumen que las baterías tendrán 60 elementos, que es un número casi consagrado de elementos, y encuentran una manera de llegar a ese número. Por ejemplo, un sistema de corriente continua definido a la tensión nominal de 125V (+10%, -20%), es decir, entre 100 y 137,5V y, arbitrando una caída de tensión de 5V de la batería a la carga, la tensión de la batería al final de la descarga debe ser de 105V. Como las capacidades nominales de las baterías se establecen en una descarga de 10 horas. con una tensión de descarga final de 1.75V por elemento, se considera que el número de elementos debe ser, el número mágico, 60:

$$\text{Numero de elementos} = \frac{105}{1,75} = 60$$

Cuando la batería entra en modo de descarga, en poco tiempo la tensión los elementos cae de la tensión de fluctuación a la tensión nominal de 2V/elemento. Si la tensión final de descarga de la batería se arbitra a 105V, para permitir una caída de voltaje de 5V, desde la batería hasta el consumidor, la tensión inicial de la batería, cuando comienza el ciclo de descarga, dependerá del número de elementos.

Si consideramos situaciones extremas y absurdas, como limitar la tensión del sistema a 137.5V y la tensión final de descarga en 105V, el número de elementos sería:

$$\text{Numero Máximo de elementos} = \frac{137,5}{2,0} = 68$$

$$\text{Numero Mínimo de elementos} = \frac{105}{2,0} = 53$$

Con el número máximo de elementos las tensiones de fluctuación, ecualización y carga profunda serían extremadamente altos y, con el número mínimo, la batería en pocos minutos de funcionamiento estaría con la tensión final de descarga. Por lo tanto, la elección del número de elementos debe cumplir con criterios que se considerarán más adelante.

5.3.3.1. Número de Elementos de las Baterías Ventiladas

Cuando se utilizan baterías ventiladas de 2V/elemento, la tensión de fluctuación es de aproximadamente 2.2V/elemento, de ecualización 2.4V/elemento pudiendo alcanzar 2.8V/elemento para carga profunda.

Para que se respete la tensión máxima del sistema (137,5V), el número máximo de elementos para cada situación será:

$$\text{Numero Máximo de elementos (fluctuación)} = \frac{137,5}{2,2} = 62$$

$$\text{Numero Máximo de elementos (equalización)} = \frac{137,5}{2,4} = 57$$

$$\text{Numero Máximo de elementos (carga profunda)} = \frac{137,5}{2,8} = 49$$

Dado que el número mínimo de elementos debe ser 53, debe descartarse la alternativa de 49 elementos.

Con el número de 57 elementos, la tensión de fluctuación será $57 \times 2,2 = 125,4V$ y la tensión de equalización será $57 \times 2,4 = 136,8V$.

Con el número de 62 elementos, la tensión de fluctuación será $62 \times 2,2 = 136,4V$ y la tensión de equalización será $62 \times 2,4 = 148,8V$.

La solución que adoptar debe ser utilizar una batería con 57 elementos, porque el sistema de corriente continua funcionará la mayor parte del tiempo, lo que ocurre con la batería en fluctuación, con la tensión de 125.4V, muy cerca la tensión nominal de 125V.

5.3.3.2. Número de Elementos de las Baterías Selladas

Cuando se utilizan baterías selladas de 2V/elemento, la tensión de fluctuación es de aproximadamente 2.25V/elemento y la tensión de equalización puede alcanzar 2.35V/elemento.

Para que se respete la tensión máxima del sistema (137,5V), el número máximo de elementos para cada situación será:

$$\text{Numero Máximo de elementos (fluctuación)} = \frac{137,5}{2,25} = 61$$

$$\text{Numero Máximo de elementos (equalización)} = \frac{137,5}{2,35} = 58$$

Ambas soluciones cumplen con el número mínimo y máximo de elementos de la batería.

Con el número de 58 elementos, la tensión de fluctuación será $58 \times 2,25 = 130,5V$ y la tensión de equalización será $58 \times 2,35 = 136,3V$.

Si adoptamos la solución de usar baterías con 57 elementos, la tensión de fluctuación será $57 \times 2,25 = 128,25V$ y la tensión de equalización será $57 \times 2,35 = 133,95V$.

Si adoptamos la solución de usar baterías con 56 elementos la tensión de fluctuación será $56 \times 2,25 = 126,0V$ y la tensión de equalización será $56 \times 2,35 = 131,6V$.

Se pueden adoptar las soluciones de uso de baterías con 56, 57 o 58 elementos, y con 56 elementos el sistema de corriente continua funcionará la mayor parte del tiempo con la tensión de 126.0V, más cerca del nominal 125V la tensión de equalización muy por debajo de la tensión máxima que es 137.5V.

