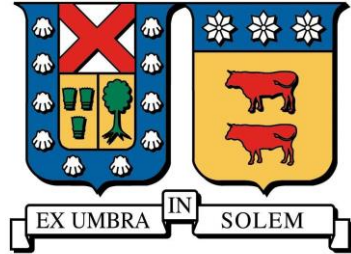


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
VALPARAISO-CHILE



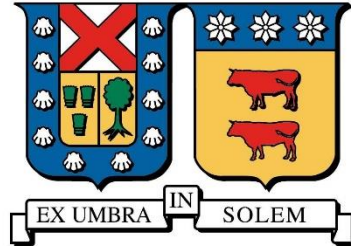
**COMPARATIVA DE LA INGENIERÍA
CONCEPTUAL DE LA CONEXIÓN DE UNA
CENTRAL A DIVERSOS TIPOS DE
SUBESTACIONES**

FRANCISCO JAVIER ESCOBAR ALFARO

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA**

**PROFESORES GUÍAS: SR. RODRIGO ROZAS V.
SR. JOSE FLORES E.**

ABRIL 2021



COMPARATIVA DE LA INGENIERÍA CONCEPTUAL DE LA CONEXIÓN DE UNA CENTRAL A DIVERSOS TIPOS DE SUBESTACIONES

FRANCISCO JAVIER ESCOBAR ALFARO

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA**

**PROFESORES GUÍAS: SR. RODRIGO ROZAS V.
SR. JOSE FLORES E.**

ABRIL 2021

Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la Institución

Índice general

1. Capítulo 1: Marco Teórico.....	11
1.1. Tipos de subestaciones Eléctricas.....	11
1.2. Equipos primarios de una subestación de 220 kV	11
1.2.1 Interruptor de potencia	11
1.2.1 Desconectador	12
1.2.2 Transformadores de potencial, corriente y equipos de medida	13
1.2.3 Pararrayos.....	13
1.2.4 Plano de disposición de Equipos - Planta	14
1.3. Marco regulatorio para la conexión de proyectos en redes de 220 kV.....	15
1.3.1 Nueva Ley de Transmisión: Ley N°20.936	15
1.3.2 Resolución Exenta 154/2017 – Solicitud del punto de conexión	16
1.4. Antecedentes Técnicos solicitados por el Coordinador Eléctrico Nacional para la conexión de proyectos. .	17
1.4.1 Memoria Descriptiva del Proyecto.....	17
1.4.2 Planos.....	19
1.4.3 Carta Gantt	19
1.4.4 Listado de equipos primarios	20
Capítulo 2: Características de las subestaciones de 220 kV	21
2.1. Del tipo barra simple	21
2.1. Del tipo doble barra mas transferencia.....	27
2.2. Del tipo interruptor y medio.....	32
Capítulo 3: Comparación Técnica - Económica.....	36
Equipos necesarios	36
Espacio Físico.....	37
Costos	37
3.4. Confiabilidad de Operación	38
Capítulo 4: Conclusiones.....	39
Referencias	41
2. Anexos.....	43
Anexo A: Formulario SASC.....	44
Anexo B: Formulario SUCT	45
Anexo C: Costos considerados de equipos primarios	46

Índice de tablas

Tabla 2-1: Subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional en configuración Barra Simple en 220 kV	22
Tabla 2-2: Subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional en configuración Doble BP + BT en 220 kV	28
Tabla 2-3: Subestaciones de 220 kV del Sistema Eléctrico Nacional en configuración interruptor y medio.....	33
Tabla 3-1: Comparación de los equipos necesarios entre los diferentes tipos de configuraciones	36
Tabla 3-2: Comparación del espacio físico necesario entre los diferentes tipos de configuraciones.....	37
Tabla 3-3: Comparación de los costos de conexión entre los diferentes tipos de configuraciones.....	37
Tabla 3-4: Comparación de la confiabilidad de operación entre los diferentes tipos de configuraciones.....	38
Tabla C-1: Costos de equipos primarios.....	46
Tabla C-2: Costos asociados a un paño de conexión en configuración Barra Simple	47
Tabla C-3: Costos asociados a un paño de conexión en configuración Doble BP + BT.....	47
Tabla C-4: Costos asociados a un paño de conexión en configuración interruptor y medio.....	47

Índice de figuras

Figura 1.1: Interruptor de poder	12
Figura 1.2: Desconector	12
Figura 1.3: Equipos de medida	13
Figura 1.4: Disposición de equipos planta de la S/E Larqui	14
Figura 1.4: Ejemplo de Carta Gantt solicitado por el Coordinador Eléctrico Nacional.....	20
Figura 2.1: Diagrama esquemático de una subestación de 220 kV en configuración barra simple	21
Figura 2.2: Ejemplo de un diagrama de planta de un paño en configuración barra simple en 220 kV.....	24
Figura 2.3: Ejemplo de un DUF de un paño en configuración barra simple en 220 kV	26
Figura 2.4: Diagrama esquemático de una subestación de 220 kV en configuración doble BP + BT	27
Figura 2.5: Ejemplo de un diagrama de planta de una subestación en configuración doble BP + BT.....	29
Figura 2.6: Ejemplo de un paño de línea conectado a una subestación doble BP + BT	30
Figura 2.7: Ejemplo de un DUF de un paño en configuración doble BP + BT	31
Figura 2.8: Diagrama esquemático de una subestación de 220 kV en configuración interruptor y medio.....	32
Figura 2.9: Ejemplo de una diagonal de 220 kV en configuración interruptor y medio	34
Figura 2.1: Diagrama Unilineal Funcional una diagonal de 220 kV en configuración interruptor y medio	35
Figura A.1: Formulario SASC	44
Figura A.2: Formulario SUCT	45

Dedicatoria

A mis padres, Carmen y Eduardo, por inculcarme a mi y a mis hermanos que la educación es la herramienta con la cual se puede cambiar el mundo. Son los mejores padres que pude tener.

A mis hermanos, Fabián, Pablo y Javiera. Los amo con todo mi corazón.

A Maura, mi pareja, quien siempre me ha incentivado a dar lo mejor de mi y es mi inspiración para seguir esforzándome. Te amo.

A mis amigos de la vida, Lucho, Pinky y Bastián, con quienes me vine desde Punta Arenas a estudiar a Valparaíso. Sin ellos mi adaptación a esta nueva vida no hubiese sido lo mismo.

A mis compañeros de la U y grandes amigos, Janito, Felipe, Fifi, Pereza, Punky, Pupo, Tobita, Turri, Seba Cruz, Ivan, Leo Ruiz, Dennis, Venancio.

A todo el equipo de No Tomo Mas, con quienes pudimos ganar un par de veces el Dioses del Olimpo. En especial al capitán Salva, por heredarnos el equipo.

Al Departamento de Electricidad, por la hermosa labor de formar y educar. Mi agradecimiento a todos los profesores y personal de apoyo.

Al profesor Rodrigo Rozas, por haber aceptado guiar este trabajo y darme la oportunidad de cerrar este ciclo

Al profesor José Flores, quien desde el comienzo me incentivó y motivó a no dejar inconcluso este proceso. Gracias por dedicar tanto de tu tiempo a enseñarme y ayudarme.

Resumen

En el Sistema Eléctrico Nacional existen diferentes configuraciones de subestaciones en 220 kV. Según la plataforma Infotécnica del Coordinador Eléctrico Nacional, las principales configuraciones en dicho nivel de tensión son Barra Simple, Doble Barra mas Barra de Transferencia e Interruptor y Medio.

Considerando lo anterior, este trabajo comparara técnica y económica la ingeniería conceptual de las tres configuraciones de subestaciones, de 220 kV, más utilizadas en el Sistema Eléctrico Nacional, las cuales son Barra Simple, Doble Barra mas Barra de Transferencia e Interruptor y Medio. Se comparan los equipos necesarios, espacio físico utilizado, costos y confiabilidad de su operación.

El Estudio determina que la configuración barra simple es la que utiliza la menor cantidad de equipos de patio y por lo tanto, necesita la menor cantidad de espacio físico. Sin embargo es la que presenta la menor confiabilidad de operación, debido a que ante cualquier falla en un interruptor o en la barra se desenergiza completamente la subestación. En la otra vereda, la configuración Interruptor y Medio es la configuración más barata que permite la mayor confiabilidad en el Sistema Eléctrico Nacional.

Abstract

In the Chilean National Electric System there are different configurations of 220 kV substations. According to “Infotécnica” web site of National Electric Coordinator's , the main configurations at this voltage level are Single Busbar, Double Busbar & Transfer Busbar and One and a Half Breaker arrangement.

Considering the above, this work compare technically and economically the conceptual engineering of the three most used 220 kV substation configurations in the National Electric System, which are Single Bus, Double Bus & Transfer Bus and One and a Half Breaker arrangement. The necessary equipment, physical space used, costs and reliability of their operation are compared.

The study determined that the single bus configuration is the one that uses the least amount of yard equipment and therefore requires the least amount of physical space. However, it is the one that presents the lowest operating reliability, since any failure in a breaker or in the busbar completely de-energizes the substation. On the other side, the One and a Half Breaker arrangement is the cheapest configuration that allows the highest reliability in the National Electric System.

Introducción

Una subestación eléctrica es un nodo del Sistema Eléctrico de Potencia, en el cual, la energía se transforma a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo con determinados requisitos de calidad [1].

En el Sistema Eléctrico Nacional, existen diferentes tipos de subestaciones. En el nivel de tensión de 220 kV, destacan las subestaciones del tipo barra simple, doble barra mas transferencia y del tipo interruptor y medio [2]. Esta última destaca por la seguridad, confiabilidad y flexibilidad de operación que entrega al sistema. Esto porque una falla de algún circuito no interrumpe los circuitos aledaños y, además permite la continuidad de suministro ante el mantenimiento de algún interruptor de poder.

Considerando las bondades que brinda una subestación del tipo interruptor y medio, durante los últimos años prácticamente todas las nuevas subestaciones que ha decretado la Comisión Nacional de Energía ha planificado para el seccionamiento de líneas nacionales de 220 kV han sido de dicha configuración [3].

El desarrollo de un nuevo proyecto de generación requiere de la realización de la ingeniería conceptual de la conexión de la central a diferentes tipos de subestaciones presentes en el sistema. Cada una de ellas requiere de distintas configuraciones de equipos primarios, coordinación de protecciones, superficie, entre otras. Esto repercute en el costo y tiempo de construcción, así como también, en la confiabilidad de la operación que tendrá el nuevo proyecto de generación en el sistema.

En este contexto, este trabajo presenta una comparativa técnica y económica de la ingeniería conceptual de la conexión de una central a tres tipos de subestaciones de 220 kV aisladas en aire. En particular, se analizarán las subestaciones del tipo barra simple, doble barra mas transferencia y del tipo interruptor y medio. Dicho lo anterior, los objetivos específicos del presente trabajo son:

- Describir las características técnicas de tres tipos subestaciones de 220 kV aisladas en aire. Esto es, del tipo barra simple, doble barra mas transferencia e interruptor y medio. En particular, se identificarán los equipos necesarios, consideraciones de los sistemas de protección, las distancias mínimas eléctricas que deben cumplir y superficie de la subestación.

- Identificar los antecedentes técnicos requeridos por el Coordinador Eléctrico Nacional para la conexión de un proyecto de generación a los tres tipos de subestaciones antes mencionadas.
- Identificar las diferencias técnicas y económicas de la conexión de un proyecto de generación a los tres tipos de subestaciones a mencionadas.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1. Tipos de subestaciones Eléctricas.

Una subestación eléctrica es una instalación, o conjunto de dispositivos eléctricos, que forma parte de un Sistema Eléctrico de Potencia, en adelante SEP. Su principal función es modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para que la energía eléctrica pueda ser transportada y distribuida [4].

Existen cuatro diferentes tipos de subestaciones eléctricas:

- Subestaciones de transformación: Poseen uno o varios transformadores que elevan o reducen la tensión.
- Subestaciones de maniobra: Son capaces de conectar uno o más circuitos en ellas para permitir la operación en caso de falla de algún circuito. Corresponden a subestaciones que constituyen la columna vertebral del sistema eléctrico.
- Subestaciones elevadoras: Corresponden a subestaciones propias de los proyectos de generación de energía. Básicamente elevan la tensión a un nivel mucho más alto que la tensión de entrada.
- Subestaciones reductoras: Corresponden a subestaciones que disminuyen las altas tensiones para conectar a las redes de distribución.

1.2. Equipos primarios de una subestación de 220 kV

1.2.1 Interruptor de potencia

El interruptor de potencia es el dispositivo encargado de desconectar una carga o una parte del Sistema Eléctrico, tanto en condiciones normales de operación como en condiciones de cortocircuito. A nivel económico, el interruptor es el segundo equipo más caro de una subestación, detrás del transformador de potencia, que es el equipo más caro.

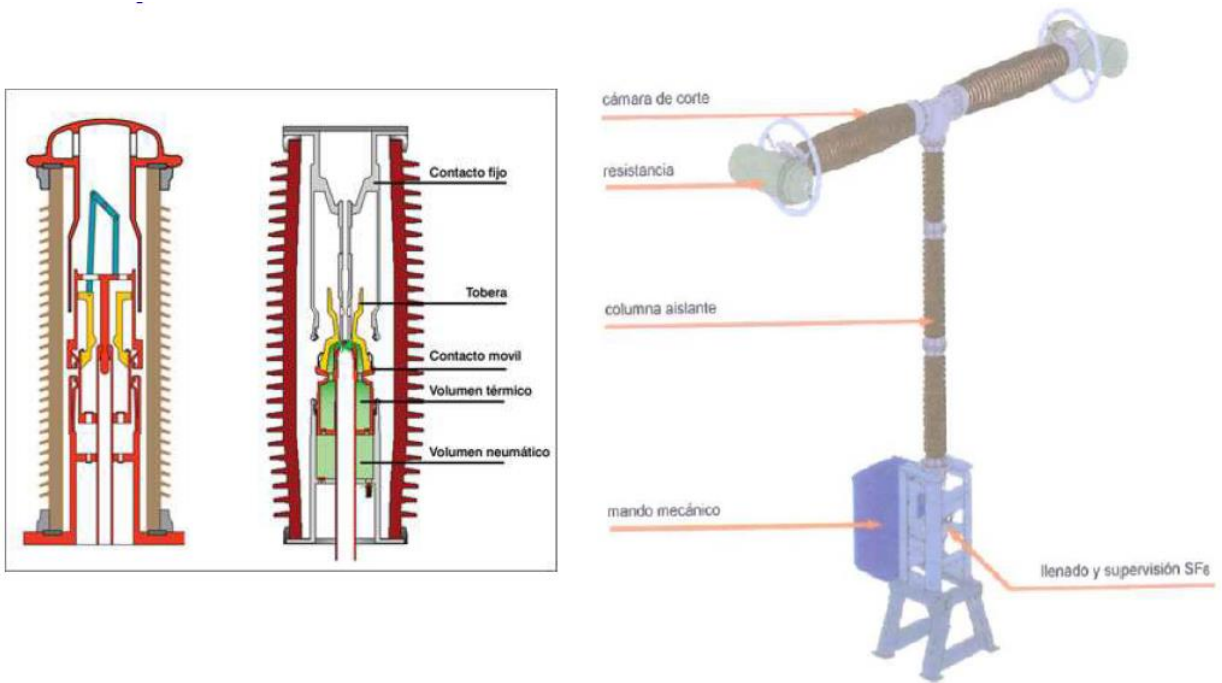


Figura 1.1: Interruptor de poder – Fuente [1]

1.2.1 Desconector

Los desconectores son equipos de maniobra que solamente permiten conectar o desconectar un circuito eléctrico sin carga. Pueden ser manuales o motorizados. En general, las líneas de transmisión tienen adicionalmente un accionamiento de puesta a tierra para dar seguridad al personal de mantenimiento ante alguna reconexión errónea o falla en el sistema.

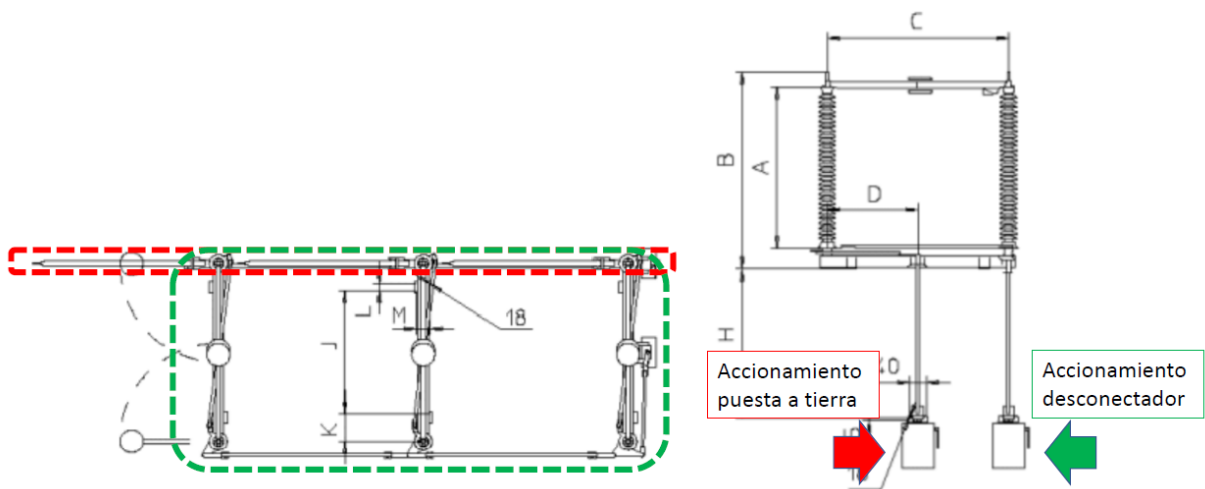


Figura 1.2: Desconector – Fuente [1]

1.2.2 Transformadores de potencial, corriente y equipos de medida

Los equipos de medida son los responsables de cuantificar el flujo de energía para dar protección y control en la subestación. No tienen la capacidad de soportar grandes niveles de tensión ni elevadas magnitudes de corriente. En ese sentido, el diseño de estos equipos está basado para operar a baja tensión y bajas corrientes, por lo que necesitan transformadores de potencial y de corriente respectivamente. Los equipos de medida corresponden a relés de protección y medidores de energía.

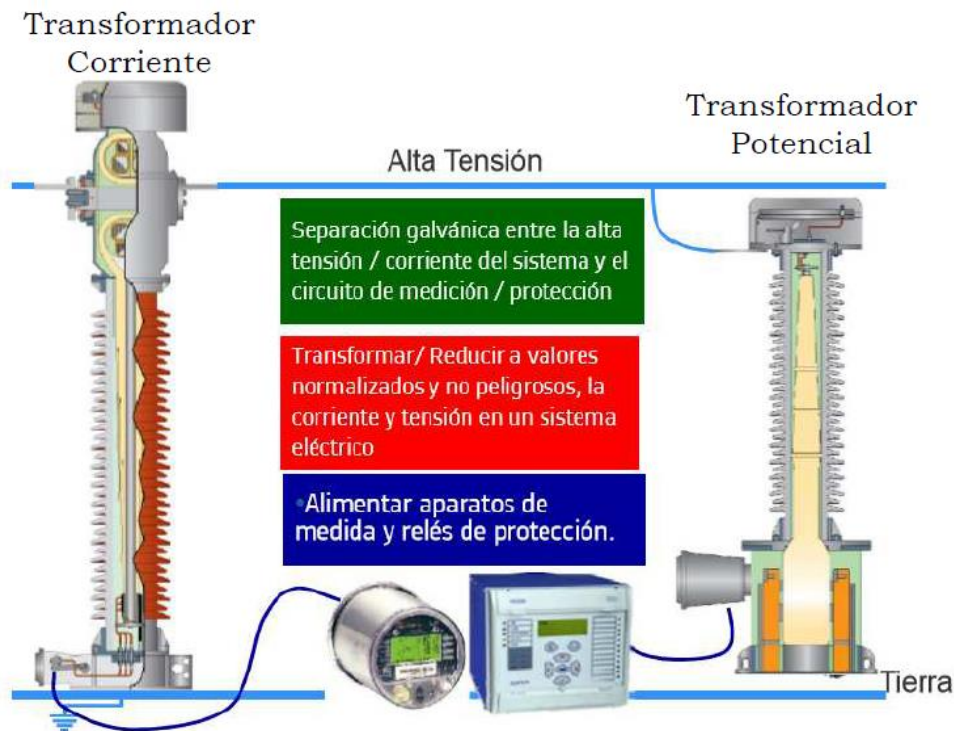


Figura 1.3: Equipos de medida – Fuente [1]

1.2.3 Pararrayos

Generalmente, las subestaciones eléctricas se encuentran en lugares aislados, por lo cual se convierten en estructuras con condiciones ideales para que el rayo se descargue e impacte a través de ellas. Para proteger las estructuras de las subestaciones contra el impacto directo del rayo, es necesaria la instalación de pararrayos atmosféricos para controlar y canalizar a tierra esta gran energía descontrolada, de la que se desconoce su magnitud y puede provocar grandes daños estructurales si es que llega a impactar directamente en ellas.

1.3. Marco regulatorio para la conexión de proyectos en redes de 220 kV

1.3.1 Nueva Ley de Transmisión: Ley N°20.936

El 20 de julio de 2016 se publica la Ley 20.936 “Establece un Nuevo Sistema de Transmisión Eléctrica y crea un Organismo Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional” [5]. A nivel de conexión de proyectos en redes de 220 kV, dicha ley define el Acceso Abierto al Sistema Eléctrico Chileno:

“Artículo 79° – Definición de Acceso Abierto”: Las instalaciones de los sistemas de transmisión del sistema eléctrico están sometidas a un régimen de acceso abierto, pudiendo ser utilizadas por terceros bajo condiciones técnicas y económicas no discriminatorias entre todos los usuarios, a través del pago de la remuneración del sistema de transmisión que corresponda de acuerdo con las normas de este título. Los propietarios de los sistemas de transmisión, con excepción del sistema dedicado, no podrán negar el acceso al servicio de transporte o transmisión a ningún interesado por motivos de capacidad técnica, sin perjuicio que, en virtud de las facultades que la ley o el reglamento le otorguen al Coordinador para la operación coordinada del sistema eléctrico, se limiten las inyecciones o retiros sin discriminar a los usuarios.

“Artículo 80° – Acceso Abierto en Sistemas de Transmisión Dedicados”: Los propietarios de los sistemas dedicados no podrán negar el servicio a ningún interesado cuando exista capacidad técnica disponible de transmisión, sin perjuicio de la capacidad contratada o de los proyectos propios que se hayan contemplado fehacientemente al momento de la solicitud de capacidad técnica. El Coordinador determinará fundadamente la capacidad técnica disponible de los sistemas de transmisión dedicados sin considerar las congestiones de transmisión debido a limitaciones de capacidad de otros tramos de transmisión, oyendo previamente a las partes. El uso de la capacidad de los sistemas dedicados deberá ajustarse a los estándares de seguridad y calidad de servicio con los que fue diseñado el respectivo sistema en base a la información de diseño entregada por el propietario.

1.3.2 Resolución Exenta 154/2017 – Solicitud del punto de conexión

La resolución exenta 154/2017 [\[6\]](#), establece los términos y condiciones de aplicación del régimen de acceso abierto a que se refieren los artículos 79° y 80° de la Ley General de Servicios Eléctricos. Los puntos más importantes de este documento son:

- *Artículo 8°. El coordinador aprobará la conexión a los sistemas de transmisión en aquellas subestaciones existentes, o en las definidas en la planificación de la transmisión, o en aquellas que la comisión apruebe en virtud de lo dispuesto en el inciso segundo del artículo 102° y previa verificación que la solución de conexión propuesta permita cumplir con los criterios de operación óptima y acceso abierto al sistema respectivo.*
- *Artículo 12°. Le corresponderá al Coordinador establecer los pagos, por concepto de costos de conexión, estudios y análisis de ingeniería o derechos de usos de dichas instalaciones, así como los requisitos técnicos y plazos para realizar dichas obras, conforme a lo que determine el reglamento.*
- *Artículo 13°. Los propietarios de las instalaciones de los sistemas de transmisión deberán dar las facilidades necesarias para que se ejecuten las obras que deban realizarse, accedan en tiempo y forma a subestaciones, patios, salas de control, y a todas aquellas instalaciones a las que deba ingresar o hacer uso para materializar la nueva conexión.*

Considerando lo anterior, un nuevo proyecto de generación debe enviar una solicitud al Coordinador Eléctrico Nacional para que sea aprobada su conexión. Dicha solicitud depende del tipo de Calificación de la Subestación donde se desea conectar:

- Para Instalaciones de Servicio Público (Nacionales y Zonales): Solicitud de Aprobación de Solución de Conexión (SASC).
- Para Instalaciones Dedicadas: Solicitud de Uso de Capacidad Técnica (SUCT).

El envío de una SASC o SUCT al Coordinador debe estar en línea con la calificación de instalaciones que otorga la Comisión Nacional de Energía. A modo de ejemplo, la Comisión publicó la resolución exenta 244/2019, la cual define la Calificación para todas las instalaciones del Sistema Eléctrico Nacional para el período 2020 – 2023 [\[7\]](#).

1.4. Antecedentes Técnicos solicitados por el Coordinador Eléctrico Nacional para la conexión de proyectos.

La ley 20.936, publicada en julio del año 2016, le asignó al Coordinador la función de velar por el Acceso Abierto, tanto en las instalaciones de servicio público como en las instalaciones dedicadas. Con lo cual, es el Coordinador quien aprueba los puntos de conexión para los futuros proyectos. Esto cambió el paradigma de las conexiones al Sistema Eléctrico Nacional; ahora, es importante contar con la aprobación del punto de conexión del Coordinador en una etapa temprana de desarrollo.