5.3.4 - Cálculo de la Tensión Final de los Elementos

El cálculo de la tensión final de los elementos de la batería tendrá en cuenta las características de la instalación, como las corrientes de carga, la longitud de los alimentadores y las caídas de tensión admisibles en las cargas. Estas informaciones se pueden definir a través de simulaciones preliminares, que permiten definir la tensión mínima de la batería.

Considerando que la tensión final de descarga de la batería es de 105V, para el cálculo de la capacidad de la batería, la tensión final de los elementos vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Tensión Final por Elemento} = \frac{\text{Tensión Minima dela Batería}}{\text{Número de Elementos}}$$

Para 56 elementos: 1.87V/e

Para 57 elementos: 1.84V/e

Para 58 elementos: 1.81V/e

5.3.5 - Mantenimiento

El mantenimiento de las baterías debe hacerse de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes y, en los tiempos definidos, realizar las pruebas de descarga para verificar que la capacidad de la batería aún cumple con la capacidad del 80% de la capacidad nominal, porque las memorias de cálculo de las baterías consideran el factor de envejecimiento de 1.25, es decir, si la capacidad calculada de la batería es de 80Ah se debe especificar una de 100Ah (80x1, 25).

Después de que se haya producido una descarga, las baterías deben cargarse para al menos permitir que el sistema funcione de manera segura en caso de que ocurra una nueva actividad.

Lo que resulta es que las disposiciones anteriores no se cumplen en muchas instalaciones.

5.3.6 - Conclusión

La definición del número de elementos de una batería no debe ser arbitrada, sino calculada sobre la base de las necesidades de la instalación. Usar menos elementos para una batería con la misma corriente de descarga, pero mayor tensión final de descarga implicará un aumento en la capacidad nominal de la batería, ya que la tensión de descarga inicial de la batería será menor. Por ejemplo, la tensión de descarga inicial teórica de una batería con 57 elementos será de 114V en lugar de los 120V de la batería con 60 elementos, y para cumplir con la tensión de descarga final de la batería de 105V, la tensión de descarga final por elemento será de 1.84V/elemento para batería con 57 elementos y 1.75V/elemento para batería con 60 elementos.

La capacidad nominal de una batería, definida para un tiempo de descarga de 10 horas y una tensión final de 1,75V/elemento no significa que no pueda dimensionarse para otros tiempos de descarga y otras tensiones finales por elemento, como un tiempo de descarga de 5 horas y una tensión final de descarga de 1,70 V/elemento.

Los fabricantes proporcionan la información para igualar los cálculos de las capacidades nominales, los tiempos de descarga y la tensión final por elemento de sus baterías, y los remiten al tiempo de descarga y la tensión final por elemento calculada por el usuario.

Las baterías dimensionadas para una tensión final de 1.75V por elemento, tendrán su tensión reducida gradualmente en el proceso de descarga, desde la tensión nominal de 2.0V hasta 1.75V por elemento, pasando por todos los valores intermedios. La diferencia es que si la tensión final por elemento calculada es de 1.84V, cuando la tensión de la batería alcanza este valor, teóricamente, la batería se considera descargada para la aplicación que se calculó. Por lo tanto, incluso intuitivamente, se puede deducir que la misma batería puede considerarse descargada para una aplicación y aún cargada para otra. Por ejemplo, para una corriente de descarga de 40A durante 10 horas y una tensión de descarga final de 1.75V por elemento, la capacidad nominal de la batería será de 400Ah; la misma batería, para el mismo tiempo de descarga, pero la tensión de descarga final de 1.85V por elemento, proporcionará una corriente de 37.7A; sin embargo, la misma batería, con tensión final por elemento de 1.80V, para un tiempo de descarga de 6 horas proporcionará una corriente de 48A.

5.4 - CARGADORES DE BATERÍAS

Debido a que es un sistema vital de una instalación, el sistema de corriente continua debe ser simple y seguro. Sin embargo, la inclusión de algunas características prescindibles y la

omisión de otras hacen que los cargadores sean más propensos a fallar. Los temas más importantes se tratarán a continuación.

5.4.1 - Unidad de Diodos de Caída

Para operar con tensiones superiores a la tensión máxima (137.5V), los cargadores de baterías deben estar equipados con unidad de diodos de caída, para permitir la carga de ecualización de las baterías sin la necesidad de aislar los conjuntos de cargadores y baterías del sistema.

Si la tensión del cargador se establece en 144V, para reducir la tensión en la carga, los fabricantes de los cargadores de baterías proporcionan una unidad de diodo de caída para mantener la tensión del sistema en la tensión máxima, es decir, 137.5V, o sea, que la unidad de diodo de caída está equipada con aproximadamente 10 diodos. En este ejemplo citado, los diodos de caída deberían reducir la tensión en 6.5V (144V-137.5V).

El uso de unidades de diodo de caída, para limitar la tensión en los consumidores a los valores máximos permitidos, se puede prescindir reduciendo el número de elementos de la batería. Por ejemplo, en el caso de baterías selladas con 57 elementos, con una tensión de fluctuación de 2,25V por elemento, además de limitar la tensión en el sistema durante la operación de carga o ecualización, las tensiones de funcionamiento de los cargadores en condiciones de fluctuación y/o ecualización serán:

$$\text{Tensión de Fluctuación} = 57 \times 2,25 = 128,25V$$

$$\text{Tensión de Equalización} = 57 \times 2,35 = 133,95V$$

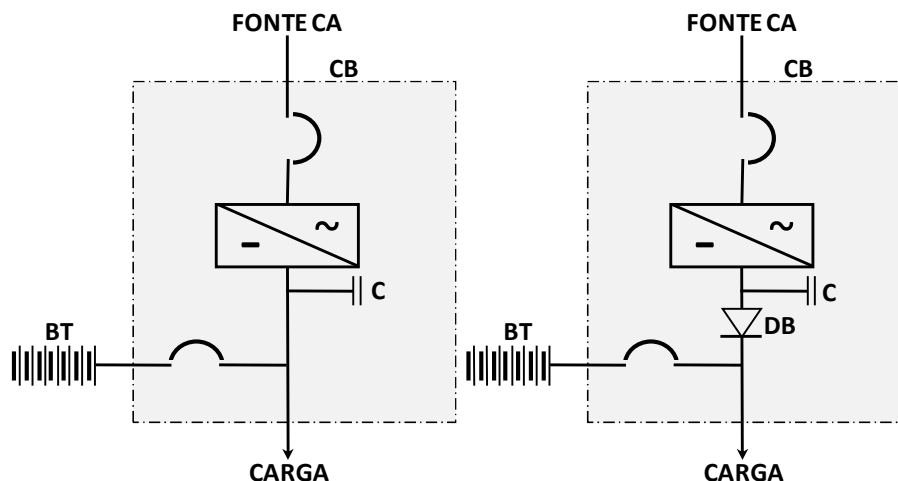
5.4.2 - Corrección de Factor de Potencia

Un requisito innecesario es también, para los sistemas auxiliares de corriente continua de las centrales hidroeléctricas, la instalación de capacitores para la corrección del factor de potencia en la entrada de los cargadores.

Cuando se suministra, la corrección del factor de potencia considera la potencia nominal del cargador, es decir, que un solo cargador alimenta todas las cargas de la planta y carga simultáneamente la batería asociada a ella. Sin embargo, la condición normal de funcionamiento es alimentar, como máximo, la mitad de la carga calculada de la planta, y esta mitad calculada es mayor que la carga real. Por lo tanto, no tiene sentido corregir el factor de potencia del cargador, solo se instalarán más componentes que están sujetos a fallas y harán que el equipo sea más caro.

5.4.3 - Diodo de Bloqueo

En la siguiente figura se indican los rectificadores sin y con el diodo de bloqueo (DB):



En los cargadores que no tienen el diodo de bloqueo, la secuencia de energización del cargador debe, obligatoriamente, comenzar energizando el cargador a través de la fuente de corriente alterna, y no es posible alimentar la carga conectando el disyuntor de la batería con el cargador apagado.

Como el rectificador tiene capacitores (C) en los filtros de salida, si el disyuntor de la batería se conecta con el rectificador apagado (sin la fuente de voltaje de CA), el pico de corriente de carga de los capacitores causará el funcionamiento de la protección del disyuntor de la batería (o la quema de los fusibles si existen). Para evitar este problema, la instalación del diodo de bloqueo (DB) permitirá la energización del rectificador en cualquier secuencia, incluido el suministro de la carga por la batería con el rectificador apagado.

5.4.4 - Recursos para Interconexión de Polos

Los cargadores deben estar provistos de recursos que permitan la interconexión de sus polos positivos o negativos. Esta característica está destinada a permitir la adopción de la configuración básica del sistema para evitar sobretensiones.

5.4.5 - Operación en Paralelo

Los cargadores deben ser adecuados para el funcionamiento en paralelo.

5.4.6 - Repuestos

Un problema que ocurre al especificar cargadores de batería es no comprar algunas piezas de repuesto junto con los cargadores.

Por lo general, el área comercial prefiere solicitar la información de los costos de repuestos para adquirirlos por separado. Sin embargo, como algunos repuestos de cargadores son muy específicos y no se pueden comprar en el mercado, lo que ocurre en el mejor de los casos es que se compren al fabricante del cargador, pero no están disponibles en las pruebas de recepción y puesta en marcha de las instalaciones.