Según lo definido en el artículo 79° de la LGSE, el Coordinador aprobará las conexiones en instalaciones existentes de servicio público, aquellas definidas en la Planificación de la Transmisión, o en las definidas mediante el artículo 102° de la misma ley (Obras Urgentes). Con lo cual, el interesado en conectarse ya no puede seccionar líneas nacionales o zonales por su cuenta, ni tampoco ampliar barras en instalaciones existentes.

Para estandarizar la información entregada por las diferentes empresas, el Coordinador publicó el documento “Antecedentes de ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de Acceso Abierto” [8], en el cual se especifican los antecedentes mínimos requeridos para la revisión de la ingeniería de diseño de la conexión asociada a una SASC o Solicitud de Uso de Capacidad Técnica (SUCT) indicadas en la Rex. 154/2017 del Ministerio de Energía, y sus revisiones posteriores (REx. N° 606/2017 y N° 257/2018), en donde se establecen los términos y condiciones de aplicación del régimen de acceso abierto a que se refieren los artículos 79° y 80° del DFL N° 4/20.018.

De acuerdo con [8], se deben presentar los siguientes antecedentes al Coordinador Eléctrico Nacional:

1.4.1 Memoria Descriptiva del Proyecto.

El informe debe estar organizado en secciones, cada una de ellas conteniendo una descripción abreviada de la solución adoptada o que se adoptará para resolver diferentes aspectos del proyecto, indicando, cuando corresponda, los criterios considerados en el diseño o especificando las normas aplicables. El informe debe contener al menos las siguientes secciones:

- **Sección 1: Descripción general del proyecto**

Debe indicar las características más relevantes del proyecto, indicando el estado de avance de las etapas de ingeniería del proyecto. Debe venir con una carta Gantt e identificar claramente el punto de conexión.

- **Sección 2: Equipos secundarios.**

La conexión debe definir los equipos de protección, control, medida y comunicaciones consideradas en el nuevo proyecto de generación los cuales se asocian al punto de conexión. En particular se debe indicar al menos:

- Si los equipos serán instalados en una sala de comandos propia o utilizará la existente.
- Indicar la totalidad de los equipos que serán instalados en la sala de comandos.

- **Sección 3: Servicios auxiliares de corriente alterna y corriente continua.**

El interesado debe indicar cómo solucionará la disponibilidad de los equipos auxiliares de corriente alterna y continua. En ese sentido, debe indicar si utilizará los existentes o instalará su propio sistema.

- **Sección 4: Sistema de protección.**

Se requiere una descripción funcional del sistema de protección considerado en el proyecto, en particular en cómo se conectar al sistema existente. En ese sentido, debe indicar al menos:

- Describir funcionalmente el sistema de protección considerado, especialmente en lo relacionado con la necesidad de operación basada en un sistema de teleprotección (DTT, POTT, PUTT, 87L, etc).
- Indicar cómo el sistema de protección cumple con las exigencias indicadas en los artículos 3-23 y 5-45 de la norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
 - Artículo 3-23: *“Las Líneas de transmisión deben garantizar que al transmitir la potencia corresponde a su límite técnico a 25°C con sol, en Estado Normal, el desbalance de tensiones en su extremo receptor sea inferior al 1% para líneas de transmisión igual o superior a 220 kV”.*
 - Artículo 5-45: asociado al límite de regulación o estabilidad de tensión.
- Indicar cómo el sistema de protección del proyecto se integrará con el esquema de protección diferencial de barras 87B de las instalaciones existentes.

- **Sección 5: Sistema de Control y Comunicaciones**

Se requiere la descripción funcional del sistema de control del proyecto, en particular en el punto de conexión.

- **Sección 6: Medida de Facturación.**

Se debe indicar las características básicas de los medidores de facturación que serán instalados junto con el grado de precisión de los núcleos de los transformadores de corriente que serán

alambrados a medidores de facturación. Además, se debe indicar si cumple con el artículo 4-29 de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.

- Artículo 4-29: “... *Los medidores de energía que son utilizados en el balance de transferencia de energía debe cumplir con el índice de clase de precisión del 0,2%.*”

- **Sección 7: Malla de Puesta a Tierra**

Se debe indicar si la malla a puesta a tierra del proyecto considera las instalaciones existentes o será una nueva malla.

- **Sección 8: Consideración de Aspectos Sísmicos del Proyecto**

Se deberá indicar cuáles normas técnicas serán consideradas para la especificación de equipos y el diseño de las instalaciones.

1.4.2 Planos

- **Diagrama unilineal funcional**

Debe contener la totalidad de equipos primarios de la subestación actual y del nuevo proyecto de generación. Se debe identificar claramente mediante una nube los equipos que necesita el del nuevo proyecto de generación para poder conectarse. Además, debe indicar cómo se conectan los equipos de control medida y comunicaciones.

- **Diagrama de disposición de equipos planta y cortes.**

Debe permitir apreciar la ocupación física de las instalaciones del proyecto en relación con las instalaciones existentes.

1.4.3 Carta Gantt

Se debe indicar claramente al menos las siguientes etapas del proyecto:

- Resolución de calificación ambiental.
- Realización de la ingeniería de detalles
- Orden de compra de los equipos.
- Declaración en construcción
- Puesta en servicio
- Entrada en operación comercial

Actividades	Fecha de inicio [dd/mm/YY]	Fecha de termino [dd/mm/YY]	2019													
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	
A Resolución de Calificación Ambiental																
B Realización de Ingeniería de detalles																
C Orden de Compra de Equipos																
D Declaración en Construcción (*)																
E Construcción de Obras Civiles																
F Instalación de Equipos Primarios																
G Alambrado de Control y Protecciones																
H Puesta en Servicio (*)																
I Entrada en Operación Comercial (*)																

(*) Para las actividades D, H e I se debe indicar rangos de tiempo acotados de 1-2 meses, en donde se estima dará inicio el respectivo hito.

Figura 1.5: Ejemplo de Carta Gantt solicitado por el Coordinador Eléctrico Nacional

1.4.4 Listado de equipos primarios

El informe debe contener un listado de los equipos primarios que permitan la conexión del proyecto, donde se detallen las características relevantes de cada uno de ellos. Dicho listado debe coincidir con los equipos presentados en los planos diagrama unilineal funcional y disposición de equipos planta y corte.

Capítulo 2: Características de las subestaciones de 220 kV

Se denomina configuración de una subestación al arreglo de los equipos primarios de un patio de conexiones o pertenecientes a un mismo nivel de tensión, de tal forma que su operación permita dar a la subestaciones diferentes grados de confiabilidad, seguridad y operación en el sistema eléctrico [1].

2.1. Del tipo barra simple

Como su nombre lo indica, es la configuración más sencilla. En condiciones normales de operación, todos los circuitos están conectados a la única barra que permite la unión entre ellos. Debido a que ocupa la menor cantidad de equipos, la mayor ventaja de este tipo de configuración es su economía y el poco espacio físico que necesita para la instalación de sus equipos primarios. En la otra vereda, como desventajas se encuentran su baja confiabilidad, seguridad y flexibilidad. Lo anterior se debe a que si opera la protección diferencial de barras (87B) o cualquier protección de interruptor (50BF), dará orden de desconexión a todos los interruptores, quedando la subestación completamente desenergizada. Además, ante cualquier revisión o reparación de alguno de los interruptores, hay que desenergizar completamente la subestación.

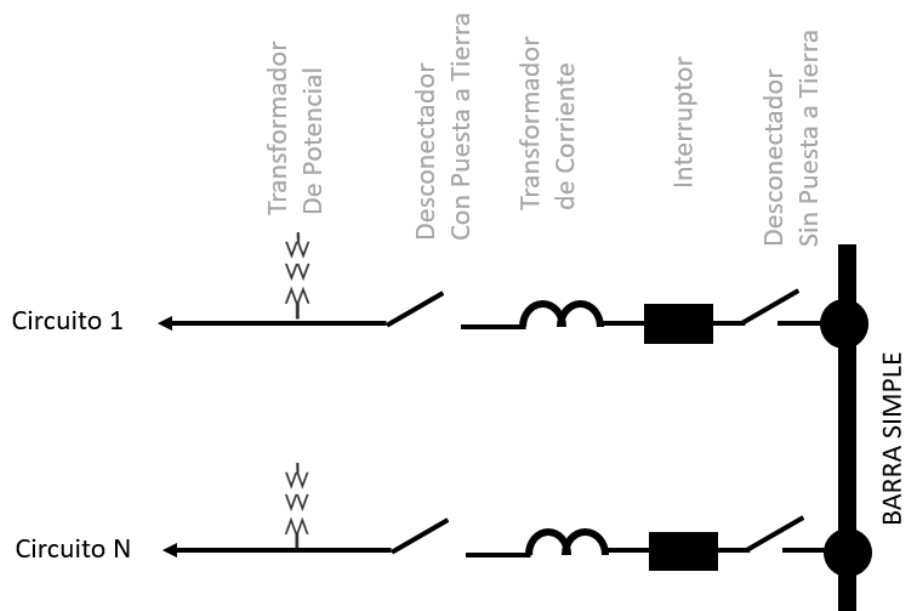


Figura 2.1: Diagrama esquemático de una subestación de 220 kV en configuración barra simple

De acuerdo con la Plataforma Infotécnica del Coordinador Eléctrico Nacional, a la fecha existen 79 subestaciones de 220 kV cuya configuración es del tipo barra simple. El detalle de ellas se presenta en la Tabla 2-1. La gran mayoría de ellas corresponden a subestaciones elevadoras de centrales generadoras de energía. Por otro lado, con respecto a su año de entrada en operación, las subestaciones en configuración barra simple se encuentran prácticamente en todo el espectro desde el año 1986 hasta la fecha, siendo las más recientes las subestaciones Cerro Pabellón y Granja Solar.

Tabla 2-1: Subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional en configuración Barra Simple en 220 kV

Nombre	Nombre Propietario	Año entrada en operación
S/E CENTRAL MACHICURA	COLBUN	1985
S/E LAS TORTOLAS	COLBUN	2011
S/E CENTRAL RUCUE	COLBUN	1998
S/E CENTRAL QUILLECO	COLBUN	2007
S/E CENTRAL LOS PINOS	COLBUN	2009
S/E CENTRAL MONTE REDONDO	EMR	2009
S/E CENTRAL TERMOPACÍFICO	GENPAC	2009
S/E CENTRAL LA CONFLUENCIA	HIDROELÉCTRICA LA CONFLUENCIA	2011
S/E LOMA ALTA	TRANSELEC	2017
S/E PUERTO MONTT (STS)	STS	2020
S/E LAMPA	ENEL DISTRIBUCIÓN	1968
S/E AGROSUPER	AGROSUPER	2010
S/E LA ERMITA	ANGLO AMERICAN SUR - LOS BRONCES	1990
S/E LOS MAITENES	ANGLO AMERICAN SUR - LOS BRONCES	1990
S/E PROCART	CARTULINAS CMPC	1998
S/E PAPELERA INFORSA	PAPELES RIO VERGARA	1986
S/E SAG	CODELCO CHILE - DIVISIÓN ANDINA	1998
S/E CORDILLERA (ANDINA)	CODELCO CHILE - DIVISIÓN ANDINA	S/I
S/E MINERA LA CANDELARIA	MINERA CANDELARIA	1994
S/E LA COIPA	MINERA MANTOS DE ORO	1990
S/E LOS PIUQUENES	MINERA LOS PELAMBRES	1999
S/E MAURO	MINERA LOS PELAMBRES	2006
S/E MINERA TECK CDA 220 KV	TECK-CARMEN DE ANDACOLLO	2009
S/E SANTA FILOMENA	ANGLO AMERICAN SUR - LOS BRONCES	2011
TAP OFF MAURO	MINERA LOS PELAMBRES	2006
S/E SF ENERGIA	BIOENERGÍAS FORESTALES	2012
S/E CASERONES	MINERA LUMINA COPPER	S/I

S/E JORQUERA	MINERA LUMINA COPPER	2013
S/E CERRO NEGRO NORTE	CAP CMP	S/I
S/E TOTORALILLO (CAP CMP)	CAP CMP	S/I
S/E CENTRAL SANTA MARTA	SANTA MARTA	S/I
S/E CENTRAL SAN ANDRES (HSA)	HIDROELÉCTRICA SAN ANDRÉS	2014
S/E SECCIONADORA LLANO DE LLAMPOS	AMANECER SOLAR	2014
S/E CENTRAL LLANO DE LLAMPOS	AMANECER SOLAR	2009
S/E CENTRAL TALINAY ORIENTE	PARQUE EÓLICO TALINAY	2014
S/E CANAL MELADO	TRANSELEC	2013
TAP OFF EL ROSAL	EMR	2012
S/E RUCATAYO	TRANSRUCATAYO S.A	2012
S/E CENTRAL PARQUE EOLICO TALTAL	ALMEYDA SOLAR	S/I
TAP OFF TALTAL	TRANSELEC	2016
S/E CENTRAL LOS GUINDOS	LOS GUINDOS	2015
S/E CENTRAL EL PASO	EL PASO	2016
S/E CONEJO	CONEJO SOLAR	2016
S/E CENTRAL PARQUE EOLICO SAN JUAN	SAN JUAN	2017
S/E ANTUCOYA	MINERA ANTUCOYA	2014
S/E CHIMBORAZO	MINERA ESCONDIDA	S/I
S/E EL ABRA	MINERA EL ABRA	1996
S/E EL TESORO	MINERA CENTINELA	2020
S/E ESPERANZA (MINERA CENTINELA)	MINERA CENTINELA	2010
S/E FARELLÓN	MINERA ESCONDIDA	S/I
S/E FORTUNA	MINERA LOMAS BAYAS	2017
S/E GABY	CODELCO CHILE - DIVISIÓN GABRIELA MISTRAL	2007
S/E LOMAS BAYAS	MINERA LOMAS BAYAS	1997
S/E MANTOS BLANCOS	MINERA MANTOS BLANCOS	1995
S/E O'HIGGINS	MINERA ESCONDIDA	1993
S/E PEQ	PARQUE QUILLAGUA	2016
S/E PURI	MINERA ESCONDIDA	S/I
S/E RANDE	ENEL GREEN POWER CHILE	2016
S/E SOLAR JAMA	PLANTA SOLAR SAN PEDRO III	2016
S/E SPENCE	MINERA SPENCE	2005
TAP OFF EL LOA	ENGIE	2000
TAP OFF ENLACE	MINERA ANTUCOYA	2014
TAP OFF ESTACIÓN DE BOMBEO N°2	MINERA ESCONDIDA	2005
TAP OFF ESTACIÓN DE BOMBEO N°3	MINERA ESCONDIDA	2005
TAP OFF ESTACIÓN DE BOMBEO N°4	MINERA ESCONDIDA	2005
TAP OFF LA CRUZ	AES GENER	1997

TAP OFF NUEVA VICTORIA	SQM	2006
TAP OFF PALESTINA	MINERA MERIDIAN	1999
S/E ZALDÍVAR	COMPAÑÍA MINERA ZALDIVAR SPA	1994
S/E DOÑA CARMEN	ENERGÍA CERRO EL MORADO	S/I
S/E BOLERO	HELIO ATACAMA TRES	2017
S/E CERRO PABELLÓN	GEOTÉRMICA DEL NORTE	2020
S/E EL ARRIERO	ENEL GREEN POWER CHILE	2016
S/E SECCIONADORA SAN ANDRÉS	SATT	S/I
S/E CENTRAL PARQUE EOLICO CABO LEONES I	PARQUE EÓLICO CABO LEONES I S.A	2018
TAP OF BARRILES	AES GENER	1997
S/E SGO	MINERA SPENCE	2019
S/E ANGOSTURA	COLBUN	S/I
S/E GRANJA SOLAR	MARÍA ELENA SOLAR S.A.	2020

A nivel de diagrama de disposición de equipos, en general cada paño de línea de una subestación de 220 kV del tipo barra simple posee la siguiente estructura:

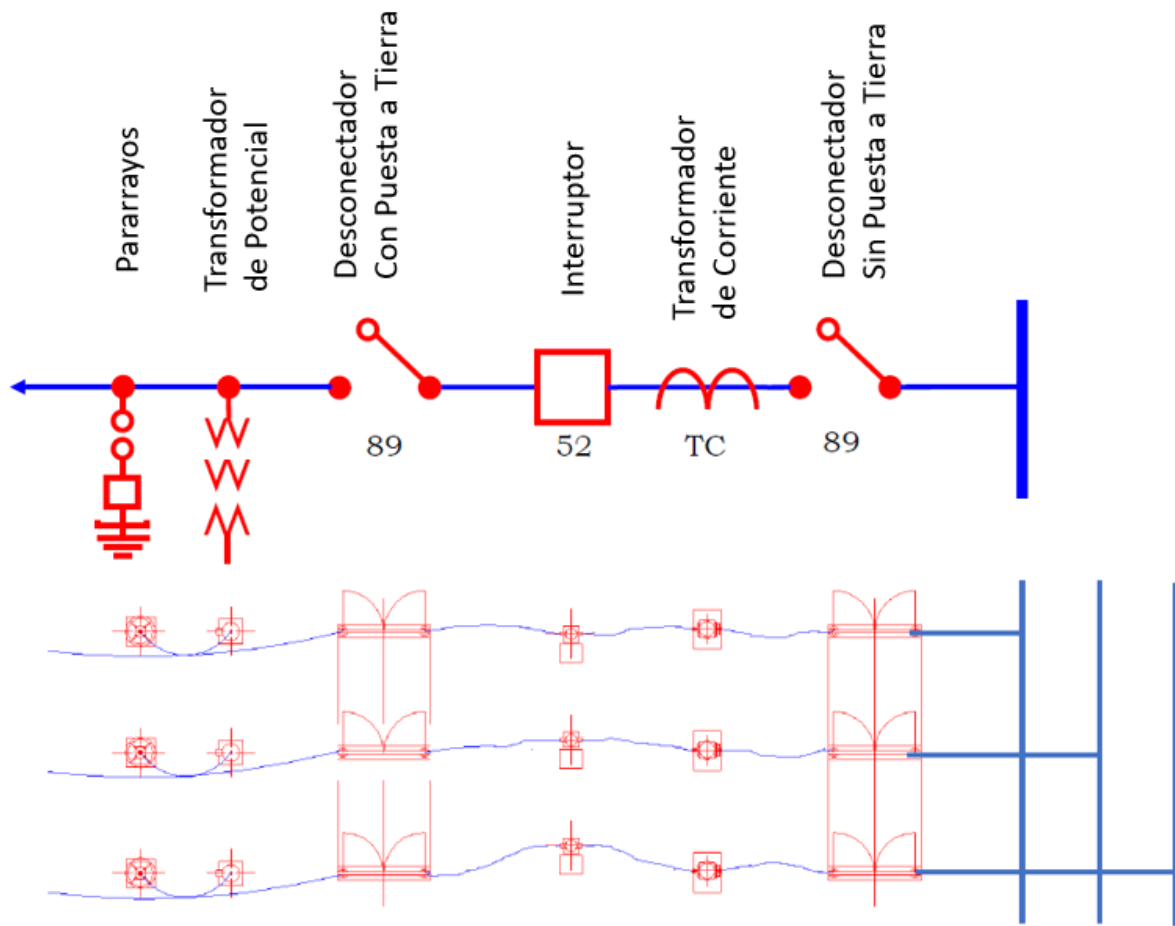


Figura 2.2: Ejemplo de un diagrama de planta de un paño en configuración barra simple en 220 kV.

A nivel de Diagrama Unilineal Funcional, el Coordinador Eléctrico Nacional posee criterios para el diseño de esquemas basados en interruptor y medio. De acuerdo a [\[10\]](#), se necesita considerar:

- Se deberá implementar un esquema de enclavamiento eléctrico al cierre del desconectador de puesta a tierra de las líneas de transmisión en presencia de tensión en la línea, a través de la utilización de los transformadores de potencial de cada una de las líneas.
- La lógica de operación de la protección de respaldo local interruptor (50BF) deberá estar diseñada en concordancia con la norma IEEE Std. C37.119-2016.
- La clase de exactitud de los transformadores de medida, deberá estar en concordancia con la ntsyys y la norma IEC 61869-2 para TC y la IEC 61869-3/5 para TP.
- El sistema de comunicaciones a emplear en obras de ampliación será determinado conjuntamente con el propietario de la línea correspondiente, el alcance y plazo de ejecución se hará en concordancia con la normativa vigente.
- Para el esquema de protección de diferencial de barras (87B) se permitirán protecciones del tipo distribuida.

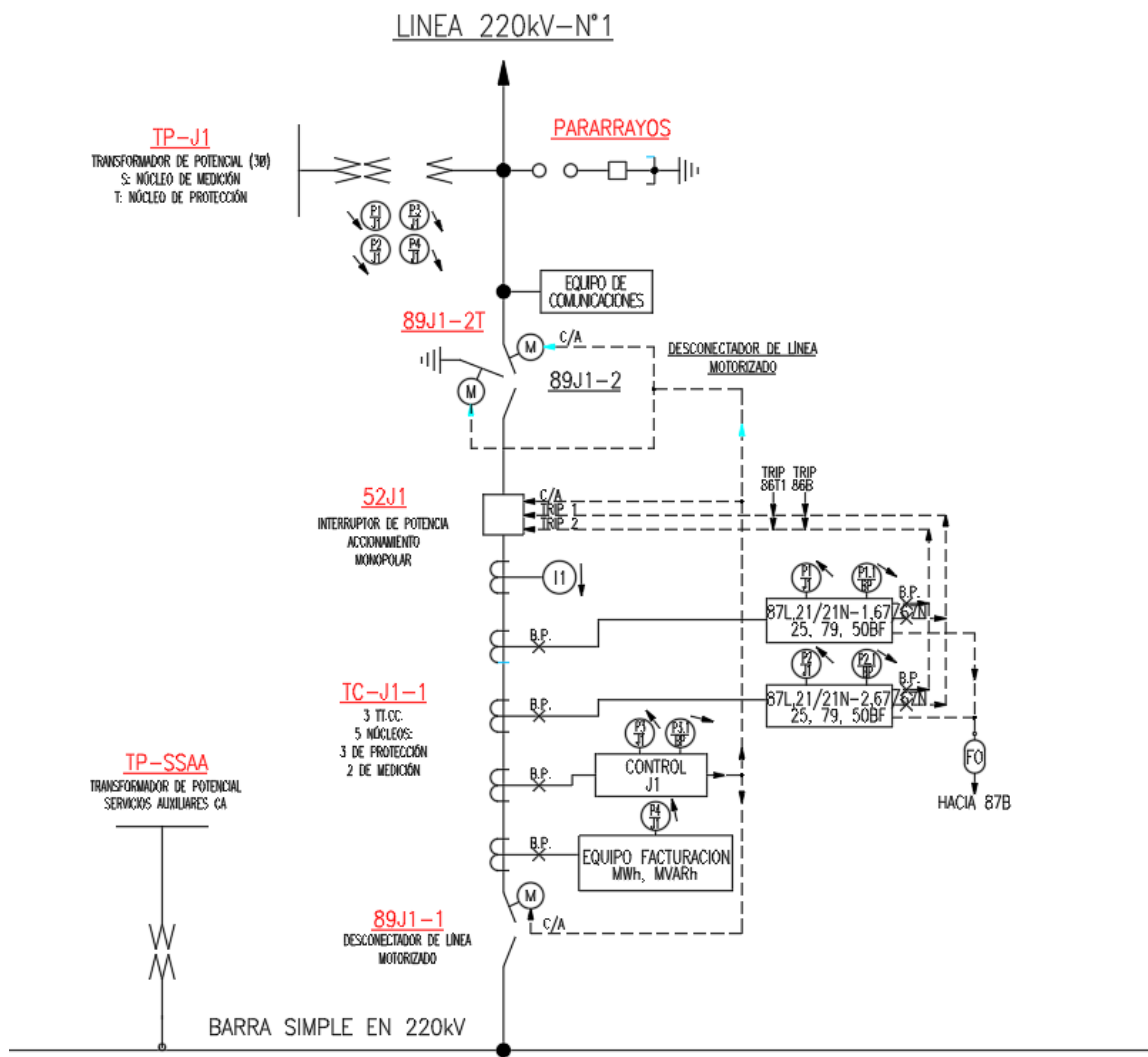


Figura 2.3: Ejemplo de un diagrama de Unilineal Funcional de un paño en configuración barra simple en 220 kV

2.1. Del tipo doble barra mas transferencia

Este tipo de configuración posee tres barras: dos de ellas llamadas barras principales, las cuales se conectan entre sí mediante un interruptor acoplador y la tercera denominada barra de transferencia. En condiciones normales de operación, todos los circuitos se conectan a alguna barra principal, dejando la barra de transferencia para realizar maniobras. Entre las ventajas de este tipo de configuración destaca su flexibilidad de operación, esto porque:

- En líneas de doble circuito es posible realizar mantenimiento de uno de sus paños, mientras el otro sigue en servicio.
- Permite realizar bypass para líneas de transmisión.
- Permite el mantenimiento en una de las barras, sin dejar fuera de servicio la otra barra.
- La conexión de una línea a una barra u otra se puede hacer en cualquier momento.
- Permite dos llegadas que siempre deben operar por separado.
- Al fallar una barra, se interrumpe el suministro a los paños conectados a dicha barra, pero se pueden reconectar a la otra barra mediante los desconectores.

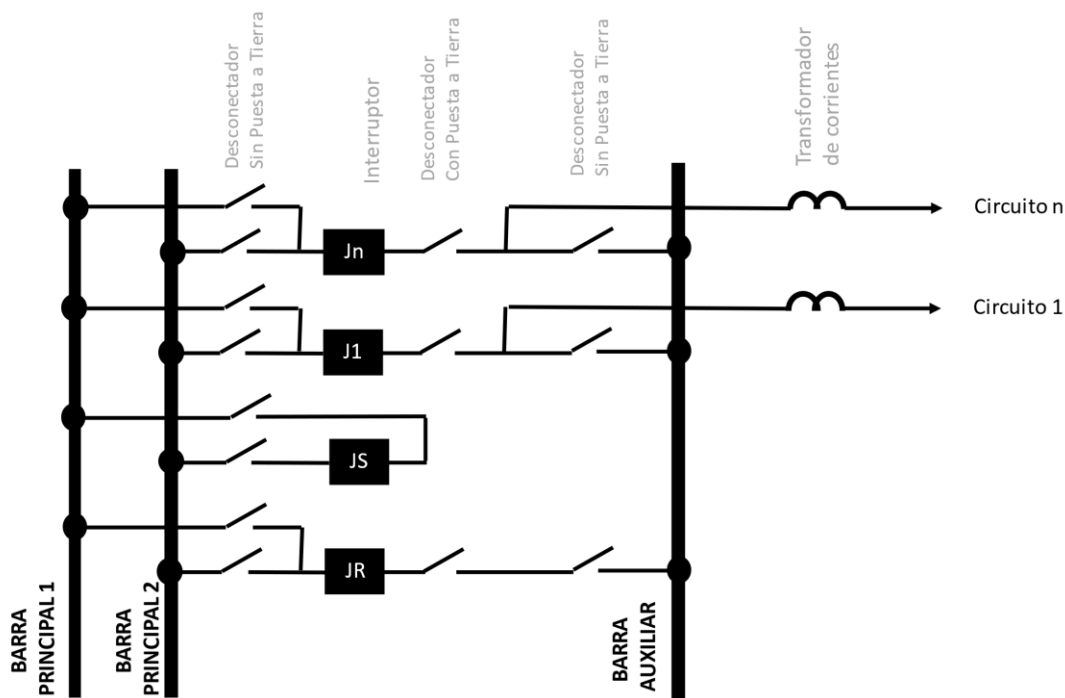


Figura 2.4: Diagrama esquemático de una subestación de 220 kV en configuración Doble Barra mas Transferencia

De acuerdo con la Plataforma Infotécnica del Coordinador Eléctrico Nacional, a la fecha existen 22 subestaciones de 220 kV cuya configuración es del tipo doble barra mas transferencia. El detalle de ellas

se presenta en la Tabla 2-2. En general, este tipo de subestaciones corresponden a subestaciones de maniobra, capaz de unir uno o más circuitos del sistema eléctrico.

Tabla 2-2: Subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional en configuración Doble Barras más Transferencia en 220 kV

Nombre	Nombre Propietario	Año entrada en operación
S/E MAIPO	COLBÚN TRANSMISIÓN	1997
S/E DON GOYO	PARQUE EÓLICO EL ARRAYÁN	2014
S/E CARRERA PINTO	TRANSELEC	1991
S/E LOS VILOS	TRANSELEC	1979
S/E POLPAICO (TRANSELEC)	TRANSELEC	S/I
S/E PUERTO MONTT	TRANSELEC	1989
S/E QUILLOTA	TRANSELEC	1982
S/E VALDIVIA	TRANSELEC	1989
S/E CAUTIN	TRANSELEC	2007
S/E CIRUELOS	TRANSELEC	2003
S/E ANTILLANCA	STS	2012
S/E RAPEL	TRANSELEC	1968
S/E ANTUCO (TRANSELEC)	TRANSELEC	1979
S/E PILAUCO	STS	2013
S/E RAHUE	TRANSELEC	2013
S/E ATACAMA	TRANSELEC	1998
S/E COLLAHUASI	MINERA COLLAHUASI	1998
S/E CRUCERO	ENGIE	1987
S/E ENCUENTRO	TRANSELEC	1995
S/E LAGUNAS	TRANSELEC	1996
S/E MMH	CODELCO CHILE - DIVISIÓN MINISTRO HALES	2013
S/E TARAPACÁ	TRANSELEC	1996

En lo que respecta al año de entrada en operación, llama la atención que la última subestación del tipo doble Barra mas Barra de transferencia que se conectó en el sistema eléctrico data del año 2014 (S/E Don Goyo). Lo anterior responde a las exigencias normativas que comenzaron a regir en el sistema. En particular, la NTSyCS del año 2019 [9] señala en su artículo 3-25 “la configuración específica de las nuevas subestaciones deberá ser tal que la falla de severidad 9¹ en ellas pueda ser controlada sin propagarse a otras instalaciones no falladas”.

¹ Severidad 9: Cortocircuito monofásico a tierra sin impedancia de falla en una **sección de barra de la subestación**, seguido de su desconexión en tiempo normal por acción de los Sistema de Protecciones que cubren la Barra.

Considerando lo anterior, ante cualquier falla en una sección de la barra de transferencia no podría ser controlada sin propagarse a otras instalaciones no falladas. Además, ante el mantenimiento de un interruptor, es necesario sacar de servicio todo el paño respectivo. Considerando lo anterior, se dejó de construir subestaciones de este tipo y se comenzó el auge de las subestaciones de Interruptor y Medio, que a diferencia de la doble barra mas transferencia, si permite la continuidad de servicio tanto en mantenimiento de un paño o barra, y ante falla de circuitos, barras o paños.

A nivel de diagrama de disposición de equipos, una subestación de 220 kV del tipo doble barra mas transferencia posee la siguiente estructura:

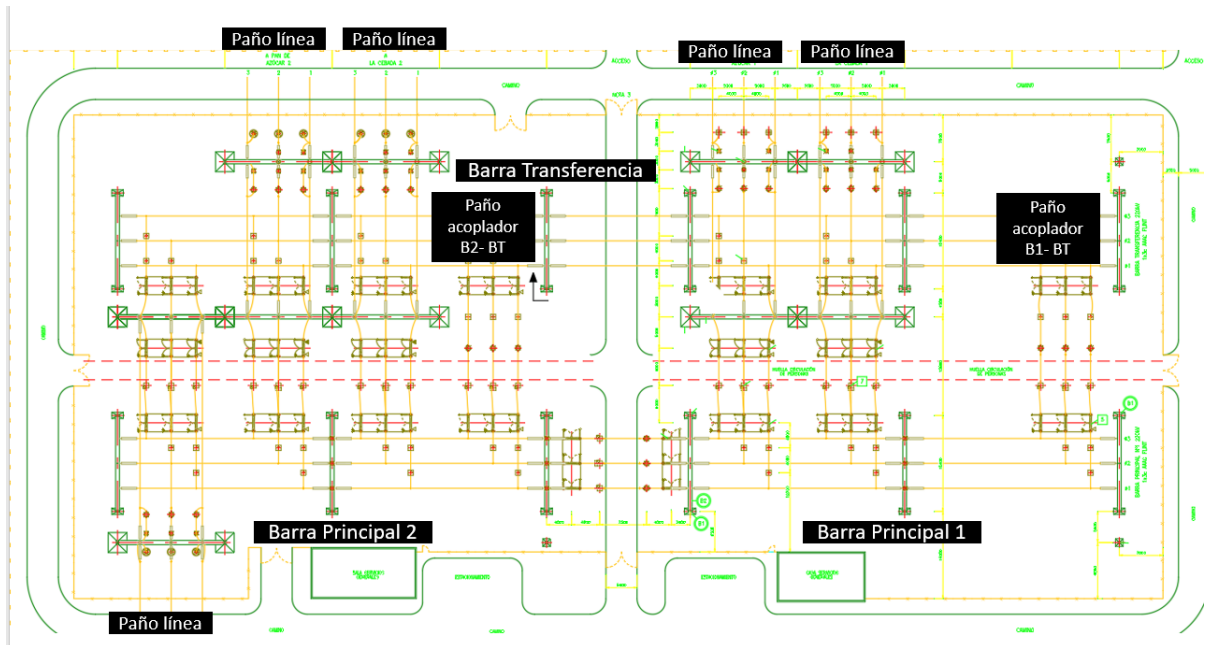


Figura 2.5: Ejemplo de un diagrama de planta de una subestación en configuración doble barra mas transferencia

En general, un paño de línea 220 kV que permita la conexión de un nuevo proyecto de generación posee la siguiente estructura:

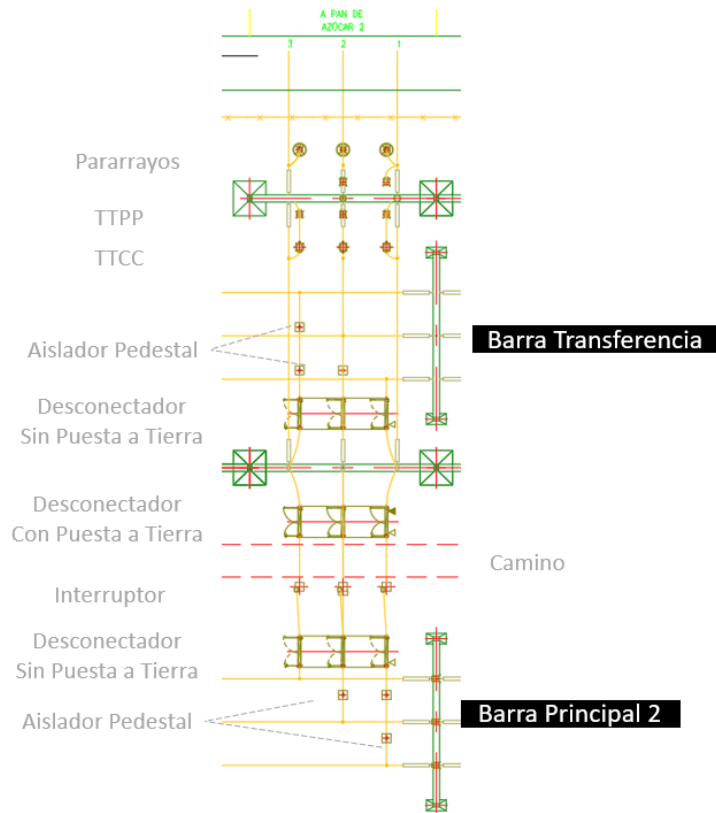


Figura 2.6: Ejemplo de un paño de línea conectado a una subestación doble barra mas transferencia

Se aprecia que además de los equipos primarios, es necesario agregar aisladores de pedestal para poder respetar las distancias mínimas eléctricas de cada subestación. En particular, un paño de línea utiliza alrededor de 6 aisladores de pedestal.

En lo que respecta al diagrama unilineal funcional, en general cada paño de línea de una subestación del tipo doble barra mas barra de transferencia posee la siguiente estructura:

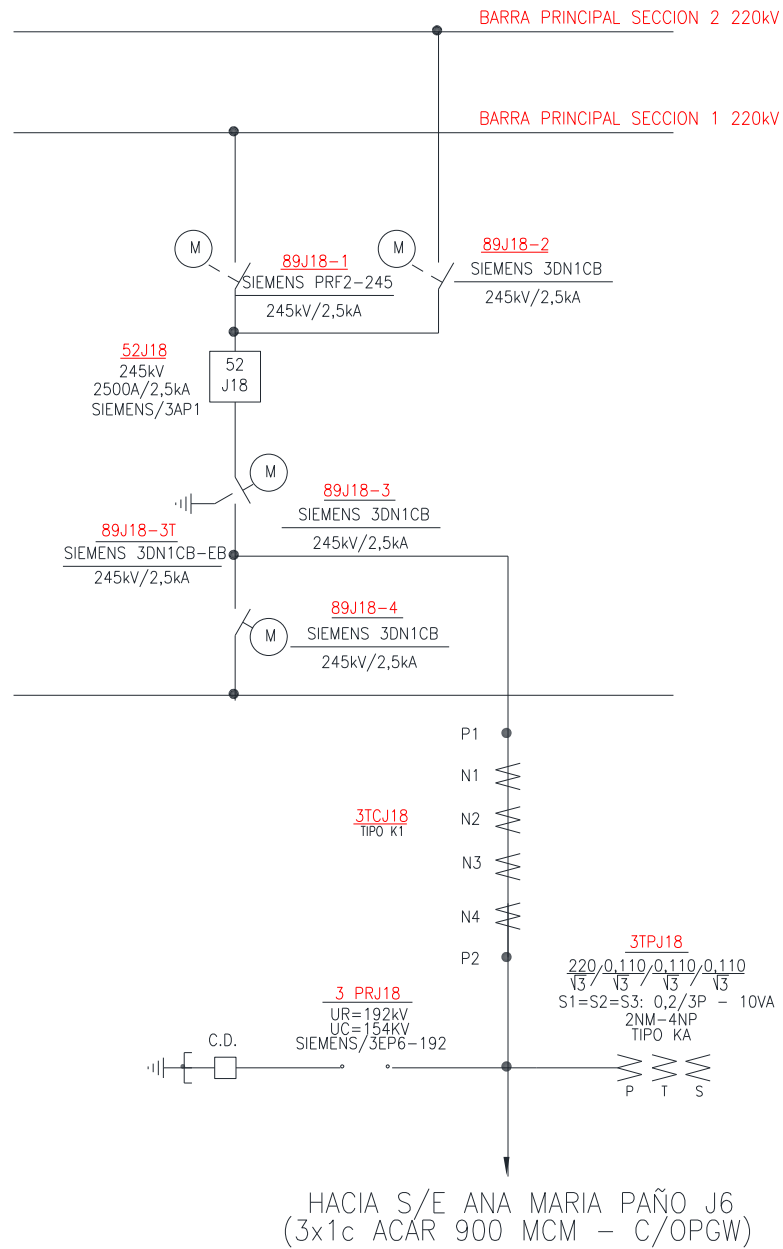


Figura 2.7: Ejemplo de un diagrama de Unilineal Funcional de un paño en configuración doble barra mas transferencia. Paño J18 de S/E Encuentro.

2.2. Del tipo interruptor y medio.

Es el tipo de configuración más confiable y robusta que se encuentra en el sistema eléctrico [1]. Posee dos barras principales y su nombre se debe al hecho de exigir tres interruptores entre dichas barras (ver Figura 2.8). Cada grupo compuesto de tres interruptores se denomina “diagonal”. En condición normal, la subestación del tipo interruptor y medio opera con ambas barras energizadas y todos los interruptores cerrados y cada barra principal posee su propia protección diferencial de barras.

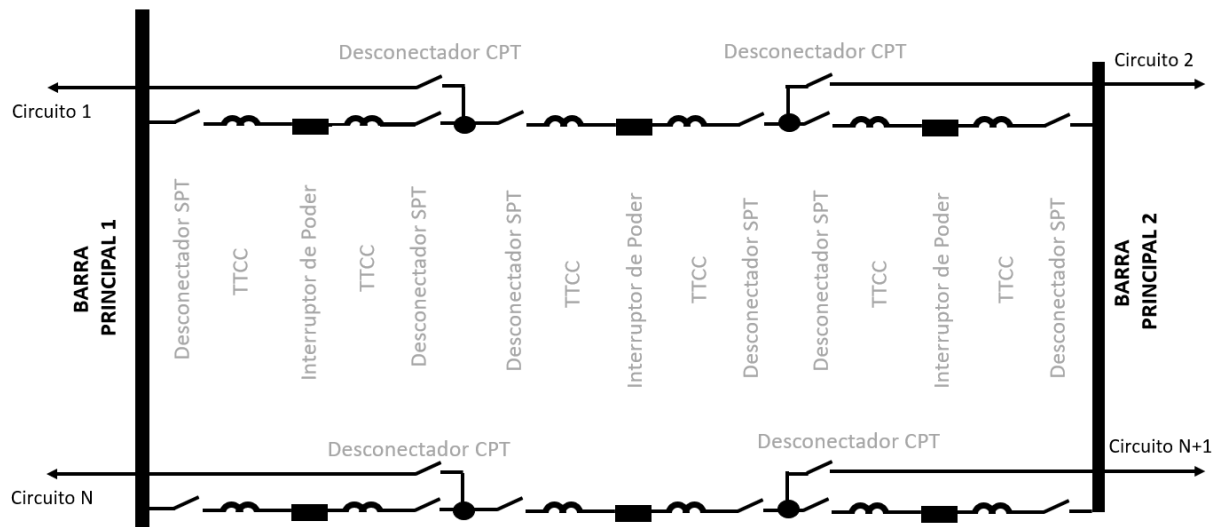


Figura 2.8: Diagrama esquemático de una subestación de 220 kV en configuración interruptor y medio.

Entre sus ventajas se encuentran:

- Es posible hacer mantenimiento en cualquier interruptor sin suspender el servicio o alterar el sistema de protección de los demás circuitos.
- Ante una falla en un interruptor, no interrumpe ningún circuito. Además, en el caso de falla en barras, se desconectan los interruptores que llevan energía a la barra afectada sin dejar fuera de servicio ninguna línea. Por lo tanto, otorga así un alto grado de confiabilidad y seguridad tanto por fallas en los interruptores y en las barras.
- La configuración del tipo interruptor y medio si permite la redundancia exigida en el artículo 3-25 de la NTSyCS. En ese sentido, la falla severidad 9 si es posible controlarla sin que se propague a instalaciones no falladas. Por esta razón, todas las nuevas subestaciones de 220 kV que son decretadas por la CNE son de este tipo de configuración.

- Permite el crecimiento modular de los servicios auxiliares de corriente continua y de los sistema de control-medidas y protecciones. En ese sentido, se considera una caseta por cada diagonal, la cual alojará los servicios de comunicaciones, control, protecciones y servicios auxiliares de corriente alterna y continua.

Entre sus desventajas se encuentran:

- No es una configuración flexible porque se opera con ambas barras energizadas y todos los interruptores cerrados.
- El hecho de tener dos barras no significa que los circuitos puedan ser conectados independientemente a cualquiera de ellas como el caso de doble barra.
- En el caso que todas las diagonales estén copadas y un nuevo proyecto de generación necesite ampliar la subestación, dicho proyecto debe incorporar de igual forma 2 interruptores, por lo que representa un sobre costo para la instalación.

De acuerdo a la plataforma infotécnica, actualmente 14 subestaciones del tipo interruptor y medio han estado en servicio hasta la fecha. Cabe señalar dicho número irá en aumento en los próximos años debido a que todas las nuevas subestaciones de 220 kV decretadas por la Comisión Nacional de Energía desde el año 2015 a la fecha serán del tipo interruptor y medio.

Tabla 2-3: Subestaciones de 220 kV del Sistema Eléctrico Nacional en configuración interruptor y medio

Nombre	Nombre Propietario	año entrada en operación
S/E PUNTA COLORADA	TRANSELEC	2002
S/E SAN LUIS	TRANSQUILLOTA	1998
S/E ALTO MELIPILLA	CHILQUINTA	2020
S/E TEN GIS	TEN	2017
S/E MIRAJE	TRANSELEC	2016
S/E KIMAL	SATT	2018
S/E NUEVA PICHIRROPULLI	ELETRANS S.A.	2017
S/E ILLAPA	DIEGO DE ALMAGRO TRANSMISORA DE ENERGÍA S.A.	2018
S/E PUNTA SIERRA	Pacific Hydro Punta Sierra SpA	2018
S/E PUENTE NEGRO	COLBÚN TRANSMISIÓN	2018
S/E SAN SIMON	AUSTRIAN SOLAR CHILE CUATRO SpA	2019
S/E FRONTERA	TRANSELEC	2020
S/E NUEVA POZO ALMONTE	RED ELÉCTRICA DEL NORTE S.A	2020
S/E SECCIONADORA RIO MALLECO	TRANSELEC	2020

En general, una diagonal de 220 kV en configuración interruptor y medio, posee la siguiente disposición de equipos – Planta:

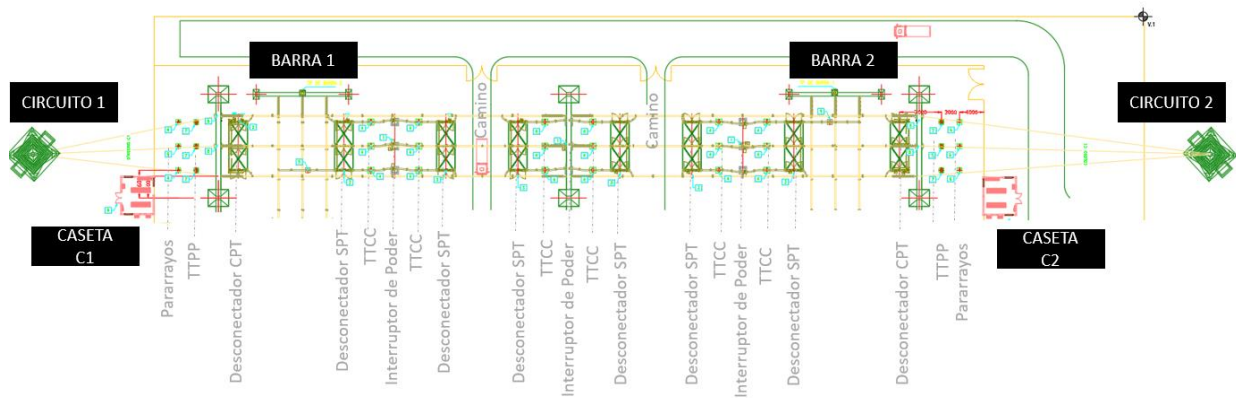


Figura 2.9: Ejemplo de una diagonal de 220 kV en configuración interruptor y medio

A nivel de Diagrama Unilineal Funcional, el Coordinador Eléctrico Nacional posee criterios para el diseño de esquemas basados en interruptor y medio. De acuerdo a [11], se necesita considerar:

- Los transformadores de corriente asociados a las diagonales deberán tener típicamente, al menos 5 núcleos de los cuales 3 serán de protección y 2 de medición.
- Se utilizarán transformadores de potencial monofasicos en la líneas de transmisión para sensar la tensión proveniente del extremo remoto.
- En concordancia con la NTSyCS, los interruptores deberán ser de operacion monopolar.
- La función de respaldo local (50BF), deberá considerar en su logica de operación generar un retrip sobre el elemento protegido y una configuración tal que permita el restablecimiento o reset de la función.

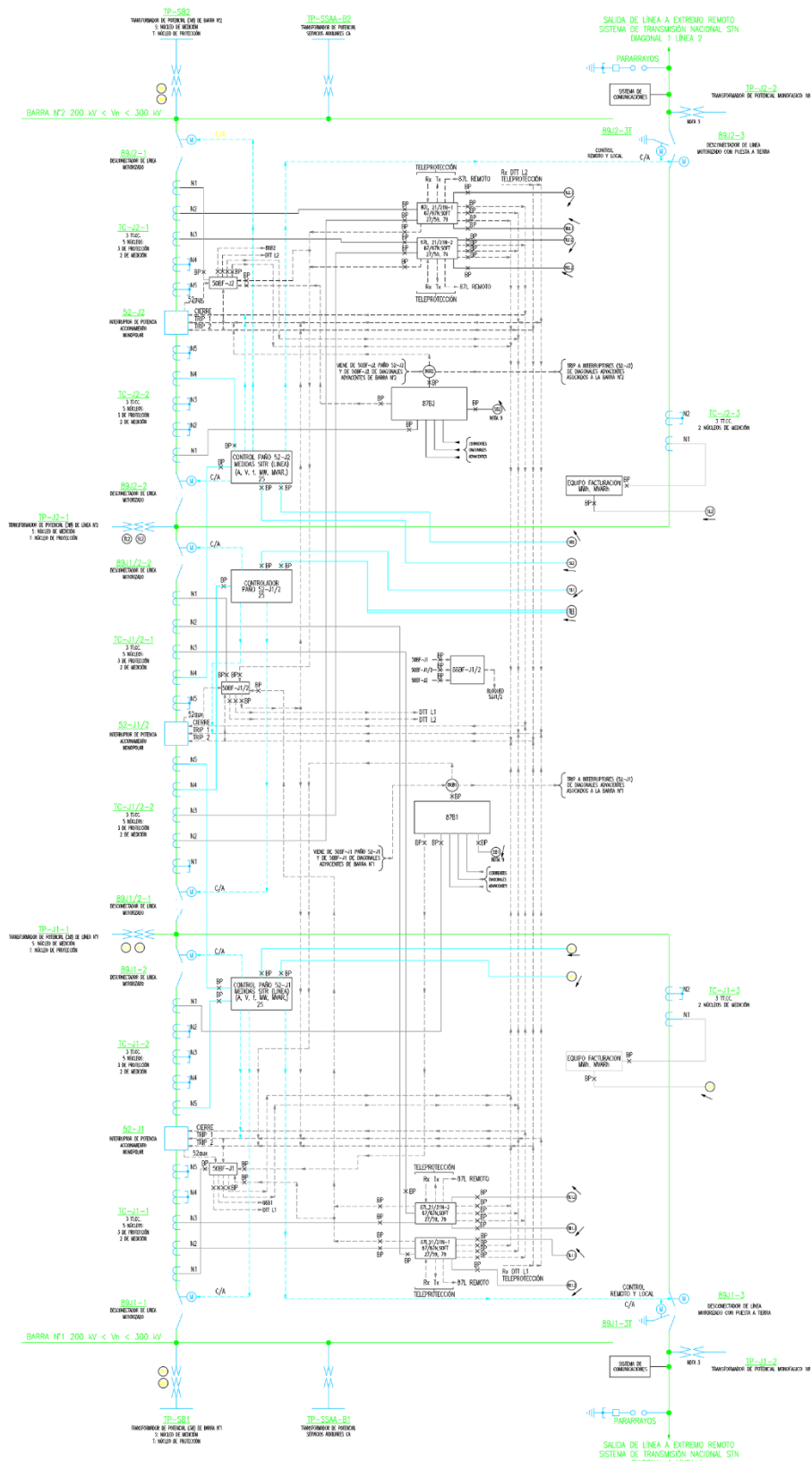


Figura 2.1: Diagrama Unilineal Funcional una diagonal de 220 kV en configuración interruptor y medio

Capítulo 3: Comparación Técnica - Económica

El presente capítulo presenta una comparación Técnica – Económica de tres tipos de configuraciones: barra simple, doble barra mas transferencia e interruptor y medio. Cabe señalar los patrones de comparación serán relacionados a un nuevo paño de línea de 220 kV que necesita un proyecto de generación para poder inyectar su energía al Sistema Eléctrico Nacional.

Equipos necesarios

Tabla 3-1: Comparación de los equipos necesarios entre los diferentes tipos de configuraciones

Ítem necesario para conectar un nuevo paño de generación	Barra Simple	Doble Barra mas transferencia	Interruptor y Medio
Interruptor de poder	1	1	Si la subestación no tiene medias diagonales disponibles, el nuevo Proyecto de generación debe ampliar la barra e incorporar 2 interruptores. Solo en el caso que exista una media diagonal disponible, el Proyecto de generación debe incluir 1 interruptor.
Desconectador Sin Puesta a Tierra	1	3	2 por cada interruptor.
Desconectador Con Puesta a Tierra	1	1	1
Transformador de Potencial	3	3	3
Transformador de Corriente	3	3	6 por cada interruptor
Pararrayos	3	3	3
Sala de Control, protecciones y comunicaciones	Se conecta a los Servicios Auxiliares existentes	Se conecta a los Servicios Auxiliares existentes	Es necesario construir una caseta
Aisladores de Pedestal	No	6	6

Espacio Físico

Para determinar el espacio físico que ocupa diferentes configuraciones, se utilizó el software Google Earth para ubicar espacialmente una subestación que está actualmente en servicio. Con dicha herramienta, se procedió a medir el perímetro de la subestación. Para el caso de Barra simple, se utilizó como base la S/E Monte Redondo 220 kV. Para doble barra mas transferencia la subestación La Cebada 220 kV y finalmente, para Interruptor y Medio se utilizó la S/E Kimal 220 kV.

Tabla 3-2: Comparación del espacio físico necesario entre los diferentes tipos de configuraciones

Ítem	Barra Simple	Doble Barra mas transferencia	Interruptor y Medio
Cantidad de Metros cuadrados necesarios necesarios para instalar un nuevo paño de generación	$17,2 \times 23 \text{ m}^2$ = 400 m ² app. OBS: se utiliza como ejemplo el paño de la S/E Monte Redondo 220 kV. No incluye el transformador elevador ni las celdas de Media tension.	$17.2 \times 63,5 \text{ m}^2$ = 1100 m ² app. OBS: se utiliza como ejemplo el paño La Cebada la S/E Don Goyo 220 kV.	$17,2 \times 81 \text{ m}^2$ = 1400 m ² app OBS: Se considera un nuevo paño de generación (2 interruptores). Incluye la caseta de comunicaciones.

Costos

Para los costos, se utilizó como referencia el documento [12].

Tabla 3-3: Comparación de los costos de conexión entre los diferentes tipos de configuraciones

Ítem	Barra Simple	Doble Barra mas transferencia	Interruptor y Medio
Valor en USD del paño de conexión a la barra de 220 kV OBS: considera los equipos indicados en la tabla 3.1 y los costos indicados en el Anexo C	USD \$463.432	USD 534.143	\$1.145.326

3.4. Confiabilidad de Operación

Tabla 3-4: Comparación de la confiabilidad de operación entre los diferentes tipos de configuraciones

Ítem	Barra Simple	Doble Barra mas transferencia	Interruptor y Medio
¿Qué ocurre ante la falla de un interruptor?	Se envía Trip 50BF al resto de interruptores y por lo tanto, se desenergiza complementa la subestación	Se envía Trip 50BF a todos los interruptores conectados a la barra donde se encuentra conectado el interruptor fallado. Los circuitos conectados a la barra contraria continúan en operación	Si el interruptor fallado es de barra, se envía Trip 50BF hacia el interruptor central adyacente y hacia todos los interruptores conectados a la barra donde se encuentra conectado el interruptor fallado. La consecuencia es que se desenergiza el circuito alimentado por el interruptor de barra fallado, pero el resto de los circuitos continúan energizados Si el interruptor fallado es de el central, se envía Trip 50BF hacia los interruptores adyacentes. La consecuencia es que se desenergizan los circuitos alimentados por el interruptor central fallado, pero el resto de los circuitos continúan energizados.
¿Qué ocurre ante la operación de la diferencial de barras?	Se desenergiza complementa la subestación	Se desconectan todos los circuitos que se conectan a dicha barra, pero de igual forma se mantienen en servicio todos los circuitos a través de la otra barra principal.	Se desconectan todos los interruptores que se conectan a dicha barra, pero de igual forma se mantienen en servicio todos los circuitos a través de la otra barra principal.
¿Es posible realizar mantenimiento de algún interruptor sin afectar el circuito?	No, es necesario desenergizar el circuito	Si, uno a la vez	Si, uno por diagonal
¿Cumple con las exigencias del artículo 3-25 ² de la NTSyCS (nuevas subestaciones)?	No.	No.	Si

² La configuración específica de las nuevas subestaciones deberá ser tal que la falla de severidad 9 en ellas pueda ser controlada sin propagarse a otras instalaciones no falladas

Capítulo 4: Conclusiones

En el presente documento se describieron las características técnicas y económicas principales de tres tipos de subestaciones de 220 kV. Esto es barra simple, doble barra mas transferencia e interruptor y medio. Entre ellas destacan:

Configuración barra simple:

- Es el tipo de configuración que utiliza la menor cantidad de equipos de patio, lo que hace que sea la opción más económica. Solo tiene una barra, la cual une diferentes circuitos.
- Un paño de línea en configuración barra simple de una subestación de 220 kV está en torno a USD 460.000. Además de lo anterior, es la opción que ocupa menor espacio, aproximadamente 400 m².
- En la otra vereda, este tipo de configuración es que ofrece la menor confiabilidad de operación. Esto debido a que cualquier falla en algún interruptor o en la barra principal, se desenergiza completamente la subestación. Además, para hacer mantenimiento a algún interruptor es necesario desconectar completamente el circuito.
- El principal uso de este tipo de configuración en el Sistema Eléctrico Nacional ha sido en subestaciones elevadores de proyectos de generación.

Configuración doble barra mas transferencia:

- Este tipo de configuración posee tres barras. Dos de ellas llamadas barras principales y la última barra de transferencia. En operación normal los circuitos se conectan a alguna barra principal y a la barra de transferencia.
- Un paño de línea agrega un desconectar sin puesta a tierra adicional que en comparación a la configuración Barra Simple. En ese sentido, su valor aumenta a USD 534.000 USD.
- Si bien solo agrega un equipo adicional, la conexión necesita prácticamente el triple de espacio que la configuración en Barra Simple.
- A nivel operacional, este tipo de configuración permite el mantenimiento de un interruptor a la vez sin desconectar el circuitos.
- El principal uso de este tipo de configuración en el Sistema Eléctrico Nacional ha sido en subestaciones de maniobra. Ahora bien, desde el año 2015, las exigencias normativas impusieron más restricciones, que llevaron a que este tipo de configuración no se siguiera construyendo³.

³ NTSyCS 2019 artículo 3-25: Toda nueva subestación debe ser tal que ante la falla de severidad 9, puede ser controlada sin propagarse a otras instalaciones no falladas.

Configuración interruptor y medio.

- Es la configuración que permite la mayor confiabilidad en el Sistema Eléctrico Nacional. Dado que es la configuración más económica que cumple con lo estipulado en el artículo 3-25 de la NTSyCS, todas las nuevas subestaciones de 220 kV que decreta la Comisión Nacional de Energía son del tipo interruptor y medio.
- Ante una falla en barras, los circuitos siguen en servicio. Los circuitos siguen siendo alimentados desde la barra contraria, manteniendo la continuidad de suministro.
- Permite el mantenimiento de cualquier interruptor sin desenergizar circuitos.
- Este tipo de configuración posee 2 barras principales y su nombre se debe al hecho de exigir tres interruptores entre dichas barras.
- Es el tipo de configuración que posee la mayor cantidad de equipos. Esto repercute en el espacio físico que necesita y en el costo de los equipos. Necesita aproximadamente 1400 m² y su valor asciende aproximadamente a 1.1 MMUSD (prácticamente el triple de una configuración barra simple).

Referencias

- [1] MEJÍAS VILLEGAS, Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Segunda Edición, 1991.
- [2] COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL, Plataforma INFOTÉCNICA [En línea], <<https://infotecnia.coordinador.cl>> [consulta 13 febrero 2021].
- [3] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, Decretos de expansión de la transmisión N° 293/2017, 418/1017, 4/2019 Y 231/2019.
- [4] JOSÉ RAUL MARTIN, Diseño de Subestaciones Eléctricas, segunda edición 1992.
- [5] HÉCTOR PAVEZ – Factibilidad de Conexión de un Proyectos Eólico en las Cercanías de la S/E Los Lagos. Memoria de Titulación (Ing. Eléctrico), Santiago UTFSM. Departamento de Electricidad, Septiembre 2020.
- [6] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, Resolución Exenta 154/2017: Establece Términos y Condiciones de Aplicación del Régimen de Acceso Abierto a que se refieren los artículos 79° y 80 de la Ley General de Servicios Eléctricos. Santiago, Abril 2017.
- [7] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, Resolución Exenta 244/2019: Aprueba Informe Técnico Definitivo de Calificación de Instalaciones de los Sistemas de Transmisión para el período 2020-2023. Santiago, Abril 2019.
- [8] COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL, Antecedentes de Ingeniería Requeridos para la Revisión de las Solicitudes de Acceso Abierto. Santiago, Octubre 2019.
- [9] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, Santiago, Diciembre 2019.
- [10] COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL, Criterios de Diseño de Sistemas de Transmisión en configuración barra simple, Plano COOR-DID-CP-TEC-PLN-DUF-AIS-J-00007-Rev.0, , diciembre 2018

- [11] COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL, Criterios de Diseño de Sistemas de Transmisión, DUF Interruptor y Medio, Plano COOR-DID-CP-TEC-PLN-DUF-AIS-J-00001-Rev.0, diciembre 2018.
- [12] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, “Estudio de Valorización de las Instalaciones del Sistema de Transmisión Nacional – Informe Final Definitivo Versión 3”, Publicado en octubre 2020.

Anexos

Anexo A: Formulario SASC

rsión 04-09-20

Solicitud de Aprobación de Solución de Conexión

Antecedentes Generales del Solicitante

Nota: Para aprobar la etapa de admisibilidad el proyecto debe contener la totalidad de los antecedentes, los que se deben presentar mediante carta firmada por el Representante Legal.

Razón Social ⁽¹⁾			
RUT			
Giro			
Domicilio Legal			
Contacto de Representante Legal			
Nombre del Representante Legal ⁽²⁾			
e-mail		Teléfono	
Coordinadores de proyectos			
Nombre coordinador de proyecto ⁽³⁾			
e-mail		Teléfono	
Nombre coordinador de proyecto ⁽³⁾			
e-mail		Teléfono	

Antecedentes del Proyecto

Nombre del Proyecto			
Tipo Proyecto (Gen. / Trans. / Consumo)		Potencia Nominal [MW]	
Consumo propio [MW]		Factor de Potencia	
En caso de proyectos de generación, tipo de tecnología (eólica / hidro / solar / térmica / otro)			
Perfil estimado de generación o consumo anual con resolución horaria, según corresponda <i>(Incluir como Anexo 1 al formulario)</i>			
Ubicación Geográfica del Proyecto			
Coordenadas U.T.M. WGS84	Huso	Este	Norte
Comuna		Región	

Antecedentes del Punto de Conexión

Nombre de la S/E			
Nivel de Tensión [kV]			
Sección de barra a la cual se conecta			
Paño al cual se conecta			
Carácter de conexión (Indefinido / Temporal)			
Fecha estimada de Declaración en Construcción			
Fecha estimada de Interconexión			
Ubicación Geográfica del punto de conexión			
Coordenadas U.T.M. WGS84	Huso	Este	Norte
Comuna		Región	

Informe descriptivo del proyecto

(Incluir como Anexo 2 de acuerdo a requerimientos indicados en el archivo "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", en la Sección N°2, subsección: Antecedente N°1: Informe Descriptivo del Proyecto. ⁽⁴⁾)

Plano Diagrama Unilineal Funcional

(Incluir como Anexo 3 de acuerdo a requerimientos indicados en el archivo "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", en la Sección N°2, subsección: Antecedente N°2: Plano Diagrama Unilineal Funcional.)

Plano de Disposición General de Instalaciones

(Incluir como Anexo 4 de acuerdo a requerimientos indicados en el archivo "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", en la Sección N°2, subsección: Antecedente N°3: Plano de Disposición General de Instalaciones.)

Instalaciones existentes que se adecuan, modifican o refuerzan

(Incluir como Anexo 5 de acuerdo a requerimientos indicados en la pestaña "Obras de Conexión")

Sistemas de comunicaciones

(Incluir como Anexo 6 de acuerdo a requerimientos indicados en el archivo "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", en la Sección N°2, subsección: Antecedente N°4: Plano de Disposición General de Instalaciones.)

⁽¹⁾ Para dar curso a la Solicitud, las empresas que no pertenezcan al Registro Único de Coordinados (REUC) deberán registrarse en la siguiente página web:
<https://catastro.coordinador.cl>

⁽²⁾ Si el representante que firma es distinto del representante legal, incluir en un anexo la autorización correspondiente.

⁽³⁾ Expresa la autorización de la empresa para que un coordinador de proyecto permanezca en copia en las comunicaciones emitidas por el Coordinador.

⁽⁴⁾ Documento "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", disponible en:
<https://www.coordinador.cl/desarrollo/documentos/acceso-abierto/aplicacion-del-regimen-de-acceso-abierto/formularios/>

Figura A.1: Formulario SASC

Anexo B: Formulario SUCT

rsión 04-09-20

Solicitud de Uso de Capacidad Técnica

Antecedentes Generales del Solicitante

Nota: Para aprobar la etapa de admisibilidad el proyecto debe contener la totalidad de los antecedentes, los que se deben presentar mediante carta firmada por el Representante Legal.

Razón Social ⁽¹⁾			
RUT			
Giro			
Domicilio Legal			
Contacto de Representante Legal			
Nombre del Representante Legal ⁽²⁾			
e-mail		Teléfono	
Coordinadores de proyectos			
Nombre coordinador de proyecto ⁽³⁾			
e-mail		Teléfono	
Nombre coordinador de proyecto ⁽³⁾			
e-mail		Teléfono	

Antecedentes del Proyecto

Nombre del Proyecto			
Tipo Proyecto (Gen. / Trans. / Consumo)		Potencia Nominal [MW]	
Consumo propio [MW]		Factor de Potencia	
En caso de proyectos de generación, tipo de tecnología (eólica / hidro / solar / térmica / otro)			
Perfil estimado de generación o consumo anual con resolución horaria, según corresponda <i>(Incluir como Anexo 1 al formulario)</i>			
Ubicación Geográfica del Proyecto			
Coordenadas U.T.M. WGS84	Huso	Este	Norte
Comuna	Región		

Antecedentes del Punto de Conexión

Conexión a S/E o en Derivación (línea)			
Nombre de la S/E o Línea (extremos)			
En caso de derivación, distancia a S/E más cercana			
Nivel de Tensión [kV]			
Carácter de conexión (Indefinido / Temporal)			
Fecha estimada de Declaración en Construcción			
Fecha estimada de Interconexión			
Ubicación Geográfica del punto de conexión			
Coordenadas U.T.M. WGS84	Huso	Este	Norte
Comuna	Región		
Informe descriptivo del proyecto			
<i>(Incluir como Anexo 2 de acuerdo a requerimientos indicados en el archivo "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", en la Sección N°2, subsección: Antecedente N°1: Informe Descriptivo del Proyecto. ⁽⁴⁾)</i>			
Plano Diagrama Unilineal Funcional			
<i>(Incluir como Anexo 3 de acuerdo a requerimientos indicados en el archivo "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", en la Sección N°2, subsección: Antecedente N°2: Plano Diagrama Unilineal Funcional.)</i>			
Plano de Disposición General de Instalaciones			
<i>(Incluir como Anexo 4 de acuerdo a requerimientos indicados en el archivo "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", en la Sección N°2, subsección: Antecedente N°3: Plano de Disposición General de Instalaciones.)</i>			
Instalaciones existentes que se adecuan, modifican o refuerzan			
<i>(Incluir como Anexo 5 de acuerdo a requerimientos indicados en la pestaña "Obras de Conexión")</i>			
Sistemas de comunicaciones			
<i>(Incluir como Anexo 6 de acuerdo a requerimientos indicados en el archivo "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", en la Sección N°2, subsección: Antecedente N°4: Plano de Disposición General de Instalaciones.)</i>			
Garantía			
<i>Incluir propuesta preliminar de garantía como Anexo 7.</i>			

⁽¹⁾ Para dar curso a la Solicitud, las empresas que no pertenezcan al Registro Único de Coordinados (REUC) deberán registrarse en la siguiente página web:
<https://catastro.coordinador.cl>

⁽²⁾ Si el representante que firma es distinto del representante legal, incluir en un anexo la autorización correspondiente.

⁽³⁾ Expresa la autorización de la empresa para que un coordinador de proyecto permanezca en copia en las comunicaciones emitidas por el Coordinador.

⁽⁴⁾ Documento "Antecedentes de Ingeniería requeridos para la revisión de las solicitudes de acceso abierto", disponible en:
<https://www.coordinador.cl/desarrollo/documentos/acceso-abierto/aplicacion-del-regimen-de-acceso-abierto/formularios/>

Figura A.2: Formulario SUCT

Anexo C: Costos considerados de equipos primarios

Los costos que se presentan a continuación fueron obtenidos del Estudio de Valorización de las Instalaciones del Sistema de Transmisión Nacional, publicado por la Comisión Nacional de Energía el 30 de septiembre de 2020 [12].

Tabla C-1: Costos de equipos primarios

Equipo	Características	Valor Equipo (USD)
Interruptor de Poder	Interruptor 245 kV - 2000 A - 40 kA - comando monopolar	\$ 98 300
Desconectador Sin Puesta a Tierra	Desconectador trifásico 245 kV - 2000 A - corte central	\$ 16 215
Desconectador Con Puesta a Tierra	Desconectador trifásico c/PaT 245 kV - 2000 A - corte central	\$ 19 000
Transformador de Corriente	Transformador monofásico de corriente 245 kV - Razón 1200/x A - 4 núcleos	\$ 20 850
Transformador de Potencial	Transformador monofásico de potencial 245 kV - Razón 230000/ $\sqrt{3}$:115/ $\sqrt{3}$ - 115 V	\$ 12 100
Pararrayos	Pararrayos OZn 245 kV - 10 kA	\$ 6 500
Aislador de Pedestal	Interruptor 245 kV - 2000 A - 40 kA - comando monopolar	\$ 1 000
Caseta de Comunicaciones	Para S/E de interruptor y Medio	\$ 30 000

Adicionalmente a lo anterior, se consideran los siguientes recargos:

- Bodegaje 4%
- Flete: 10%
- Ingeniería: 8%
- Montaje: 15%
- Gastos de seguros: 3%
- ITO: 19%
- Utilidades empresa contratista: 10%
- Contingencias: 10%.
- Imprevistos 5%

Tabla C-2: Costos asociados a un paño de conexión en configuración Barra Simple

Equipo	Costo unitario	Cantidad	Costo Total Equipos	Bodegaje 4%	Flete 10%	Ingeniería 8%	I. Faena 15%	G. Seguros 3%	ITO 19%	Utilidades 10%	Contingencias 10%	Imprevistos 5%	TOTAL
	USD	-	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD
Interruptor de Poder	\$ 98300	1	\$ 98300	\$ 3932	\$ 9830	\$ 7864	\$ 14745	\$ 2949	\$ 18677	\$ 9830	\$ 9830	\$ 4915	\$ 180872
Desconectador Sin Puesta a Tierra	\$ 16215	1	\$ 16215	\$ 649	\$ 1622	\$ 1297	\$ 2432	\$ 486	\$ 3081	\$ 1622	\$ 1622	\$ 811	\$ 29836
Desconectador Con Puesta a Tierra	\$ 19000	1	\$ 19000	\$ 760	\$ 1900	\$ 1520	\$ 2850	\$ 570	\$ 3610	\$ 1900	\$ 1900	\$ 950	\$ 34960
Transformador de Corriente	\$ 20850	3	\$ 62550	\$ 2502	\$ 6255	\$ 5004	\$ 9383	\$ 1877	\$ 11885	\$ 6255	\$ 6255	\$ 3128	\$ 115092
Transformador de Potencial	\$ 12100	3	\$ 36300	\$ 1452	\$ 3630	\$ 2904	\$ 5445	\$ 1089	\$ 6897	\$ 3630	\$ 3630	\$ 1815	\$ 66792
Pararrayos	\$ 6500	3	\$ 19500	\$ 780	\$ 1950	\$ 1560	\$ 2925	\$ 585	\$ 3705	\$ 1950	\$ 1950	\$ 975	\$ 35880
Aislador de Pedestal	\$ 1000	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Caseta de Comunicaciones	\$ 30000	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
													\$ 463 432

Tabla C-3: Costos asociados a un paño de conexión en configuración doble barra mas barra de transferencia

Equipo	Costo unitario	Cantidad	Costo Total Equipos	Bodegaje 4%	Flete 10%	Ingeniería 8%	I. Faena 15%	G. Seguros 3%	ITO 19%	Utilidades 10%	Contingencias 10%	Imprevistos 5%	TOTAL
	USD	-	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD
Interruptor de Poder	\$ 98300	1	\$ 98300	\$ 3932	\$ 9830	\$ 7864	\$ 14745	\$ 2949	\$ 18677	\$ 9830	\$ 9830	\$ 4915	\$ 180872
Desconectador Sin Puesta a Tierra	\$ 16215	2	\$ 32430	\$ 1297	\$ 3243	\$ 2594	\$ 4865	\$ 973	\$ 6162	\$ 3243	\$ 3243	\$ 1622	\$ 59671
Desconectador Con Puesta a Tierra	\$ 19000	1	\$ 19000	\$ 760	\$ 1900	\$ 1520	\$ 2850	\$ 570	\$ 3610	\$ 1900	\$ 1900	\$ 950	\$ 34960
Transformador de Corriente	\$ 20850	3	\$ 62550	\$ 2502	\$ 6255	\$ 5004	\$ 9383	\$ 1877	\$ 11885	\$ 6255	\$ 6255	\$ 3128	\$ 115092
Transformador de Potencial	\$ 12100	3	\$ 36300	\$ 1452	\$ 3630	\$ 2904	\$ 5445	\$ 1089	\$ 6897	\$ 3630	\$ 3630	\$ 1815	\$ 66792
Pararrayos	\$ 6500	3	\$ 19500	\$ 780	\$ 1950	\$ 1560	\$ 2925	\$ 585	\$ 3705	\$ 1950	\$ 1950	\$ 975	\$ 35880
Aislador de Pedestal	\$ 1000	6	\$ 6000	\$ 240	\$ 600	\$ 480	\$ 900	\$ 180	\$ 1140	\$ 600	\$ 600	\$ 300	\$ 11040
Caseta de Comunicaciones	\$ 30000	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
													\$ 504307

Tabla C-4: Costos asociados a un paño de conexión en configuración interruptor y medio

Equipo	Costo unitario	Cant.	Costo Total Equipos	Bodegaje 4%	Flete 10%	Ingeniería 8%	I. Faena 15%	G. Seguros 3%	ITO 19%	Utilidades 10%	Contingencias 10%	Imprevistos 5%	TOTAL
	USD	-	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD
Interruptor de Poder	\$ 98300	2	\$ 196600	\$ 7864	\$ 19660	\$ 15728	\$ 29490	\$ 5898	\$ 37354	\$ 19660	\$ 19660	\$ 9830	\$ 361744
Desconectador Sin Puesta a Tierra	\$ 16215	4	\$ 64860	\$ 2594	\$ 6486	\$ 5189	\$ 9729	\$ 1946	\$ 12323	\$ 6486	\$ 6486	\$ 3243	\$ 119342
Desconectador Con Puesta a Tierra	\$ 19000	1	\$ 19000	\$ 760	\$ 1900	\$ 1520	\$ 2850	\$ 570	\$ 3610	\$ 1900	\$ 1900	\$ 950	\$ 34960
Transformador de Corriente	\$ 20850	12	\$ 250200	\$ 10008	\$ 25020	\$ 20016	\$ 37530	\$ 7506	\$ 47538	\$ 25020	\$ 25020	\$ 12510	\$ 460368
Transformador de Potencial	\$ 12100	3	\$ 36300	\$ 1452	\$ 3630	\$ 2904	\$ 5445	\$ 1089	\$ 6897	\$ 3630	\$ 3630	\$ 1815	\$ 66792
Pararrayos	\$ 6500	3	\$ 19500	\$ 780	\$ 1950	\$ 1560	\$ 2925	\$ 585	\$ 3705	\$ 1950	\$ 1950	\$ 975	\$ 35880
Aislador de Pedestal	\$ 1000	6	\$ 6000	\$ 240	\$ 600	\$ 480	\$ 900	\$ 180	\$ 1140	\$ 600	\$ 600	\$ 300	\$ 11040
Caseta de Comunicaciones	\$ 30000	1	\$ 30000	\$ 1200	\$ 3000	\$ 2400	\$ 4500	\$ 900	\$ 5700	\$ 3000	\$ 3000	\$ 1500	\$ 55200
													\$ 1090126