Cuando se compran por separado, las piezas de repuesto pueden no ser idénticas a las suministradas en los cargadores, y cualquier cambio en las configuraciones de placas realizado durante las pruebas de fábrica o durante la puesta en marcha de la planta no se realiza en los repuestos. Es común que el fabricante realice cambios en las placas rectificadoras para corregir un problema o mejorar su rendimiento, pero no reemplazan las tarjetas ya suministradas.

Los repuestos recomendados para ser comprados con los cargadores suelen ser solo aquellos que no se encuentran en el mercado y son de suministro exclusivo del fabricante y, como mínimo, deben ser:

- Un puente de tiristores;
- Una placa de cada tipo suministrada en el rectificador;
- Un transformador de cada relación especial;
- Una HMI, si no está incluida en las placas suministradas;
- Un diodo de bloqueo;

5.5 - PANELES DE CORRIENTE CONTÍNUA

Aunque este informativo no es una especificación de los paneles de corriente continua, las observaciones más relevantes se harán sobre el panel de control local y el panel de distribución de la configuración alternativa.

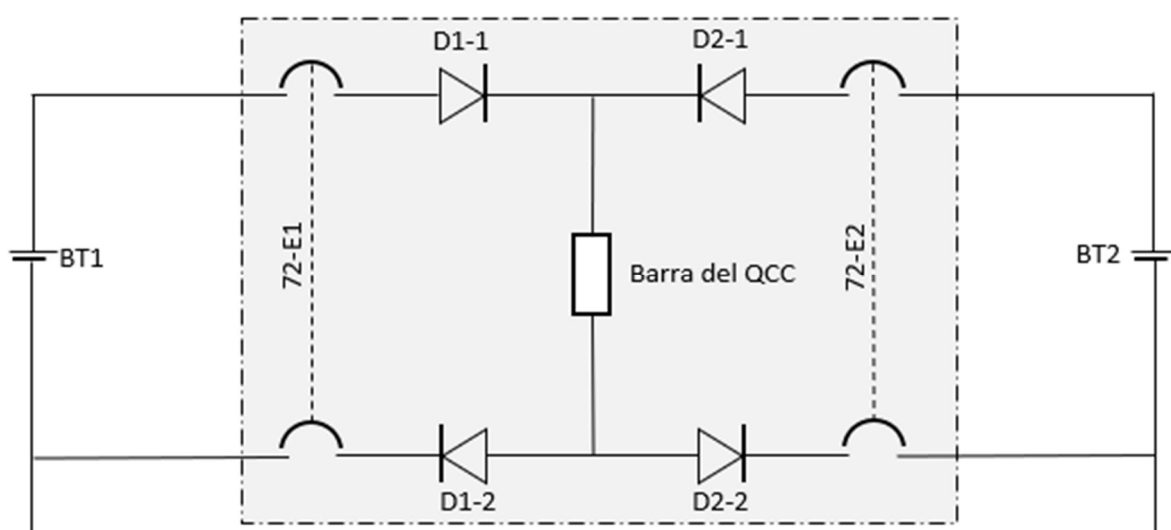
5.5.1 - Panel Local de Control

Los paneles locales de control deben tener las entradas y salidas de todos los diodos llevados a los terminales para facilitar las mediciones de tensión, la continuidad y la evaluación de su integridad.

5.5.2 - Paneles de Distribución de Corriente Continua.

Los paneles de distribución de corriente continua de la configuración alternativa tienen las siguientes particularidades:

- La siguiente figura representa el circuito de los diodos de entrada de los paneles eléctricos, cuyo funcionamiento es idéntico al de los circuitos de control con dos alimentaciones:



La corriente de la alimentación del panel puede ocurrir a través de los diodos D1-1 o D2-1, pero el retorno puede no ocurrir necesariamente por los diodos D1-2 o D2-2, respectivamente. Por lo tanto, antes de abrir un disyuntor de entrada, uno debe estar seguro de la integridad de los diodos de la otra alimentación.

- La medición de las tensiones en las entradas y en la barra se realiza con el mismo voltímetro para que se pueda utilizar el mismo estándar de medición y se pueda evaluar, mediante las mediciones, si los diodos están teniendo problemas. Por ejemplo, si en una entrada el voltímetro indica 125.0V, la tensión en la barra debe indicar la tensión del orden de 123.6V, debido a la caída de tensión en los dos diodos.

- Los polos positivo y negativo de todos los diodos se llevan a los terminales de la regla de terminales para permitir, con facilidad, realizar las mediciones de tensión y continuidad de los diodos.

- Aunque se señalizan fugas a tierra en los cargadores de baterías, también se señalan localmente señales y alarmas de tierra positivas o negativas, para facilitar los servicios de operación y mantenimiento de las instalaciones, en este caso la localización y eliminación de fallas a tierra.

- La representación del número de salidas es sólo simbólica y debe definirse en la especificación.

Los paneles de distribución de corriente continua de la configuración alternativa se representan, de forma simplificada, en la siguiente figura:

