



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**REEMPLAZO DE SUBESTACIONES CONVENCIONALES
AISLADAS EN AIRE POR TECNOLOGÍA GIS (SF6)
Análisis Técnico - Económico**

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

ALEJANDRO TOMAS FLORES RAMIREZ

**PROFESOR GUÍA:
SR. NELSON MORALES OSORIO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SR. OSCAR MOYA ARAVENA
SR. ARTURO GAJARDO VARELA**

SANTIAGO DE CHILE

ENERO, 2010

**RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: ALEJANDRO FLORES R.
FECHA: 14.01.2010
PROF. GUIA: Sr. NELSON MORALES OSORIO**

**REEMPLAZO DE SUBESTACIONES CONVENCIONALES AISLADAS EN AIRE POR
TECNOLOGÍA GIS (SF6) - Análisis Técnico - Económico**

El propósito de esta memoria es analizar los aspectos más relevantes relacionados con el reemplazo de subestaciones convencionales con aislamiento en aire por subestaciones con aislamiento en gas hexafluoruro de azufre (SF6). Se analizan distintas alternativas de equipamiento y esquema de suministro para los diferentes tipos de subestaciones, para las configuraciones de aislamiento en aire y aislamiento en SF6.

En términos generales, la selección del reemplazo de una subestación convencional por una subestación con aislamiento en gas SF6, responde a las ventajas comparativas relacionadas con un mejor aprovechamiento del espacio, menor intervención al equipamiento debido a mantenimiento, flexibilidad en la operación, mayores niveles de confiabilidad, estandarización a máxima altitud de operación, menor accidentalidad y mayor disponibilidad del terreno, entre otros.

En la actualidad, se observa una masificación en el uso de subestaciones con aislamiento en gas SF6, principalmente por la fuerte reducción en los costos de fabricación debido a su producción en serie. Con ello, están desplazando en los estudios de factibilidad a las subestaciones tradicionales con aislamiento en aire, particularmente en instalaciones de alta tensión (220 kV) ubicadas sobre los 1000 m.s.n.m., incidiendo en la toma de decisiones de las grandes empresas de minería y en las empresas de transmisión de energía eléctrica.

Se realizaron las valorizaciones de los presupuestos para cada solución (GIS y AIS) en su vida útil, resultando interesante la utilización de equipamiento GIS para las subestaciones de alta tensión tanto en S/E O'Higgins como las Estaciones de Bombeo N° 2, 3 y 4, principalmente debido a la estandarización de este tipo de equipamiento en las subestaciones eléctricas involucradas en el proyecto, las cuales se ubican hasta 2.400 m.s.n.m..

A esta valorización se debe adicionar como elemento de toma de decisión en la selección del equipamiento, el incremento en la robustez de operación y el mínimo mantenimiento que éstas tienen, reduciendo la necesidad de personal de operaciones y mantenimiento para este objeto, otorgando una gran flexibilidad operacional.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, quienes lo dieron todo por sus hijos y a los cuales debo lo que soy.

Al Sr. Arturo Gajardo Varela, quien ha sido una guía a lo largo de los años, tanto en el aspecto laboral como en el personal, siendo un ejemplo digno de seguir.

Al Sr. Nelson Morales, por quien ha sido posible visualizar el final de una tarea pendiente por tantos años.

Al Sr. Oscar Moya, por sus invaluable consejos.

A mi señora e hijas, por sus virtudes innegables.

INDICE DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
CAPÍTULO I - Introducción	7
1. Antecedentes	7
2. Alcance	10
3. Aspectos de interés general en la tecnología GIS	13
CAPITULO II – Alternativas Técnicas de Reemplazo	16
1. Alcance	16
2. Topología de las subestaciones	16
3. Comparación de los esquemas	25
CAPÍTULO III – Calidad de Servicio y Mantenibilidad	33
1. Antecedentes	37
2. Metodología	37
3. Descripción de los Presupuestos de Inversión	39
4. Evaluación Económica (Valor Actual Neto de Inversión)	45
Capítulo V – Comentarios y Conclusiones	50
REFERENCIAS	52
ANEXO A – PLANOS DE DISPOSICIÓN Y DIAGRAMAS UNILINEALES SIMPLIFICADOS	53
ANEXO B – DETALLE GENERAL DE PRESUPUESTO DE INVERSION	64

INDICE DE FIGURAS, CUADROS Y TABLAS

Lista de Figuras		Pág.
Figura N°1	Parte del SING (Sistema Interconectado del Norte Grande) donde se visualiza el Sistema Eléctrico MEL	8
Figura N°2	Obras del Proyecto NDP	9
Figura N°3	Paño (ó bahía) con doble barra y terminales de cable	15
Figura N°4	Configuración de Barra Simple	17
Figura N°5	Configuración de Barra Simple con Transferencia	17
Figura N°6	Configuración de Barra Seccionada	18
Figura N°7	Configuración de Barra Seccionada con Transferencia	19
Figura N°8	Configuración de doble Barra con Transferencia	20
Figura N°9	Configuración de Anillo	21
Figura N°10	Configuración de Interruptor y Medio	21

Lista de Cuadros		Pág.
Cuadro N°1	Ejemplos de subestaciones y sus esquemas	25
Cuadro N°2	Características de los esquemas	27
Cuadro N°3	Fortalezas y debilidades de los esquemas	28

Lista de Tablas		Pág.
Tabla N° 1:	Análisis cualitativo de alternativas – Expansión Subestación O’Higgins	35
Tabla N°2:	Análisis cualitativo de alternativas – Subestación de Bombeo (Típica)	36
Tabla N° 3:	Porcentaje sobre la inversión por concepto de costos anuales de operación y mantenimiento para la subestaciones	39
Tabla N° 4:	Valor Actual Neto de los proyectos de inversión alternativos	47
Tabla N° 5:	Presupuesto de Inversión de Obras Eléctricas - Ampliación S/E O’Higgins	48

Tabla N° 6:	Presupuesto de Inversión de Obras Eléctricas - S/E de Bombeo (típica)	49
-------------	---	----

Anexos		<u>Pág.</u>
Anexo A	Planos de disposición (en planta) y diagramas unilineales simplificados	53
	Diagrama Unilineal S/E O'Higgins 220 kV – Opción Equipamiento Convencional	54
	Diagrama Unilineal S/E O'Higgins 220 kV – Opción Equipamiento GIS Indoor	55
	Diagrama Unilineal S/E O'Higgins 220 kV – Opción Equipamiento GIS Outdoor	56
	S/E O'Higgins 220 kV – Disposición de Equipos Opción Convencional	57
	S/E O'Higgins 220 kV – Disposición de Equipos Opción GIS Indoor	58
	S/E O'Higgins 220 kV – Disposición de Equipos Opción GIS Outdoor	59
	Diagrama Unilineal S/E de Bombeo Típica – Opción Convencional	60
	Diagrama Unilineal S/E de Bombeo Típica – Opción GIS	61
	S/E de Bombeo Típica – Disposición de Equipos Opción Convencional	62
	S/E de Bombeo Típica – Disposición de Equipos Opción GIS	63
Anexo B	Detalle general de presupuesto de inversión de las alternativas	64
	Ampliación S/E O'Higgins	
	A.1 Detalle de Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 1-A (Ampliación S/E O'Higgins – AIS)	65
	A.2 Detalle de Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 2-A (Ampliación S/E O'Higgins – GIS Indoor)	67
	A.3 Detalle de Presupuesto de Inversión	69

Alternativa Solución 3-A (Ampliación S/E
O'Higgins – GIS Outdoor)

Subestaciones de Bombeo N°2, N°3 y N°4

B.1 Detalle de Presupuesto de Inversión 71
Alternativa Solución 1-B (AIS)

B.2 Detalle de Presupuesto de Inversión 73
Alternativa Solución 2-B (GIS Indoor)

CAPÍTULO I - Introducción

1. Antecedentes

Actualmente, los sistemas eléctricos de alta tensión disponen mayoritariamente de instalaciones formadas por equipos con aislamiento en aire, ocupando grandes superficies para las disposiciones en sus respectivos patios de alta tensión. Dependiendo de la zona geográfica, el costo del terreno así como las mantenciones periódicas y obsolescencia de los equipos, hacen que los costos de operación de las instalaciones sean elevados, aumentando dicho costo aún más en zonas geográficas con alta contaminación atmosférica.

El propósito de esta memoria es analizar los aspectos más relevantes relacionados con el reemplazo de subestaciones convencionales con aislamiento en aire por subestaciones con aislamiento en gas Hexafluoruro de Azufre (SF₆). Se analizan distintas alternativas de equipamiento y esquema de suministro para los diferentes tipos de subestaciones, para las configuraciones de aislamiento en aire y aislamiento en SF₆.

En términos generales, la selección del reemplazo de una subestación convencional por una subestación con aislamiento en gas SF₆, responde a las ventajas comparativas relacionadas con el mejor aprovechamiento del espacio, menor intervención de equipamiento debido a mantenimiento, flexibilidad en el mantenimiento y la operación, mejoras en los niveles de confiabilidad, estandarización a máxima altitud de operación, menor accidentalidad y mayor disponibilidad del terreno; entre otros.

Para el análisis de los aspectos más relevantes del reemplazo de subestaciones convencionales por subestaciones GIS (Gas Insulated Substation), se realiza una comparación de alternativas de utilización de equipos GIS clase 245 kV, versus la alternativa de utilización de equipamiento convencional en aire para los patios de alta tensión.

Para ello se estudian las obras correspondientes a la ampliación de la S/E O'Higgins 220 kV, la subestación Coloso 220/13,8 kV y las nuevas subestaciones de bombeo N° 2, N° 3 y N° 4 220/6,6 kV; obras que forman

parte de la alimentación de energía eléctrica considerada en el Estudio de Factibilidad para la Nueva Planta Desaladora (NDP) a instalar en el puerto de Coloso, la cual permitiría desalar agua de mar convirtiéndola en agua desalada de uso industrial, y bombearla a Minera Escondida.

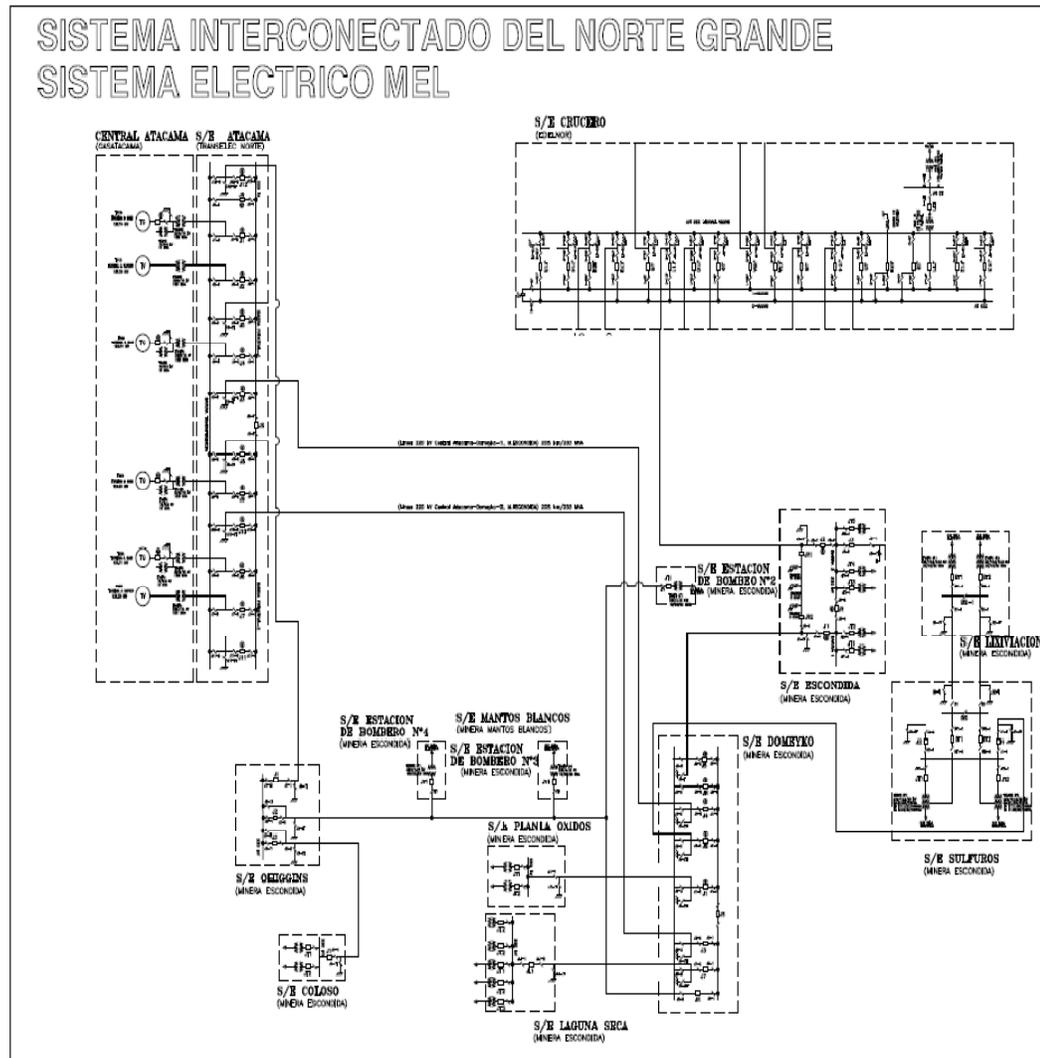


Figura N° 1 Parte del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) donde se visualiza el actual Sistema Eléctrico de MEL.

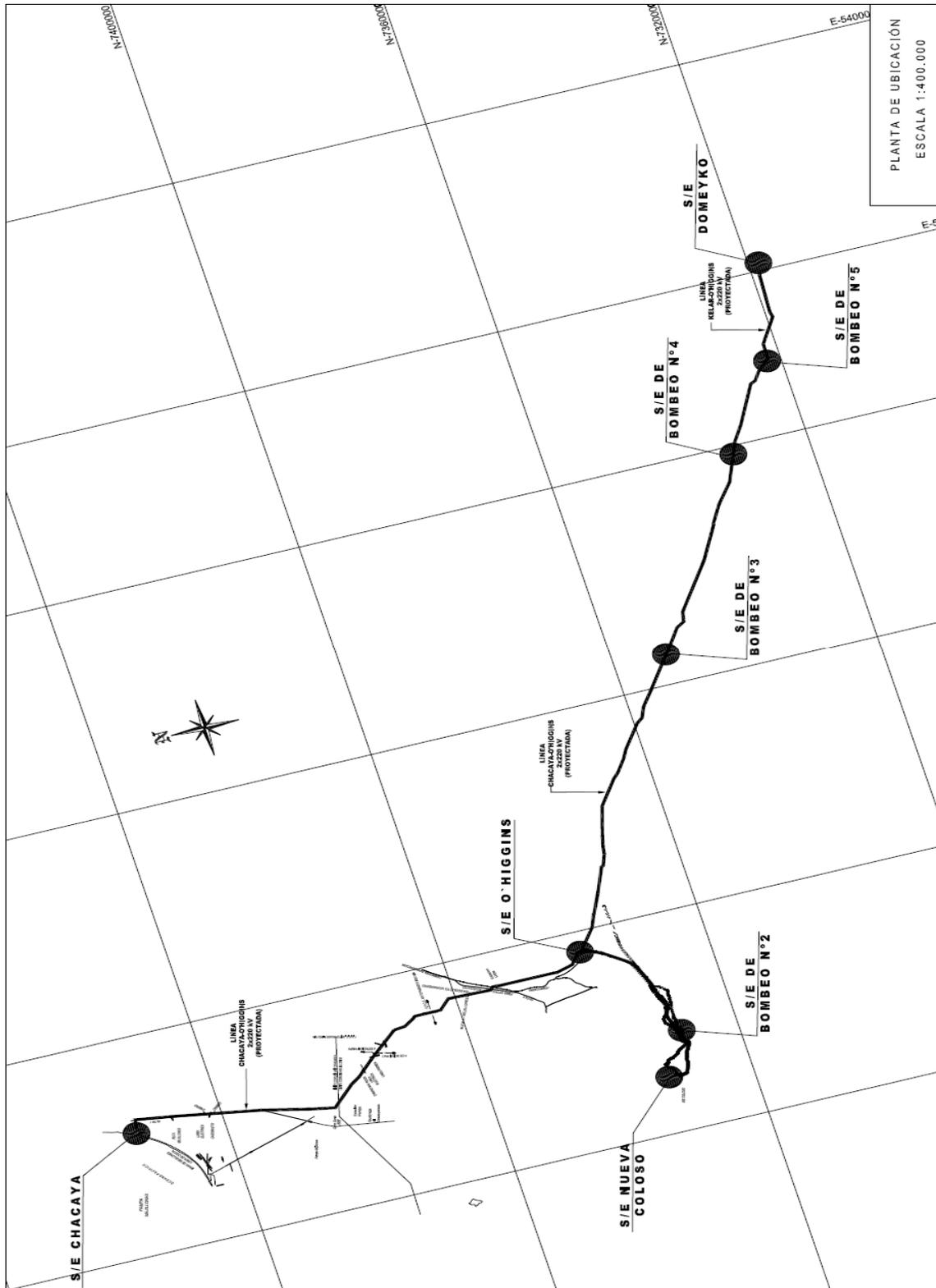


Figura N° 2 Obras del Proyecto NDP.

2. Alcance

El alcance se enmarca dentro del estudio de las alternativas de uso de tecnología GIS (Gas Insulated Substation) versus tecnología convencional AIS (Air Insulated Substation), para las siguientes obras que son parte integrante del Proyecto NDP:

a. Ampliación de la S/E O'Higgins.

Se considera la llegada de la línea doble circuito Atacama - Chacaya 2x220 kV en la S/E O'Higgins, la nueva línea 1x220 kV Coloso-O'Higgins 2, y los espacios necesarios para 2 paños futuros de expansión.

b. Estaciones de Bombeo N°2, N°3 y N°4

Se considera el estudio de las alternativas de subestaciones convencionales (AIS) versus subestaciones encapsuladas en gas (GIS), incluyendo las conexiones de los transformadores de poder y la instalación de los cables de poder en 245 kV.

Para ello se secciona uno de los dos circuitos de la línea 2x220 kV O'Higgins – Domeyko, para la alimentación de energía eléctrica a las Estaciones de Bombeo N°2, N°3 y N°4.

Adicionalmente se considerará un ítem resumen de los presupuestos de inversión para las alternativas anteriormente propuestas, de acuerdo a lo siguiente:

- Tecnología GIS versus Convencional en aire (AIS) en subestaciones seccionamiento de línea Atacama – Domeyko en S/E O'Higgins.
- Tecnología GIS versus Convencional en aire (AIS) para las estaciones de bombeo.

El presente estudio pretende cubrir aquellos elementos comparativos de las alternativas considerando las obras propias de cada subestación, sin considerar obras que dada su naturaleza, podrían verse modificadas en el transcurso del proyecto.

Las actividades según sus características constructivas, se han dividido en las siguientes áreas de desarrollo:

A Ampliación S/E O'Higgins 220 kV.

El presente estudio considera la ampliación en la Subestación O'Higgins, considerando lo siguiente:

- Un paño de salida de línea 1x220 kV hacia la Nueva S/E Coloso.
- Dos paños de llegada de línea doble circuito 2x220 kV proveniente de la Central Térmica Chacaya.
- Un paño seccionador para la conexión de la ampliación GIS 220 kV a las instalaciones existentes en la S/E O'Higgins.
- Disposición para dos paños futuros de 220 kV.
- La instalación de los cables aislados de poder en 245 kV, para el caso de GIS Indoor.

Con el fin de detallar suficientemente el diseño futuro de las instalaciones, se ha considerado para las evaluaciones los siguientes planos típicos de las instalaciones:

- a) Planos Electromecánicos
 - Disposición de Equipos Primarios en Patio (Planta).

- b) Planos Disciplina Eléctrica
 - Diagrama Unilineal General del Patio.

- c) Listados de Equipos y Materiales
 - Lista general de equipos principales.
 - Lista general de equipos de Control, Protección y Comunicaciones
 - Cubicaciones de obras civiles.

B Estaciones de Bombeo N° 2, 3 y 4, considerando por cada estación:

El estudio considera la alimentación de energía eléctrica en 220 kV de las estaciones de Bombeo N° 2, 3 y 4.

Las descripciones de actividades se dividirán en las siguientes:

- Seccionamiento de la línea O`Higgins - Domeyko: incluye la inserción de nueva estructura de by-pass y el portal de línea con sus fundaciones, malla de puesta a tierra y el abatimiento de los conductores de la línea de alta tensión. Se considera también modificaciones de estructura en el caso que una determinada Estación de Bombeo se ubique en las cercanías de una estructura de características tales que permita el arranque de los conductores directamente hacia los portales.
- Patio de alta tensión: contendrá los equipos primarios convencionales o GIS (interruptores, transformadores de corriente, transformadores de potencial, pararrayos, desconectores con y sin puesta a tierra, y mufas terminales en 245 kV), cierre metálico, acometida del cable desde la línea hasta las mufas terminales del cable de poder 245 kV, malla de puesta a tierra y otras instalaciones relacionadas.
- Estación de Bombeo: contendrá los equipos de control, protección, comunicaciones y SCADA de los principales equipos de las estaciones, entre los cuales se contemplan los transformadores de poder y las celdas GIS de 220 kV aisladas en gas SF6, o bien la solución intemperie convencional (AIS).
- Instalación del Cable de Poder aislado en 245 kV desde la mufa terminal que conecta el desconector de 220 kV CPT hasta la conexión a la GIS 220 kV instalada en la sala eléctrica de la Estación de Bombeo, pasando por las canaletas, escalerillas, mufas, puestas a tierra y otras instalaciones relacionadas.

3. Aspectos de interés general en la tecnología GIS

La tecnología en subestaciones encapsuladas aisladas en gas SF6 ha probado su eficacia día a día durante años.

En aplicaciones en todo el mundo, acrecienta su posición de liderazgo internacional derivado de sus significativas ventajas, como por ejemplo, la seguridad en sus sistemas con un confiable desempeño aunado a una larga vida de servicio, lo cual proporciona una solución a diversas necesidades de manera económica, aún en las condiciones más adversas de servicio.

Las exigencias de los sistemas actuales en materia de suministros de energía eléctrica, hacen que nos orientemos cada vez más en la aplicación de tecnologías modernas que nos permitan brindar servicio eléctrico; tal es el caso de los GIS, que vienen a ser subestaciones eléctricas aisladas en gas, construidas en forma modular y compacta.

En la actualidad, las industrias, empresas mineras y las empresas eléctricas necesitan equipos de muy alta tensión, alta seguridad en la protección y reducidos espacios de instalación.

Las características y propiedades del hexafluoruro de azufre (SF6), como elemento aislante han permitido la construcción de este tipo de subestaciones con un considerable ahorro en lo relacionado con espacios físicos, seguridad, bajo costo de mantenimiento y sobre todo, la adaptación a las normas de protección de medio ambiente.

Las subestaciones eléctricas aisladas en gas (GIS) usan este fluido para el aislamiento eléctrico de sus distintos componentes (maniobra, medición, barras, etc.). Por sus propiedades óptimas, el gas utilizado es el hexafluoruro de azufre (SF 6), por ser no tóxico, muy estable y no inflamable, además de inodoro e incoloro a condiciones normales de presión y temperatura.

Se debe destacar que el sistema modular de su construcción hace que los costos y tiempos de montaje sean reducidos, por lo que cada vez se

hace más accesible, en lo que se refiere a costos, una implementación con sistemas GIS en reemplazo de los sistemas AIS.

Existen diferencias fundamentales con las subestaciones clásicas aisladas en aire (AIS). Lo más importante a favor de las GIS es que en éstas, las dimensiones son muy reducidas. El volumen ocupado por una GIS está entre el 3 al 8% de la que le corresponde a una AIS de la misma tensión nominal y para las mismas funciones. Del mismo modo, el área ocupada por una GIS está entre el 3 al 12% de la que le corresponde a una AIS.

Tienen una alta confiabilidad, ya que todas las partes vivas están confinadas, protegiendo efectivamente el aislamiento contra cualquier influencia externa negativa.

Disponen de una gran flexibilidad, dado que los sistemas con arquitectura modular permiten soluciones individuales que pueden ser adaptadas a cambios de necesidades en cualquier momento.

Poseen gran longevidad, debido a la utilización de mano de obra y materiales de la más alta calidad, garantizando una larga vida con un mínimo de servicio y mantenimiento.

Destacan por su economía, debido a que la utilización de envoltentes de aluminio de alta resistencia reduce la masa del sistema, reduciendo así los costos en cimentación y componentes de carga.

Son ambientalmente amigables, ya que una reducción significativa en el número de uniones y sellos debido a un diseño compacto reduce drásticamente el índice de fuga, muy por debajo de los límites internacionales.

En la Figura N°3, se muestra un paño (ó bahía) GIS en esquema de doble barra principal y sus terminales de conexión de cables de alta tensión.

Se puede observar que su diseño compacto permite minimizar la superficie a ocupar, comparándola con la superficie equivalente ocupada por un diseño tradicional.

Es importante destacar que los módulos de interconexión y gabinetes de control y protecciones deben ser instalados en forma separada del paño, dadas las exigencias sísmicas a los equipos (en conjunto) que son aplicadas en el país.

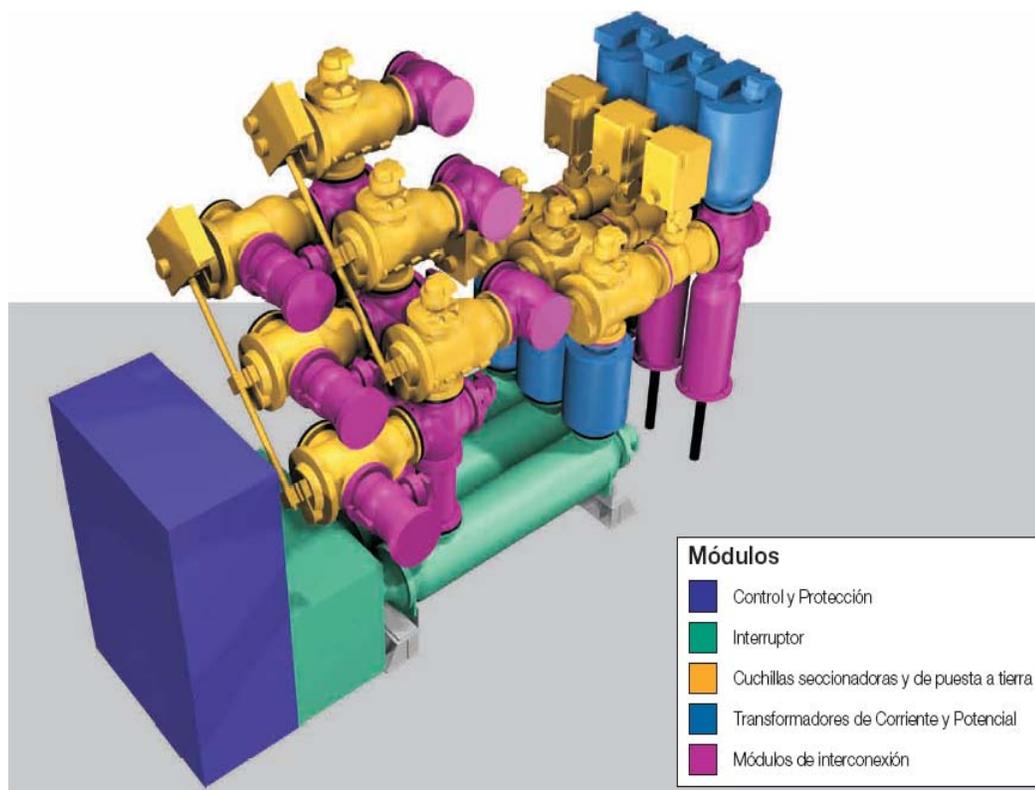


Figura N°3 Paño (ó Bahía) con doble barra y terminales de cable

Para el caso mostrado en la figura, las dimensiones aproximadas del paño son de 3,5 metros de alto x 1,5 metros de ancho x 5,0 metros de largo, con un peso estimado de 5 toneladas.

CAPITULO II – Alternativas Técnicas de Reemplazo

1. Alcance

Para los estudios de comparación de los dos sistemas (GIS y AIS) se consideran los siguientes aspectos, para un análisis que optimice la inversión asociada versus las ventajas significativas de cada solución:

- Disposición de equipos y espacios ocupados.
- Calidad de servicio y tolerancia a fallas.
- Flexibilidad para el mantenimiento y operación.
- Facilidad para nuevas construcciones y ampliaciones.
- Inversión requerida para implementar cada sistema.
- Evaluación económica para un horizonte de retorno de inversión de 20 años.

Se evaluará comparativamente la implementación de ambas tecnologías.

2. Topología de las subestaciones

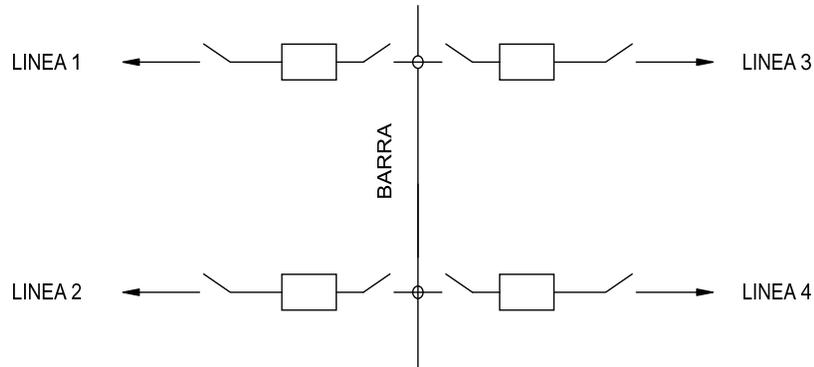
Se analizan algunas de las distintas configuraciones existentes en el país, para determinar cuáles son las alternativas de reemplazo más viables.

Del abanico de configuraciones disponibles se tienen las siguientes:

- Configuración de Barra Simple.
- Configuración de Barra Simple con Transferencia.
- Configuración de Barra Seccionada.
- Configuración de Barra Seccionada con Transferencia.
- Configuración de Doble Barra con Transferencia
- Configuración de Anillo
- Configuración de Interruptor y Medio (Doble juego de Barras con Interruptor y medio por salida)

Para cada una de ellas, se presentan sus ventajas y desventajas, con el objeto de visualizar en forma global sus posibilidades de implementación.

a. Configuración de Barra Simple (Figura N°4).



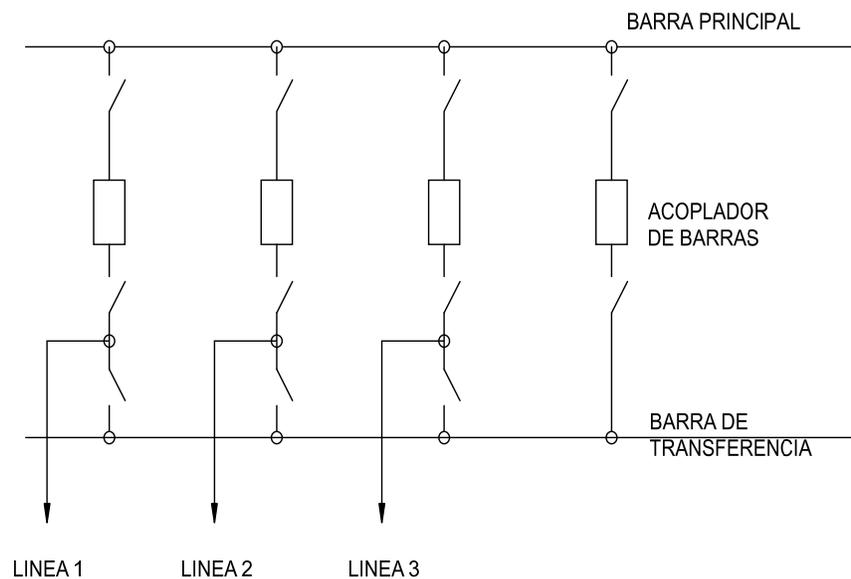
Ventajas:

- Bajo costo de inversión y requerimiento de espacio
- Sistema de control y protección simple

Desventajas:

- Baja confiabilidad y nula flexibilidad de operación
- Falla de un interruptor causa pérdida de servicio
- Falla en la barra causa pérdida total del servicio
- Falta total de flexibilidad para mantenimiento

b. Configuración de Barra Simple con Transferencia (Figura N°5).



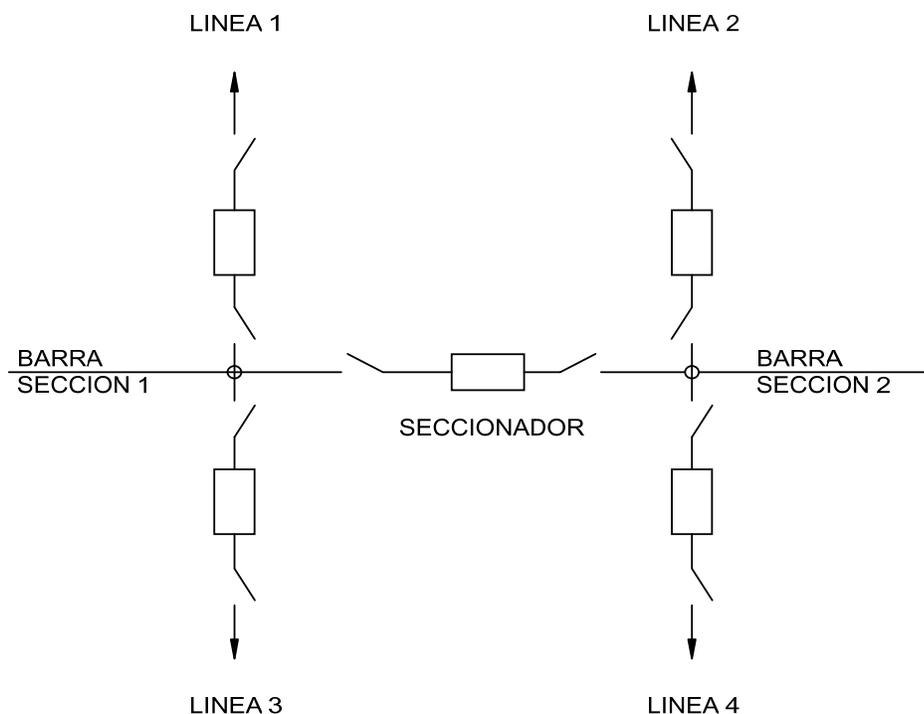
Ventajas:

- Moderado costo de inversión
- Mayor requerimiento de espacio
- Permite efectuar mantenimiento de interruptores

Desventajas:

- Falla en la barra principal causa la pérdida total del servicio
- Solo un interruptor a la vez puede ser sometido a mantenimiento (a través de la barra de transferencia)
- Sistema de control y protecciones más complejo.
- Acoplador debe tener la mayor capacidad de potencia
- Acoplador compartido por todas las líneas.

c. Configuración de Barra Seccionada (Figura N°6).



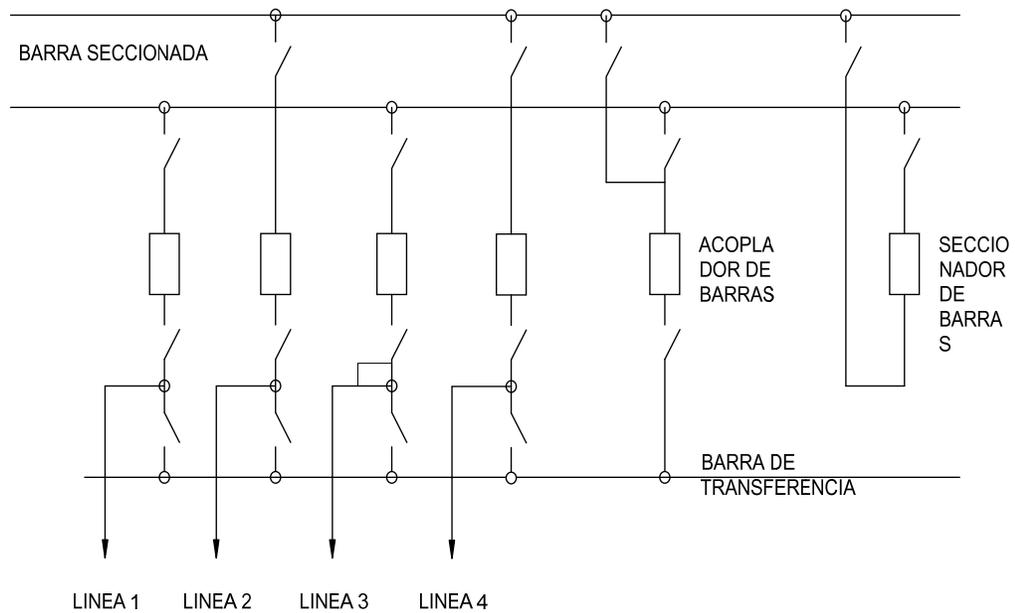
Ventajas:

- Razonable bajo costo de inversión
- Mayor requerimiento de espacio
- Sistema de protección y control sencillo
- Falla de una barra no desconecta toda la subestación

Desventajas:

- Requiere de un interruptor adicional, lo que implica un mayor costo de inversión.
- No permite mantenimiento de interruptores en servicio.
- Falla en una de las barras causa la pérdida del servicio de la barra fallada.

d. Configuración de Barra Seccionada con Transferencia (Figura N°7).



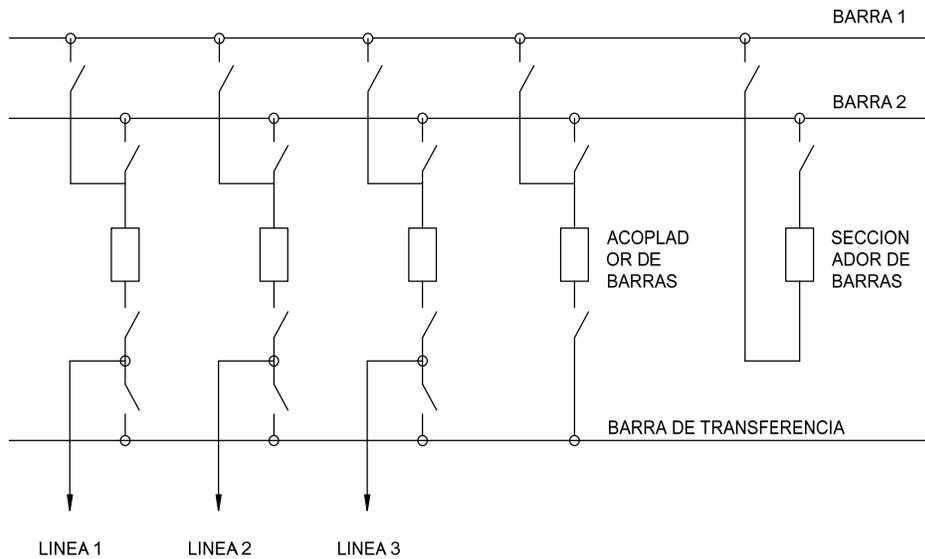
Ventajas:

- Flexibilidad operacional moderada.
- Requerimiento de espacio mediano
- Permite mantenimiento de un interruptor a la vez.

Desventajas:

- Costo moderadamente alto, por los equipos adicionales.
- Sistema de protección muy complejo.
- Acoplador debe tener la mayor capacidad
- Acoplador es compartido por todos los paños.

e. Configuración de Doble Barra con Transferencia (Figura N°8).



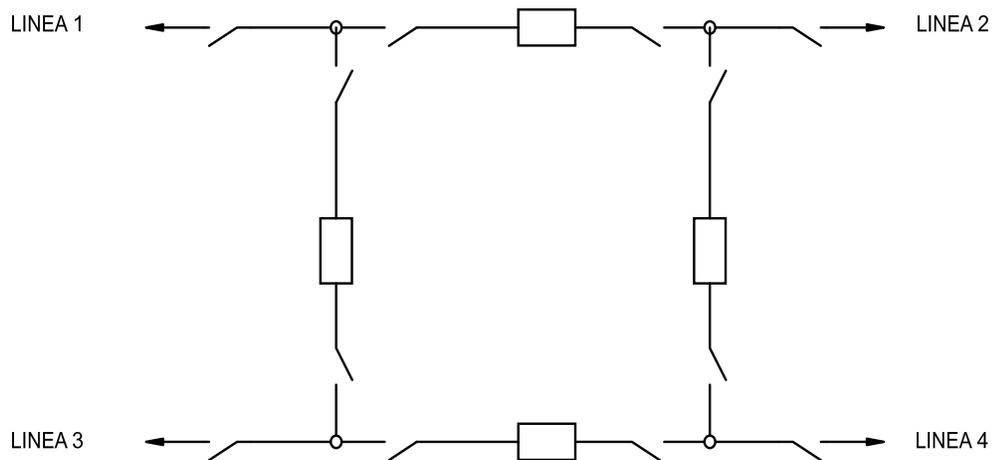
Ventajas:

- Buena flexibilidad operacional
- Requerimiento de espacio mediano
- Permite mantenimiento de un interruptor a la vez.

Desventajas:

- Costo moderadamente alto, por los equipos adicionales.
- Sistema de protección muy complejo.
- Seccionador debe tener la capacidad mayor de las barras.
- Acoplador debe tener la mayor capacidad
- Acoplador es compartido por todos los paños.

f. Configuración de Anillo (Figura N°9).



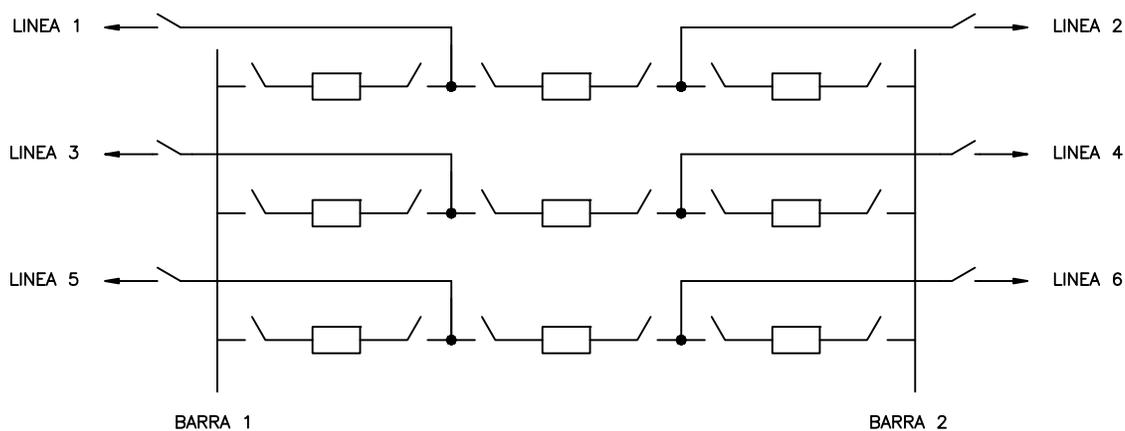
Ventajas:

- Bajo costo de inversión.
- Buena flexibilidad operacional y confiabilidad.
- Pequeño requerimiento de espacio mediano (no utiliza barras).
- Doble fuente de alimentación para cada línea

Desventajas:

- Generalmente limitada a cuatro (4) líneas, ó múltiplos pares de líneas.
- Sistema de protección muy complejo.

g. Configuración de Interruptor y Medio (Figura N°10).



Ventajas:

- Gran flexibilidad operacional.
- Alta confiabilidad.
- Sistema de Protección sencillo
- No hay pérdida de servicio por una falla en barras.
- Cualquier interruptor puede aislarse para mantenimiento.
- Doble fuente de alimentación para cada línea.

Desventajas:

- Sistema de control complejo.
- Costo moderadamente alto.

El presente trabajo se analiza cualitativamente la configuración Doble Barra con Transferencia y la configuración de Interruptor y Medio, por ser las configuraciones que más se adaptan a las exigencias técnicas del Cliente.

2.1 Esquema de Doble Barra Principal y Barra de Transferencia

Este esquema, que se desarrolla en base a equipos a la intemperie, es uno de los más usados por las empresas de transmisión en Chile.

Esta alternativa consiste en dos Barras Principales a la cuales se conectan los paños de Líneas y los paños de los Transformadores, las que se acoplan a través de un paño seccionador de barras. También contempla una Barra de Transferencia, conectada a las Barras Principales a través de un paño Acoplador.

Los cambios de los circuitos de la barra principal a la barra de transferencia se realizan por medio de maniobras a través de los respectivos interruptores y desconectores de cada paño. Esta operación es simple y automática; permite además efectuar las maniobras con las líneas o los transformadores en servicio.

Esta solución permite reemplazar, de a uno a la vez, la totalidad de los paños conectados a la barra, ya sea para condiciones de falla o de mantenimiento, debido a que el paño Acoplador tiene interruptor con equipos de maniobra y de control. Además, las protecciones de la línea que se transfiere se traspasan al paño acoplador, lo cual permite reemplazar los paños en una secuencia de operaciones de transferencia,

evitando así la pérdida de transferencia de potencia cuando la subestación está funcionando normalmente.

En operación normal sólo las Barras Principales están energizadas y la Barra de Transferencia desenergizada. Sólo se energiza la barra de transferencia cuando alguno de los paños está transferido.

La inspección o trabajos de mantenimiento en los desconectores conectados a una de las barras principales obligan a dejar fuera de servicio dicha barra principal. No sucede así en la barra de transferencia, que está normalmente desenergizada.

Para una falla en una de las barras principales, las protecciones deben abrir el Interruptor Seccionador de Barras, y la subestación puede continuar en servicio en este caso con sólo una barra (una barra principal energizada).

Si se deja suficiente terreno disponible, la inclusión de nuevos paños no presenta mayor dificultad.

2.2 Esquema de doble juego de barras con interruptor y medio por salida.

Este esquema, que también se desarrolla en base a equipos a la intemperie, tiene dos barras principales y se caracteriza por disponer tres interruptores entre cada dos salidas.

Es ampliamente utilizado en instalaciones de transmisión de gran potencia donde se requiere una alta calidad de servicio. Esquemas de este tipo se encuentran en varios países, tales como Argentina, Brasil y Estados Unidos de Norteamérica.

La solución comprende dos Barras Simétricas, cuya operación se realiza en anillo. Un paño se conecta a una de las dos Barras Principales y se interconecta a través del llamado "medio interruptor" a otro paño conectado a la otra Barra Principal, formando así el esquema.

Normalmente se opera con las dos barras energizadas y todos los interruptores cerrados. Este esquema presenta grados de libertad

bastante amplios, los cuales no se ven afectados al producirse fallas en los interruptores compartidos.

Una falla en una barra no interrumpe el servicio a ningún circuito, presentando así un alto índice de confiabilidad y de seguridad, tanto para fallas en los interruptores como en los circuitos y en las barras.

Se puede hacer mantenimiento de cualquier interruptor o barra sin suspender el servicio y sin alterar el sistema de operación.

Sin embargo, esta solución presenta cierta complejidad en la operación y en la coordinación de las protecciones. La desconexión de un circuito implica la apertura de dos interruptores. La protección y la reconexión se complican por el hecho de que el interruptor intermedio (entre dos circuitos) debe trabajar con uno u otro de los circuitos asociados.

La definición de la capacidad de los equipos exige prever la distribución de las corrientes, especialmente durante contingencias.

En caso que la subestación tenga un número impar de circuitos, uno de ellos necesitaría dos interruptores.

Desde el punto de vista del control, en esta configuración se necesitan lógicas especiales para el cierre de cada interruptor. Estas implican varios requisitos previos, tales como interbloques entre desconectores e interruptores, comprobación de tensión, etc.

Toda la lógica asociada, así como las órdenes de cierre y reconexión, se puede realizar con equipos de control digital, con lógicas programables que tienen la ventaja de ser adaptables a cualquier modificación de la subestación, sin necesidad de modificar los componentes de hardware y el cableado asociado, ya que la lógica interna programable dispone de gran versatilidad.

2.3 Ejemplos de subestaciones que usan estos esquemas.

Se ha investigado el uso de estos esquemas, ubicando las subestaciones que se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 1 – Ejemplos de subestaciones y su configuración

ESQUEMA N° 1	ESQUEMA N° 2	ESQUEMA N° 3
Doble Barra Subestación aislada con gas (GIS)	Doble Barra y Barra de Transferencia (AIS)	Interruptor y Medio (AIS)
Central Termoeléctrica Tocopilla (Electroandina)	S/E Encuentro	S/E San Luis
S/E Salar	S/E Crucero	S/E Nogales
	S/E Cautín	SS/EE en el sistema interconectado de Centro América. S/E Punta Colorada

3. Comparación de los esquemas

Se realizará una comparación entre los siguientes esquemas de conexión, aplicados a la ampliación de la S/E O`Higgins:

- Esquema de Doble Barra - GIS
- Esquema de Doble Barra con Transferencia - AIS
- Esquema de Interruptor y Medio - AIS

3.1 Requerimientos de Barras.

Todos los esquemas permiten disponer de dos barras.

3.2 Operación de las barras.

La primera disposición, basada en equipos al interior aislados en SF6, tiene dos barras principales a las cuales se pueden conectar las llegadas de líneas, mediante equipos seccionadores e interruptores.

La segunda disposición, correspondiente a doble barra principal y barra de transferencia, opera permanentemente con las barras principales energizadas, quedando la barra de transferencia sólo para el caso de que

sea necesario hacer reparaciones o mantenimiento a cualquiera de los interruptores.

La tercera disposición, correspondiente a la solución con el esquema de un interruptor y medio por paño, muestra una operación en anillo, donde no se justifican los seccionamientos de barra.

3.3 Respaldo de Interruptores

El primer esquema, de subestación aislada en gas (GIS), por su baja tasa de fallas de equipos es más simple que el esquema usado en soluciones con equipos a la intemperie.

El segundo esquema, de doble barra principal y de transferencia, respalda la salida programada de los equipos de paños de líneas mediante la barra de transferencia, trasladando la protección al interruptor de acoplamiento. Esto lo puede hacer con cualquiera de sus líneas. Esta facilidad no está disponible en forma inmediata y automática en caso de fallas.

En el tercer esquema, de interruptor y medio por paño, se respaldan las salidas por los otros interruptores, aprovechando la operación en anillo. Esto ocurre tanto en el caso de salidas programadas de servicio de una línea, como en el caso de fallas.

3.4 Sistema de Protecciones

El esquema de protecciones de la subestación GIS no presenta problemas especiales de complejidad o disposición.

El esquema de protecciones de doble barra principal es simple, ya que efectúa la coordinación de las protecciones para cada alimentador en forma exclusiva.

En el caso de la disposición de un interruptor y medio por paño, la coordinación de las protecciones es más compleja, ya que involucra los tres interruptores que participan para cada par de salidas de líneas.

3.5 Características de los esquemas

En el siguiente cuadro se resumen las características de los esquemas.

Cuadro N°2 – Características de los esquemas				
		Doble Barra (GIS)	Doble Barra con Transferencia (AIS)	Interruptor y Medio (AIS)
Ítem	Caract.	Esquema N° 1	Esquema N° 2	Esquema N° 3
1	Cantidad de Barras	2 (ambas principales)	3 (2 principales y 1 de transferencia)	2 (ambas principales)
2	Operación de barras	Se opera sólo con las barras principales	Se opera sólo con las barras principales	Se opera con las barras enmalladas
3	Interconexión de Barras	Se requiere un acoplador de barras	Se requiere un acoplador de barras	No se requiere
4	Respaldo de salida programada de un interruptor	No, se considera casi libre de mantenimiento	Sí, por acoplador	Sí, por otros interruptores
4a	Respaldo de salida de servicio de líneas por falla	No	No	Sí, por otros interruptores
5	Respaldo de barras	No	No	Sí
6	Sistema de protecciones	Simple, protección por alimentador	Simple, protección por alimentador, aunque se deben tomar precauciones para transferir desenganches y controles normales.	Complejo, protección involucra los tres interruptores y salidas que participan

Cuadro N°2 – Características de los esquemas				
		Doble Barra (GIS)	Doble Barra con Transferencia (AIS)	Interruptor y Medio (AIS)
7	Continuidad de Suministro	Superior	Buena	Superior
8	Superficie utilizada por paño	Baja	Alta	Media – Alta

3.6 Fortalezas y debilidades de los esquemas

En el siguiente cuadro se resumen las fortalezas y debilidades de cada esquema.

Cuadro 3 – Fortalezas y Debilidades		
Esquema de Doble Barra (GIS)	Esquema de Doble Barra con Transferencia (AIS)	Esquema de Interruptor y Medio (AIS)
Esquema N° 1	Esquema N° 2	Esquema N° 3
Fortaleza. - Los interruptores de llegadas de líneas se pueden conectar a voluntad a una de las barras principales.	Debilidad. - La operación sólo se hace en la barra principal, quedando la barra de transferencia para respaldar una de las otras salidas.	Fortaleza. - La forma de operación es con dos barras enmalladas, siendo este esquema superior, ya que al estar las barras enmalladas la operación es múltiple. Por esta misma razón no existe la necesidad de seccionar estas barras.

Cuadro 3 – Fortalezas y Debilidades		
Esquema de Doble Barra (GIS)	Esquema de Doble Barra con Transferencia (AIS)	Esquema de Interruptor y Medio (AIS)
Esquema N° 1	Esquema N° 2	Esquema N° 3
<p>Debilidad Con este esquema el mantenimiento de cualquier interruptor exige sacar de servicio la línea o el transformador respectivo.</p>	<p>Fortaleza.- Con este esquema se puede efectuar el mantenimiento de cualquier interruptor sin sacar de servicio las líneas o los transformadores.</p>	<p>Fortaleza.- Con este esquema se puede efectuar el mantenimiento de cualquier interruptor sin quitar de servicio las líneas o los transformadores.</p> <p>Además, no requiere hacer transferencia de la salida del alimentador. Esta es una fortaleza superior respecto otros esquemas.</p>
<p>Fortaleza.- Si llega a ocurrir una falla en una de las barras, el esquema separa la barra fallada y se puede seguir operando con la segunda barra que queda, perdiéndose en un primer momento los suministros conectados a ella, que pueden en seguida traspasarse a la otra barra mediante operaciones simples y de corta duración. Por tanto, esta es una ventaja respecto del esquema N°2, porque le da mayor continuidad de servicio.</p>	<p>Debilidad.- Aunque las fallas en las barras son poco frecuentes, puede ocurrir una falla en la barra principal. En ese caso no se puede transferir la operación a la barra de transferencia. En el esquema presentado, el seccionador de barra reduce la pérdida de la barra principal a la mitad.</p>	<p>Fortaleza.- Si llega a ocurrir una falla en una de las barras, el esquema de interruptor y medio separa la barra fallada, y se puede seguir operando con la segunda barra que queda, sin interrupción de los suministros, ya que estos quedan atendidos con los interruptores compartidos. Por tanto, esta es una ventaja respecto de los otros esquemas, porque le da gran continuidad de servicio.</p>

Cuadro 3 – Fortalezas y Debilidades		
Esquema de Doble Barra (GIS)	Esquema de Doble Barra con Transferencia (AIS)	Esquema de Interruptor y Medio (AIS)
Esquema N° 1	Esquema N° 2	Esquema N° 3
Fortaleza.- Esquema de baja complejidad, pocos equipos participando en la operación, lo cual minimiza riesgos de fallas y errores de operación.	Fortaleza.- Esquema de complejidad intermedia en el control, dada la condición de transferencia de controles y protecciones, aunque hay pocos equipos participando en la operación, lo cual reduce riesgos de fallas y errores de operación.	Debilidad.- Esquema con muchos equipos participando en la operación, lo cual se presenta como una debilidad respecto al control, requiriendo una programación muy estricta del sistema de control y protección.

Cuadro 3 – Fortalezas y Debilidades		
Esquema de Doble Barra (GIS)	Esquema de Doble Barra con Transferencia (AIS)	Esquema de Interruptor y Medio (AIS)
Esquema N° 1	Esquema N° 2	Esquema N° 3
<p>Fortaleza.- Este esquema es relativamente simple desde el punto de vista de las protecciones.</p>	<p>Fortaleza.- Este esquema es relativamente simple desde el punto de vista de las protecciones.</p>	<p>Debilidad.- Esquema de mayor complejidad. La cantidad de transformadores de corriente que necesita es alta.</p> <p>Se requieren más TC debido a que se debe coordinar las protecciones de los tres interruptores y salidas que participan. En este esquema resulta conveniente el uso de interruptores del tipo de tanque muerto, que incorporan sus transformadores de corriente en el interior del estanque, que son de menor costo que los TT/CC de intemperie.</p>
<p>Fortaleza.- Este esquema requiere de 6 interruptores, más sus equipos complementarios</p>	<p>Fortaleza.- Este esquema requiere de 7 interruptores, más sus equipos complementarios.</p>	<p>Debilidad.-Este esquema requiere 9 interruptores, más sus equipos complementarios.</p> <p>Es más complejo que los otros esquemas. Requiere más equipos de control y protecciones.</p>

Cuadro 3 – Fortalezas y Debilidades		
Esquema de Doble Barra (GIS)	Esquema de Doble Barra con Transferencia (AIS)	Esquema de Interruptor y Medio (AIS)
Esquema N° 1	Esquema N° 2	Esquema N° 3
Fortaleza.- Por el tamaño de la superficie que se requiere para esta solución, se minimizan las obras civiles. Esto cobra importancia, dado el perfil del terreno escogido en principio para la construcción de esta subestación, de superficie irregular.	Debilidad.- El tamaño de la superficie requerida para construir la subestación con este esquema encarece y complica las obras civiles.	Debilidad.- El tamaño de la superficie requerida para construir la subestación con este esquema encarece y complica las obras civiles.
Fortaleza.- Impacto visual de los paños es mínimo, al estar en un recinto cerrado.	Debilidad.- El impacto visual de los paños es alto.	Debilidad.- El impacto visual de los paños es alto.
Fortaleza.- Dado que se trata de una instalación en el interior de un edificio ad-hoc, está bien protegida de las condiciones climáticas.	Debilidad.- Posibles problemas de funcionamiento en condiciones climáticas extremas.	Debilidad.- Posibles problemas de funcionamiento en condiciones climáticas extremas.
Fortaleza.- Dado que se trata de equipamiento alojado en una carcasa o envolvente hermética con gas SF6 a presión, permite su utilización a grandes altitudes, sin mayores costos de fabricación y para un mismo nivel de tensión	Debilidad.- Requiere un mayor nivel de aislación y mayor separación de componentes activos (distancias fase-fase y fase-tierra).	Debilidad.- Requiere un mayor nivel de aislación y mayor separación de componentes activos (distancias fase-fase y fase-tierra).

CAPÍTULO III – Calidad de Servicio y Mantenibilidad

Envejecimiento es el aspecto de mayor preocupación al evaluar subestaciones del tipo convencional, considerando los deterioros de aislación, de sellado, y efectos derivados de la corrosión.

Sin embargo, para el caso de la GIS, las razones para estimar la expectativa de vida son similares a interruptores en gas SF₆, tal vez levemente menor, lo cual es compensado con un mejor desempeño como sistema.

El envejecimiento de las subestaciones convencionales (AIS) tienen dos grandes problemas: deterioro mecánico y problemas de aislación. El deterioro mecánico de contactos y partes móviles está directamente relacionado con el número de operaciones y flujo de corriente. La mayor consecuencia no es sólo el sobrecalentamiento de las partes involucradas, sino los cambios en los tiempos de operación.

En el caso de las subestaciones encapsuladas en gas (GIS), los problemas de aislación se incrementan con el tiempo y el problema más frecuente es el deterioro en los sellos de aislación de gas SF₆, mientras para el caso de interruptores aislados en aceite, éstos sufren de filtraciones de agua e ingreso de aire.

En consecuencia, la obsolescencia de diseños que podrían requerir un reemplazo prematuro debido a la complejidad y confiabilidad en la operación, es otro importante factor a considerar en la vida útil de una subestación; además su envejecimiento, donde la GIS ofrece una mayor ventaja, dado que al término de su vida útil puede ser llevada a mantención, proporcionando una extensión considerable de su vida útil, sin tener que reemplazar piezas importantes del equipo.

Adicionalmente, debiera considerarse que en las subestaciones en aire y GIS Outdoor, las fundaciones y soportes de concreto se deterioran con el tiempo, dependiendo de las condiciones de entorno.

Existen ventajas relevantes a favor de la GIS que deben ser consideradas a la hora de evaluar la solución GIS Indoor:

- Exhibe una alta seguridad para las personas que deban intervenir las instalaciones.
- Permite mantener un estándar respecto de la aislación del equipamiento, que no es posible mantener con equipamiento convencional en aire, permitiendo una mayor facilidad de recambio de piezas o partes ante fallas de mayor envergadura.
- Dada la altitud y condiciones climáticas de la ubicación donde se encuentre la futura subestación, al ser realizada con equipos AIS, cabe esperar una tasa de fallas mayor que la solución en base a equipos GIS (Ver Ref. 2), por cuanto, la robustez de los GIS es independiente de las condiciones ambientales externas, considerando la GIS aislada de contaminación ambiental, lo cual permite protegerla de las condiciones climáticas adversas.
- Mayores puntos de fallas en AIS que con la utilización de GIS, debido a que esta última ofrece menores distancias de aislación, disminuyendo recorrido de cableado.
- El procedimiento de mantención de una GIS considera inspecciones generales del tipo visual (Gas SF₆, equipamiento de monitoreo y chequeo de corrosión) cada cinco (5) años, considerando el reemplazo de partes, de ser estas necesarias, sólo cada veinte años (20), lo cual para efectos del horizonte de evaluación de los presupuestos de esta memoria, son consideradas libre de mantenimiento (Ver Tabla N° 1).
- La GIS presentan un menor tiempo de montaje en terreno, debido principalmente a que los paños (bahías) son modulares, y para el nivel de tensión de 245 kV, son entregadas totalmente ensambladas, para lo cual sólo deben ser llenadas con gas SF₆, dado que por condiciones de transporte solo traen una mínima cantidad.
- En lo que respecta a tolerancias a fallas, el desempeño de la GIS exhibe una gran ventaja dado que presenta una probabilidad de falla de un 40% menos respecto del caso en AIS (Ver Ref. 2), lo cual puede verse disminuido aún más al considerar unidades GIS tripolares.
- Garantía de equipamiento del proveedor por bahía, incorporando varios equipos convencionales en uno solo.

A continuación (en las Tablas N°1 y N°2), se puede apreciar una análisis cualitativo de desempeño de los diferentes equipamientos, frente a determinados aspectos relevantes a considerar, para la evaluación de una subestación.

Tabla N° 1 Análisis Cualitativo de Alternativas – Expansión de la Subestación O’Higgins

DESCRIPCIÓN	EXPANSIÓN SUBESTACIÓN O'HIGGINS								
	ANÁLISIS CUALITATIVO			DESEMPEÑO DEL SISTEMA					
	AIS	GIS indoor	GIS outdoor	AIS	GIS indoor	GIS outdoor	AIS	GIS indoor	GIS outdoor
Disposición de Equipos y Espacio	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Calidad de Servicio y tolerancia a Fallas	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Flexibilidad de Mantenimiento	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Flexibilidad Operacional	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Expansión Futura	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ○	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Tiempo de Montaje	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Envejecimiento	● ● ●	● ○ ○	● ○ ○	● ● ●	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○
Deterioro Mecánico	● ● ●	● ○ ○	● ○ ○	● ● ●	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○
Problemas de Aislación	● ● ○	● ○ ○	● ○ ○	● ● ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○
Obsolescencia de Equipamiento	● ● ○	● ○ ○	● ○ ○	● ● ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○
Estandarización de Equipamiento (Proyecto NDP)	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Costo de Inversión	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Costo Operacional	● ● ●	● ○ ○	● ○ ○	● ● ●	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○
VAN Inversión (20 años)	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○	● ○ ○	● ● ●	● ● ○
Plazo de Entrega	● ● ○	● ○ ○	● ○ ○	● ● ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○	● ○ ○

Desempeño

Bajo: ● ○ ○

Medio: ● ● ○

Alto: ● ● ●

Tabla Nº2 Análisis Cualitativo de Alternativas – Subestación de Bombeo (Típica)

ANALISIS CUALITATIVO - SUBESTACIONES DE BOMBEO				
DESCRIPCIÓN	DESEMPEÑO DEL SISTEMA			
	AIS		GIS indoor	
Disposición de Equipos y Espacio	●	○	○	○
Calidad de Servicio y tolerancia a Fallas	●	○	○	○
Flexibilidad de Mantenimiento	●	○	○	○
Flexibilidad Operacional	●	○	○	○
Expansión Futura	●	○	○	○
Tiempo de Montaje	●	○	○	○
Envejecimiento	●	●	●	○
Deterioro Mecánico	●	●	●	○
Problemas de Aislación	●	●	○	○
Obsolescencia de Equipamiento	●	●	○	○
Estandarización de Equipamiento (Proyecto NDP)	●	○	○	○
Costo de Inversión	●	○	○	○
Costo Operacional	●	●	●	○
VAN Inversión (20 años)	●	●	○	○
Plazo de Entrega	●	●	○	○

Desempeño

Bajo: ● ○ ○

Medio: ● ● ○

Alto: ● ● ●

CAPÍTULO IV – Evaluación Económica de Soluciones Técnicas

1. Antecedentes

En los estudios efectuados para las instalaciones del Proyecto NDP se han considerado varias soluciones técnicas. Entre ellas, se han estudiado las soluciones que ofrecen una mayor ventaja al sistema, para ser comparadas desde el punto de vista del costo total de las soluciones, incluyendo los siguientes elementos de comparación:

- La inversión inicial,
- El costo de operación y mantenimiento,
- Costo de falla,
- Evaluación económica para un horizonte de evaluación de ciclo de vida útil de 20 años.

2. Metodología

El método utilizado para comparar las diversas soluciones consideradas consiste en asignar valores a los tres elementos de comparación cuantitativa para cada una de las soluciones, utilizando los siguientes criterios:

- Criterio básico de evaluación:

La evaluación económica se basa en el Valor Actualizado Neto (VAN) de los valores de inversión y de los costos anuales asociados a la operación del sistema eléctrico que se construirá para dar suministro al proyecto NDP.

El proyecto se evalúa a 20 años con los siguientes parámetros bases:

- Tasa Interna de Retorno del capital (TIR) estimadas entre 7,5%, 10% y 12%.
- Al final del proyecto (año 20), se estima un valor residual de 20%.
- Costo estimado de Falla de US\$ 1.000.000 diarios.

- La tasa de fallas promedio (2001-2006), correspondiente a 5,8 eventos por años con una duración promedio de 2,2 hrs por evento (información estadística del Cliente).
- Factor de probabilidad de falla de GIS de 0,615 veces la probabilidad de falla de AIS (Ref. 2).
- Se consideró el equipo GIS como libre de costos de operación y mantenimiento.

Para el costo de falla, y para efectos de comparación usando el factor de probabilidad de falla mencionado, se ha asumido la indisponibilidad total de la subestación como el peor caso a consecuencia de una falla intempestiva, cualquiera sea ésta, lo cual es utilizado sólo como una medida de comparación entre el desempeño de una GIS, y el de un patio AIS.

- Inversión inicial:

Cada solución considerada se ha dividido en conjuntos, para los cuales se han efectuado presupuestos tentativos. Para este efecto, se han identificado 2 conjuntos de subestaciones. Dichos presupuestos se muestran en el Anexo B - "Detalle General de Presupuestos de Inversión".

- Costos de operación y mantenimiento:

Los costos de operación y mantenimiento para el caso de las subestaciones está relacionado con el tipo de subestación y la altitud a la cual se encuentra; en este caso se cuenta con dos tipos de subestaciones, las tipo AIS y las tipo GIS interior como exterior (Caso S/E O'Higgins). Las primeras al ser aisladas por aire y a la intemperie están más expuestas, al contrario de las tipo GIS, que al ser encapsuladas, están aisladas de las inclemencias del clima. Lo anterior se traduce en que el mantenimiento es menor en una subestación tipo GIS, considerando intervenciones más distanciadas en el tiempo.

La altitud de la instalación obliga a las subestaciones tipo AIS a mantener mayores distancias entre fase – fase y fase – tierra, esto se torna aún más relevante para altitudes sobre los 3.000 m.s.n.m. En esas altitudes se deben considerar equipos más grandes y con mayor cantidad de aisladores, por lo que la mantención es mayor que en el caso de altitudes menores de 3.000 m.s.n.m.

La siguiente tabla muestra el porcentaje sobre la inversión a considerar por concepto de costo anual de operación y mantenimiento.

Tabla N° 3: Porcentaje sobre la inversión por concepto de costos anuales de operación y mantenimiento para las subestaciones.

Tipo de subestación	Altitud menor a 3.000 m.s.n.m	Altitud mayor a 3.000 m.s.n.m
AIS	1,8%	2,8%
GIS INDOOR	0,6%	1,8%

3. Descripción de los Presupuestos de Inversión

A continuación se presentan los presupuestos de inversión, preparados para dos casos:

- Ampliación de la S/E O'Higgins – Presupuesto S1.
- Subestaciones de Estaciones de Bombeo N°2, N°3 y N°4. – Presupuesto S2.

3.1. Presupuesto S1. Ampliación de la S/E O'Higgins 220kV.

3.1.1 Descripción

El presupuesto de inversión S1 corresponde a la inversión de las obras para la construcción de la Ampliación de S/E O'Higgins de 220 kV, ubicada en las inmediaciones de las líneas Atacama – Domeyko 1 y 2, a menos de 1.000 m.s.n.m. para efectos de este análisis.

La subestación se considera del tipo intemperie convencional o GIS (Outdoor o Indoor), con barra simple seccionada (Ver presupuestos 1-A, 2-A y 3-A).

3.1.2 Patio de Alta Tensión 220 kV

El patio de alta tensión de la ampliación de S/E O'Higgins 220 kV para el presupuesto S1 se consideró lo siguiente:

- Paño N° 1: Paño de llegada Línea Seccionamiento línea Atacama-Domeyko 1x220 kV.
- Paño N° 2: Paño de Línea salida Seccionamiento línea Atacama-Domeyko 1x220 kV.
- Paño N° 3: Paño Seccionador de Barra.
- Paño N° 4: Paño de Nueva Línea O'Higgins-Coloso 2.
- Paño N° 5: Paño de Línea O'Higgins-Chacaya 2.
- Paño N° 6: Paño de Línea O'Higgins- Chacaya 3.

La subestación estará formada por una Barra Principal compuesta de dos secciones: Barra Principal Existente y Barra Principal Ampliación. Se consideran dejar los espacios para dos paños futuros.

El diagrama unilineal conceptual y la disposición de equipos en el patio de 220 kV se detallan en el Anexo A.

Para la acometida de las líneas de 220 kV, se contempla la utilización de estructuras altas: Marcos de Línea y Marcos de Barra. Estas estructuras altas serán del tipo enrejada, galvanizadas en caliente. Los marcos de línea tendrán extensiones para la acometida del cable de guardia tipo OPGW.

Los equipos serán montados en estructuras y fundaciones diseñadas específicamente para los equipos, el tipo de suelo existente en la zona y solicitaciones sísmicas se encontrarán de acuerdo a la UBC/1999 Zona 4.

3.1.3 Tipo de Subestación

La subestación es del tipo exterior (AIS y GIS Outdoor) y del tipo interior (GIS Indoor).

3.1.4 Comunicaciones

Se consideran ampliaciones del actual sistema de comunicaciones por medio de las líneas de alta tensión, mediante la utilización de fibra óptica en cable de guardia tipo OPGW, 24 fibras.

3.1.5 Terreno

Se considera que éstos ya fueron adquiridos por el Cliente, razón por lo cual no se incluyen en el presupuesto.

3.1.6 Edificio GIS

Para efectos del control, protección, comunicaciones, supervisión y medida del equipamiento de la subestación, se considera la construcción de un edificio para GIS, de aproximadamente 200 [m²]. En él se instalarán los armarios de control, protección y medida para el servicio de los paños de 220 kV. Además se instalarán los tableros de distribución de SS/AA que suministran la energía necesaria a los equipos de los paños además de la energía para los equipos de control, protección, medida y telecomunicaciones, como también el Sistema de Control Distribuido.

En términos de espacio físico, el Edificio de Mando estará compuesto por una Sala de Equipamiento GIS y Sala de Comunicaciones.

El Sistema de Control Distribuido que comandará la subestación, contempla la instalación en la Sala de Comunicaciones de los armarios de comunicaciones de fibra óptica, y el de los armarios de terminales remotos.

3.1.7 Equipamiento

El equipo considerado en el presupuesto se detalla en las tablas del Anexo B – Detalle General de Presupuesto de Inversión, para el equipo principal, equipamiento de control y protecciones, equipamiento de comunicaciones y de servicios auxiliares.

Los equipos deberán ser especificados de acuerdo al nivel de aislamiento, grado de contaminación, tipo de servicio y forma de instalación, así como

otras características técnicas que se detallarán en las correspondientes especificaciones técnicas, en función de los requerimientos del Cliente.

3.1.8 Presupuesto de Inversión

El presupuesto de inversión para la construcción, montaje, suministro de equipo principal, suministro de materiales e ingeniería se detalla en las tablas del Anexo B – Detalle General de Presupuesto de Inversión.

El presupuesto corresponde al concepto de costo directo, de manera que no incluyen IVA, gastos generales del dueño ni gastos financieros durante la construcción. Se ha considerado un imprevisto de un 10%.

3.1.9 Consideraciones.

En el desarrollo del presupuesto S1 se realizaron los siguientes supuestos y consideraciones:

- La Subestación o su ampliación, es una obra completamente nueva.
- La construcción de la Subestación se realiza de una sola vez.
- La malla de puesta a tierra abarca toda la superficie del terreno intervenido dentro del cerco metálico o ampliación conectada a la malla existente.
- Se consideró que se debe hacer movimiento de tierra y mejoramiento de los caminos de acceso.

3.2. **Presupuesto S2. Subestaciones de Estaciones de Bombeo N°2, N°3 y N°4.**

3.2.1 Descripción

El presupuesto de inversión corresponde a las obras para la construcción de las subestaciones de las Estaciones de Bombeo N°2, N°3 y N°4 de 220 kV, ubicadas a lo largo de la línea O'Higgins - Domeyko 2x220 kV; a más de 1.000 m.s.n.m. y menos de 3.000 m.s.n.m. Las subestaciones se consideran del tipo intemperie (AIS) y GIS Indoor (Ver Presupuestos 1-B y 2-B).

3.2.2 Patio de Alta Tensión 220 kV

Para el presupuesto de inversión S2 del patio de alta tensión de las subestaciones de bombeo de 220 kV (Estaciones de Bombeo N° 2, 3 y 4) se consideró lo siguiente:

- Paño N° 1: Paño de Salida de Línea O'Higgins – Domeyko.
- Paño N° 2: Paño de entrada de Línea O'Higgins – Domeyko.
- Paño N° 3: Paño de Transformación N° 1.
- Paño N° 4: Paño de Transformación N° 2.
- Derivación Línea O'Higgins-Domeyko 1x220 kV a subestación.

La subestación estará formada por una Barra Principal 220 kV. El diagrama unilineal conceptual y la disposición de equipos en el patio de 220 kV se detallan en las figuras del Anexo A – Planos de Disposición y Diagramas Unilineales simplificados.

Para la acometida de las líneas de 220 kV, se contempla la utilización de estructuras altas: Marcos de Línea y Marcos de Barra. Estas estructuras altas serán del tipo enrejada, galvanizadas en caliente. Los marcos de línea tendrán extensiones para la acometida del cable de guardia tipo OPGW.

Los equipos serán montados en estructuras y fundaciones diseñadas específicamente para los equipos, el tipo de suelo existente en la zona y solicitaciones sísmicas se encontrarán de acuerdo a la UBC/1999 Zona 4.

3.2.3 Tipo de Subestación

La subestación es del tipo exterior (AIS) o encapsulada en gas del tipo GIS Indoor.

3.2.4 Comunicaciones

Se consideran ampliaciones del actual sistema de comunicaciones por medio de las líneas de alta tensión, mediante la utilización de fibra óptica en cable de guardia tipo OPGW, 24 fibras.

3.2.5 Terreno

Se considera que éstos ya fueron adquiridos por el Cliente, razón por lo cual no se incluyen en el presupuesto.

3.2.6 Edificio de Mando y GIS

Para efectos del control, protección, comunicaciones, supervisión y medida del equipamiento de la subestación, se considera la construcción de un edificio de mando, de aproximadamente 180 [m²].

En él se instalarán los armarios de control, protección y medida para el servicio de los paños de 220 kV. Además se instalarán los tableros de distribución de SS/AA que suministran la energía necesaria a los equipos de los paños; además de la energía para los equipos de control, protección, medida y telecomunicaciones, como también el Sistema de Control Distribuido y los tableros de servicios auxiliares.

En términos de espacio físico, el Edificio de Mando estará compuesto por una Sala de Servicios Auxiliares, Sala de Comunicaciones y Sala de Baterías.

El Sistema de Control Distribuido que comandará la subestación, contempla la instalación en la Sala de Comunicaciones de los armarios de comunicaciones de fibra óptica y el de los armarios de terminales remotos.

Además se considera la construcción de un edificio para albergar el equipamiento GIS, de aproximadamente 200 [m²].

3.2.7 Equipamiento

El equipo considerado en el presupuesto se detalla en las tablas del Anexo B - Detalle General de Presupuesto de Inversiones, para el equipo principal, equipamiento de control y protecciones, equipamiento de comunicaciones y de servicios auxiliares.

Los equipos deberán ser especificados de acuerdo al nivel de aislamiento, grado de contaminación, tipo de servicio y forma de instalación, así como

otras características técnicas que se detallarán en las correspondientes especificaciones técnicas, en función de los requerimientos del Cliente.

3.2.8 Consideraciones.

En el desarrollo del presupuesto S2 se realizaron los siguientes supuestos y consideraciones:

- La subestación o su ampliación, es una obra completamente nueva.
- La construcción de la subestación se realiza de una sola vez.
- La malla de puesta a tierra abarca toda la superficie del terreno intervenido dentro del cerco metálico.
- Se consideró que se debe hacer movimiento de tierra y mejoramiento de los caminos de acceso.
- Se considera un incremento en las obras civiles asociadas a movimiento de tierras y plataforma, debido principalmente a limitaciones de la geografía imperante, la cual obliga a realizar taludes mayores.

4. Evaluación Económica (Valor Actual Neto de Inversión)

El resultado de la evaluación económica comparativa de subestaciones intemperie (AIS), subestaciones interiores encapsuladas en gas (GIS Indoor) y subestaciones exteriores encapsuladas en gas (GIS Outdoor), se puede observar en la Tabla N° 4, que al considerar los costos de operación, mantenimiento y los mejores desempeños en términos de probabilidad de falla de la GIS, éstos otorgan una comparación bastante más equilibrada entre las alternativas.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta la gran importancia que pueden representar las externalidades positivas de las subestaciones GIS frente a las subestaciones AIS, como lo es el caso de la estandarización en la utilización de GIS en 220 kV, para distintas altitudes de instalación superiores a los 1000 m.s.n.m.

La evaluación económica de las alternativas de subestaciones AIS, GIS Indoor y GIS Outdoor se realiza para las siguientes obras:

- A: Ampliación de la S/E O'Higgins 220 kV.
- B: Subestaciones de Bombeo típicas N°2, N°3 y N°4.

Obras para las cuales se presentan las siguientes soluciones de evaluación económica:

- Solución 1-A: Ampliación S/E O'Higgins - Opción AIS.
- Solución 2-A: Ampliación S/E O'Higgins - Opción GIS Indoor.
- Solución 3-A: Ampliación S/E O'Higgins - Opción GIS Outdoor.
- Solución 1-B: S/E de Bombeo Típica - Opción AIS.
- Solución 2-B: S/E de Bombeo Típica - Opción GIS Indoor.

Para las subestaciones de bombeo típicas no se ha evaluado la solución GIS Outdoor, dado que existen restricciones en la superficie disponible a utilizar para su implantación en el terreno, razón por la cual sólo se evalúan las opciones AIS y GIS Indoor.

En la comparación de la "Solución 2-A" GIS Indoor y "Solución 3-A" GIS Outdoor para la ampliación de S/E O'Higgins, se puede visualizar que el VAN (Valor Actualizado Neto) para estas alternativas son un 33% y 20% mayores que la alternativa en aire AIS "Solución 1-A", considerando una tasa interna de retorno de 7,5 %, diferencia que se ve incrementada con una mayor tasa de retorno, de acuerdo a lo siguiente:

Comparación Diferencial Solución 1-A (AIS) v/s Soluciones 2-A y 3-A (GIS)					
TIR 7,5%		TIR 10%		TIR 12%	
Solución 2-A GIS indoor	Solución 3-A GIS Outdoor	Solución 2-A GIS indoor	Solución 3-A GIS Outdoor	Solución 2-A GIS indoor	Solución 3-A GIS Outdoor
33,3%	20,2%	40,1%	25,8%	44,9%	29,8%

Análogamente y utilizando la misma TIR de 7,5%, en el caso de las "Estaciones de Bombeo", la comparación es bastante más estrecha, donde la "Solución 1-B" para AIS entrega un VAN menor, siendo la solución GIS Indoor "Solución N° 2-B" un 9,8% mayor que la alternativa en aire.

Comparación Diferencial Solución 1-B (AIS) v/s Solución 2-B (GIS)					
TIR 7,5%		TIR 10%		TIR 12%	
Solución 2-A GIS indoor	Solución 3-A GIS Outdoor	Solución 2-A GIS indoor	Solución 3-A GIS Outdoor	Solución 2-A GIS indoor	Solución 3-A GIS Outdoor
9,8%	-	14,0%	-	16,8%	-

Tabla N° 4: Valor actual neto de los proyectos de inversión

**EVALUACIÓN ECONÓMICA - PROYECTOS DE INVERSIÓN ALTERNATIVOS
AMPLIACION S/E O HIGGINS**

	Solución	Inversión US\$	COyM US\$/año	Pérd. x falla US\$/año	VAN1 US\$ - TIR 7,5%	VAN2 US\$ - TIR 10%	VAN3 US\$ - TIR 12%
AIS	1-A	6.885.000	123.930	531.667	12.154.104	11.039.876	10.316.160
GIS Indoor	2-A	14.036.000	84.216	326.975	16.205.272	15.469.618	14.945.363
GIS Outdoor	3-A	12.331.000	73.986	326.975	14.604.728	13.892.512	13.391.113

**EVALUACIÓN ECONÓMICA - PROYECTOS DE INVERSIÓN ALTERNATIVOS
S/E DE BOMBEO TÍPICA**

	Solución	Inversión US\$	COyM US\$/año	Pérd. x falla US\$/año	VAN1 US\$ - TIR 7,5%	VAN2 US\$ - TIR 10%	VAN3 US\$ - TIR 12%
AIS	1-B	10.205.000	183.690	531.667	15.639.794	14.413.801	13.604.628
GIS Indoor	2-B	15.070.000	90.420	326.975	17.175.925	16.426.057	15.887.940

Como se puede observar de las tablas de Presupuesto de Inversión N° 5 y N° 6, el mayor peso del costo de inversión en la implementación de las opciones GIS está derivado de la adquisición del equipamiento propiamente tal y sus correspondientes gastos logísticos. En todo caso, para estas opciones (GIS) existe un menor tiempo de montaje.

Se debe considerar además que para la alternativa GIS Indoor, existe la incorporación de cable aislado de alta tensión para los paños de líneas de las subestaciones respectivas, lo cual, es considerado tendido aéreo para la alternativa AIS y la alternativa GIS Outdoor.

**Tabla Nº 5: Presupuesto de Inversión de Obras Eléctricas –
Ampliación de la S/E O'Higgins 220 kV**

		Solucion 1-A	Solucion 2-A	Solucion 3-A
	Presupuestos Obras Eléctricas	S/E O'Higgins	S/E O'Higgins	S/E O'Higgins
		5 PL + 1 PS	5 PL + 1 PS	5 PL + 1 PS
		AIS	GIS INDOOR	GIS OUTDOOR
		220 kV	220 kV	220 kV
		kUS\$	kUS\$	kUS\$
Item	Actividad			
1	Ingeniería	540	585	563
2	Equipo principal	2.737	7.956	7.287
3	Materiales	541	325	345
4	Derechos de Internación	27	80	73
5	Fletes y gastos eq./materiales	197	497	458
6	Obras civiles	841	1.130	619
7	Montajes e instalación	599	1.355	1.060
8	Puesta en Servicio	130	130	130
9	Estudio de Impacto Ambiental			
10	Administración e inspección	648	702	675
11	Terrenos	0	0	0
A	Subtotal	6.259	12.759	11.209
B	Imprevistos	626	1.276	1.121
	TOTAL	6.885	14.035	12.330

**Tabla N° 6: Presupuesto de Inversión de Obras Eléctricas -
S/E de Bombeo (Típica)**

Presupuestos Obras Eléctricas		Solución 1-B	Solución 2-B
		S/E Bombeo Conv.	S/E Bombeo GIS
		2 PL + 2 PT	2 PL + 2 PT
		2 TR 45 MVA 220/13,2 kV	2 TR 45 MVA 220/13,2 kV
		220 kV	220 kV
		kUS\$	kUS\$
Item	Actividad		
1	Ingeniería	520	580
2	Equipo principal	4.388	8.220
3	Materiales	452	244
4	Derechos de Internación	44	82
5	Fletes y gastos eq./materiales	290	508
6	Obras civiles	2.049	2.038
7	Montajes e instalación	815	1.237
8	Puesta en Servicio	95	95
9	Estudio de Impacto Ambiental		
10	Administración e inspección	624	696
11	Terrenos	0	0
A	Subtotal	9.278	13.700
B	Imprevistos	928	1.370
	TOTAL	10.205	15.070

Capítulo V – Comentarios y Conclusiones

La utilización de subestaciones encapsuladas en gas SF6 surge como una solución cada vez más interesante de implementar frente a una solución tradicional. En particular, si se considera que la creciente demanda de energía eléctrica en las grandes ciudades y centros industriales presenta una disponibilidad reducida de espacio para la ubicación de subestaciones, por el alto costo de los terrenos y por el rechazo de la comunidad a la instalación de subestaciones convencionales AIS.

De acuerdo a la información expuesta en esta memoria, y analizando la valorización de cada equipamiento (tanto GIS como AIS) a lo largo de su vida útil, resulta atractiva la utilización de equipamiento GIS para las subestaciones de alta tensión, tanto en la ampliación de la S/E O'Higgins como en las subestaciones de las Estaciones de Bombeo N° 2, N°3 y N°4; principalmente debido a la uniformidad en la clase de aislación del equipamiento GIS (clase 245 kV), en las subestaciones eléctricas involucradas en el proyecto, las cuales se ubican hasta una altitud de 2.400 m.s.n.m..

A ello se debe adicionar el incremento en la robustez de operación y el mínimo mantenimiento que éstas tienen, minimizando la asignación de personal para este objeto, otorgando una gran flexibilidad operacional.

Debido a costos de operación y mantenimiento, y el mejor desempeño y robustez de la GIS, sin considerar externalidades propias de estos equipos para las subestaciones de bombeo, la solución GIS Indoor entrega un diferencial de VAN de 10%, sin considerar los aspectos cualitativos mencionados respecto de la solución intemperie, por lo cual en este caso, resulta atractivo incorporar equipamiento GIS en estas subestaciones.

Con respecto a la comparación relativa a la ampliación de subestación O'Higgins, en ésta se puede observar un mayor diferencial en los VAN respecto a las AIS. Motivo por el cual la decisión final de inversión estará supeditada a las externalidades positivas que otorga la GIS y los respectivos aspectos cualitativos mencionados, teniendo en cuenta que esta subestación debe considerarse como parte del proyecto NDP en su globalidad. Es decir, si la decisión de inversión en otras subestaciones se inclina hacia la tecnología GIS, este diferencial de VAN tendrá un menor impacto en el proyecto en su totalidad.

Esta solución individual para el caso GIS Indoor y Outdoor es un 33% y 20 % mayor que la solución AIS respectiva, sin embargo, es importante señalar que corresponde a una sola subestación, por cuanto, asumiendo la comparación a escala del proyecto en su totalidad, sigue siendo interesante implementar una solución GIS, ya sea ésta Indoor o Outdoor.

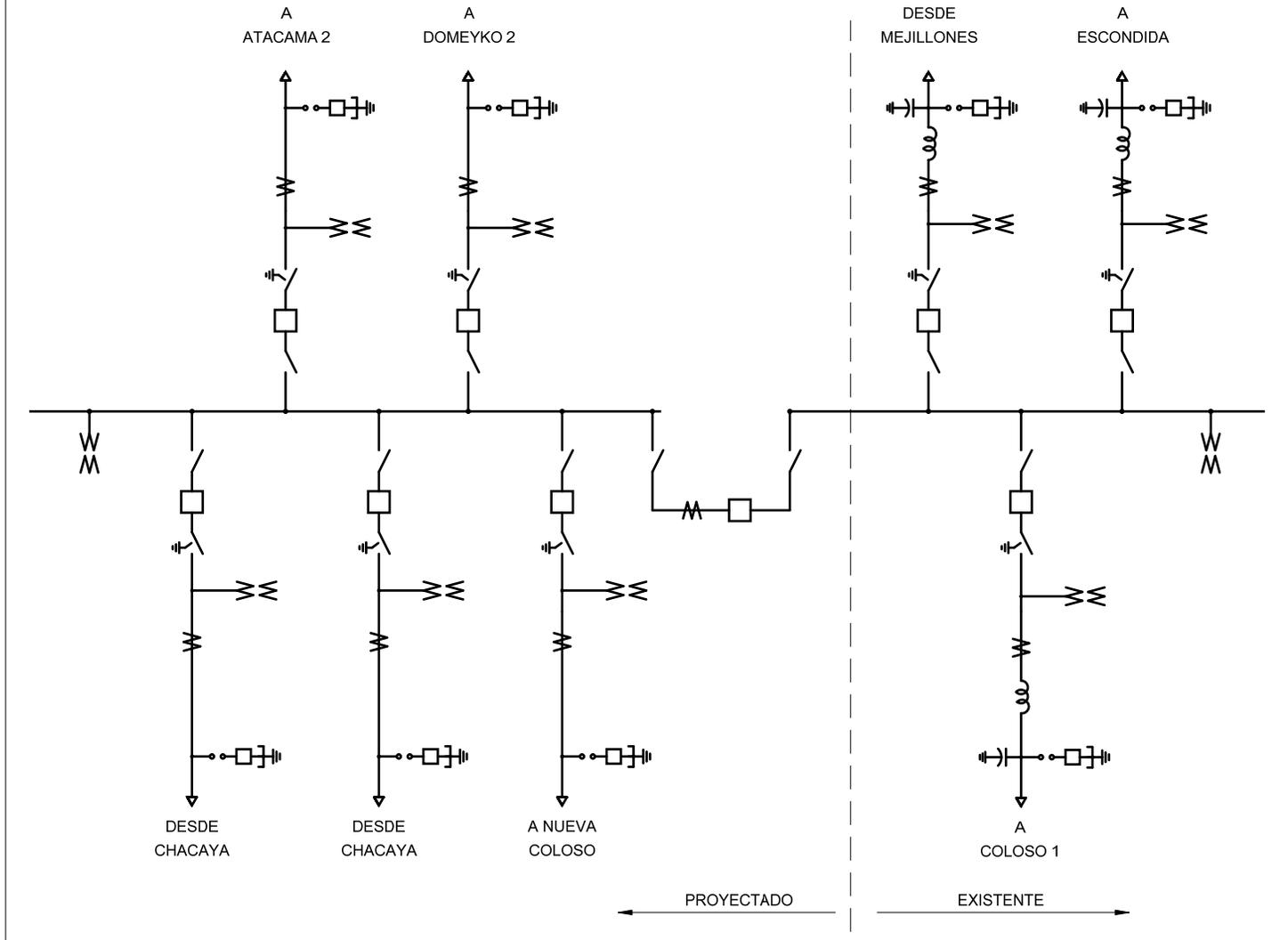
REFERENCIAS

- 1] Diario Oficial de la Republica de Chile. “Valores de Inversión de Obras de Ampliación, Edic. 08 de Noviembre, pag. 6.
- 2] Phil Bolin, Hermann Koch. IEEE Substations Committee. “Introduction and Applications of Gas Insulated Substation (GIS)”.
- 3] IEEE Std. C37.122.1-1993(R2002) Guide for Gas-Insulated Substations.

**ANEXO A – PLANOS DE DISPOSICIÓN Y DIAGRAMAS UNILINEALES
SIMPLIFICADOS**

AMPLIACIÓN S/E O'HIGGINS
Y S/E TÍPICAS DE BOMBEO N° 2, N°3 Y N°4

DIAGRAMA UNILINEAL S/E O'HIGGINS 220 kV
OPCION EQUIPAMIENTO CONVENCIONAL



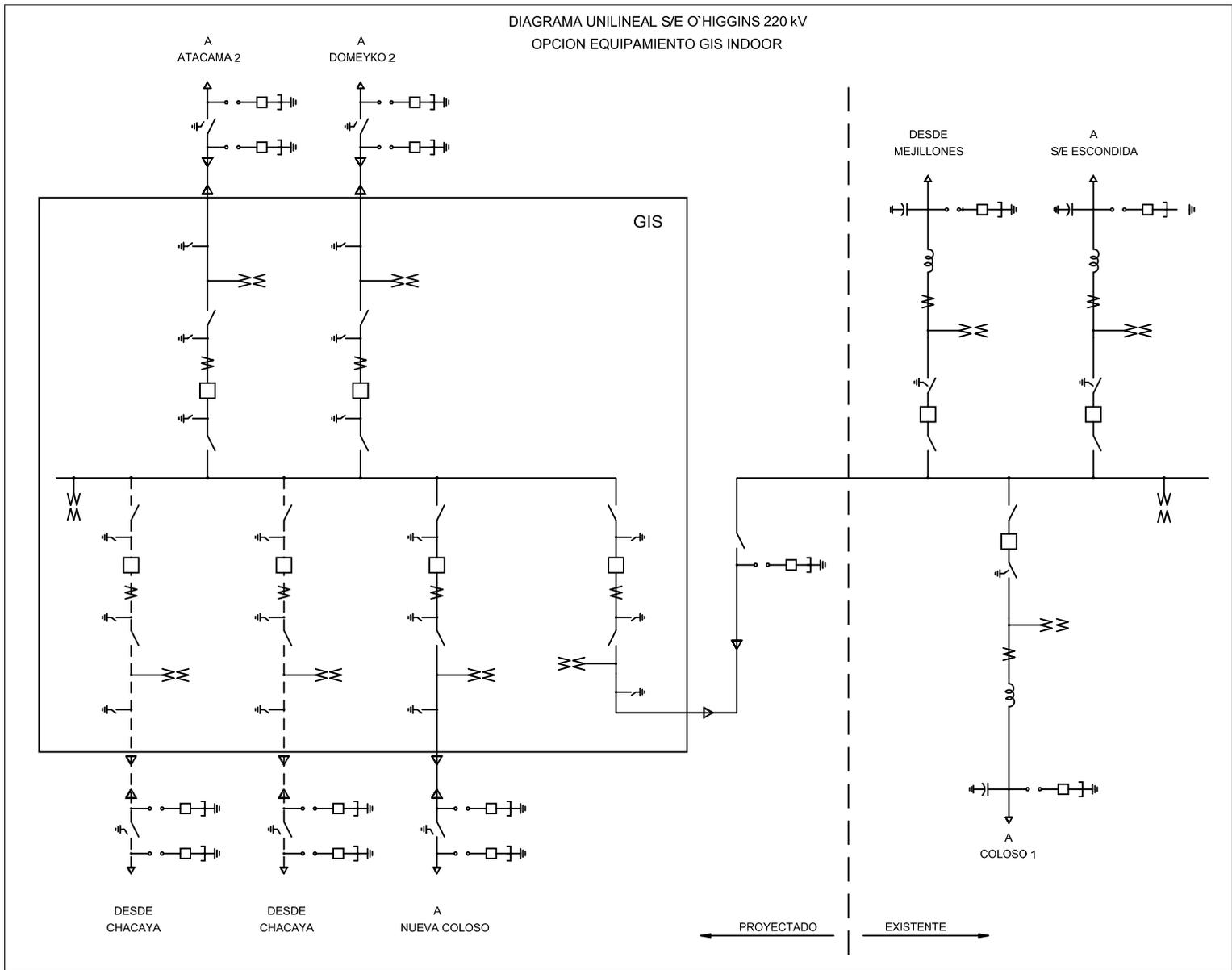
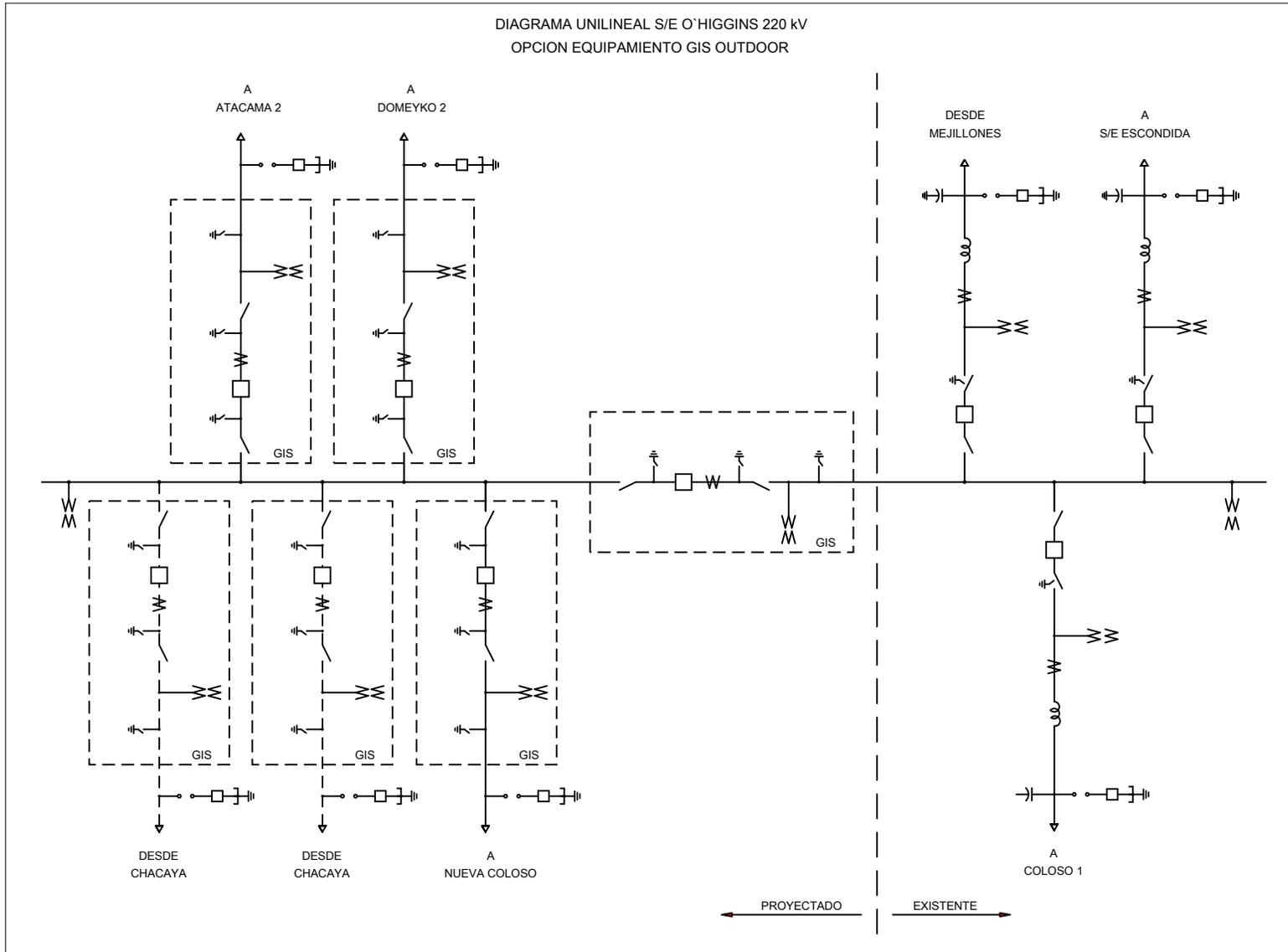
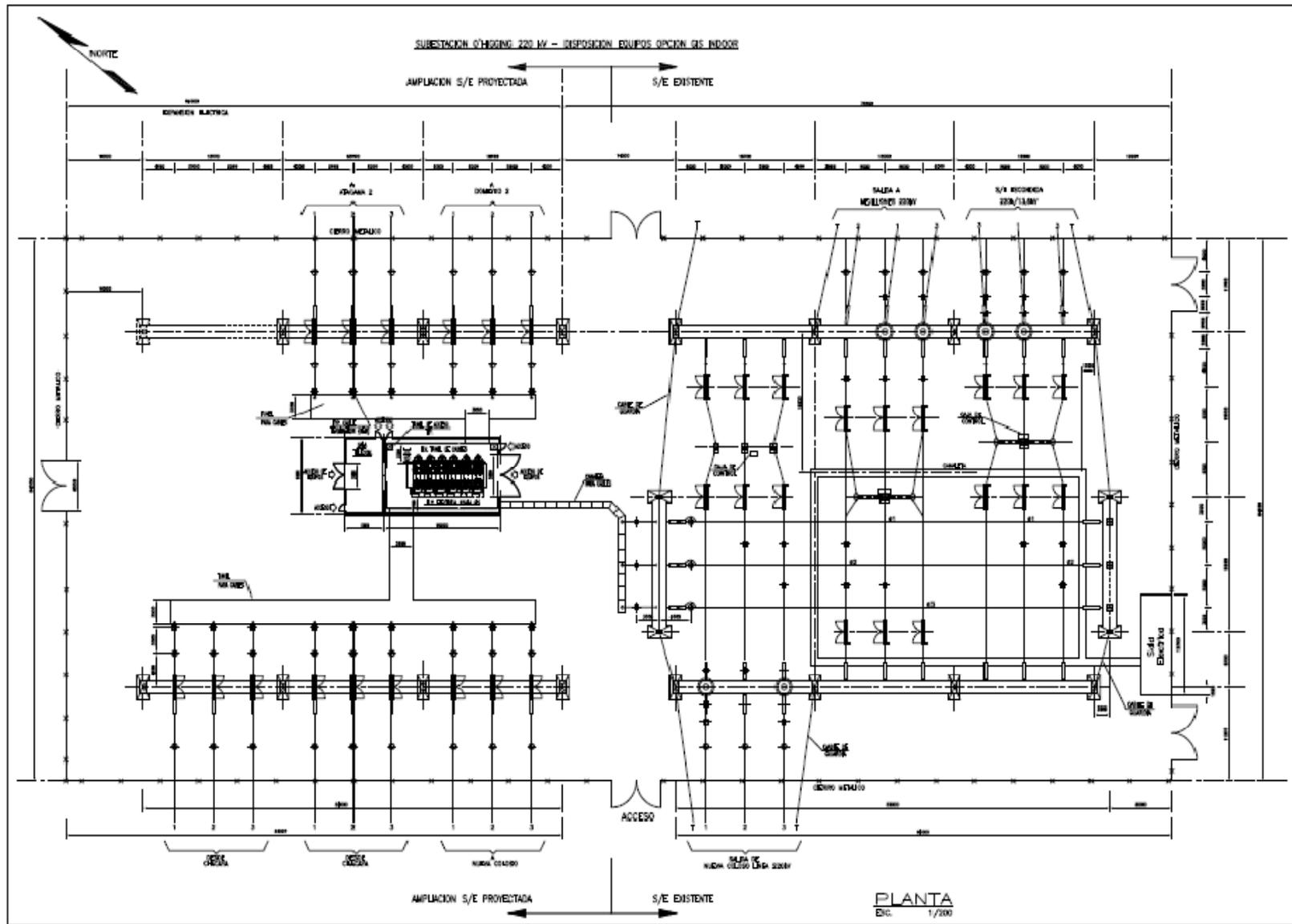
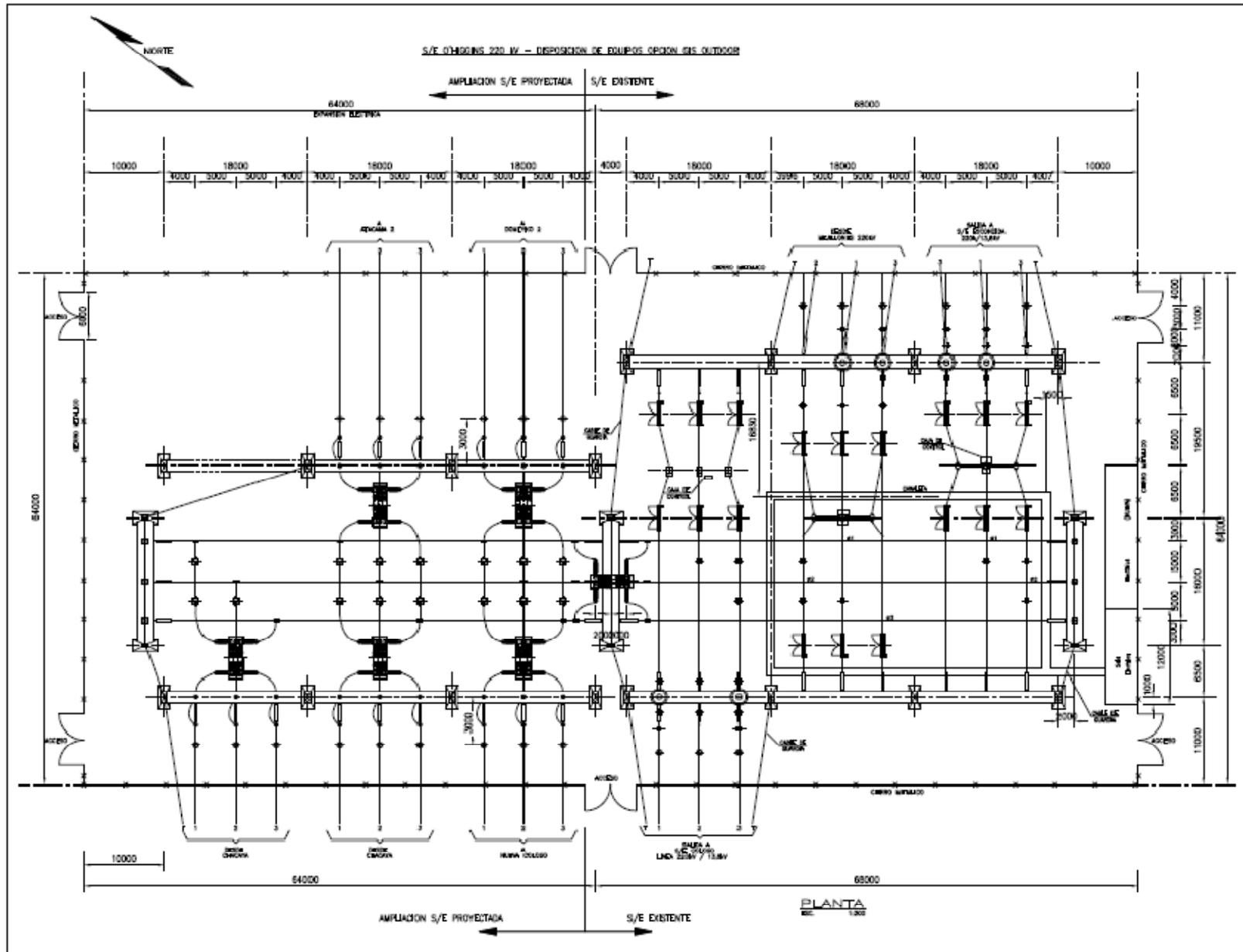


DIAGRAMA UNILINEAL S/E O'HIGGINS 220 kV
OPCION EQUIPAMIENTO GIS OUTDOOR







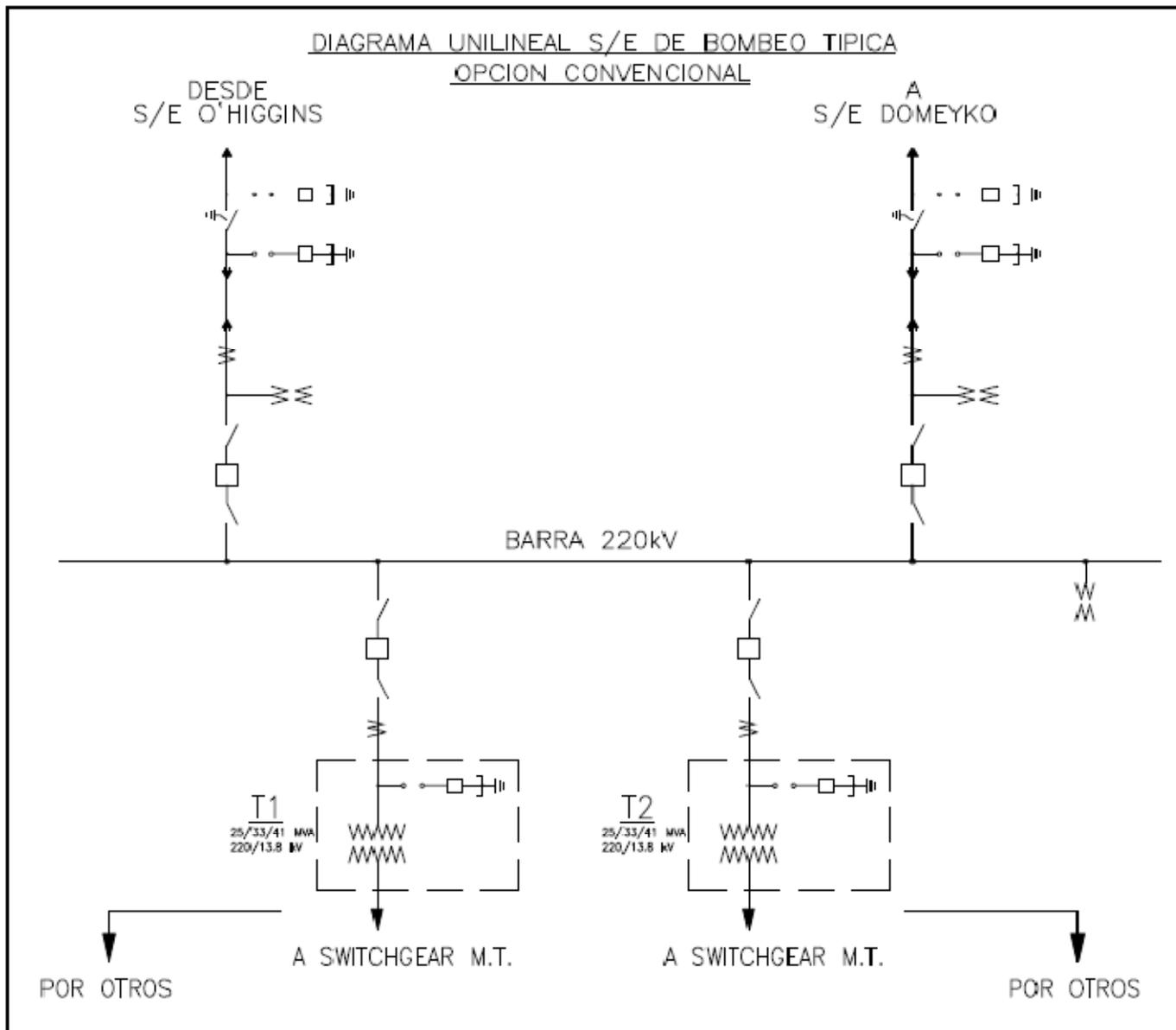
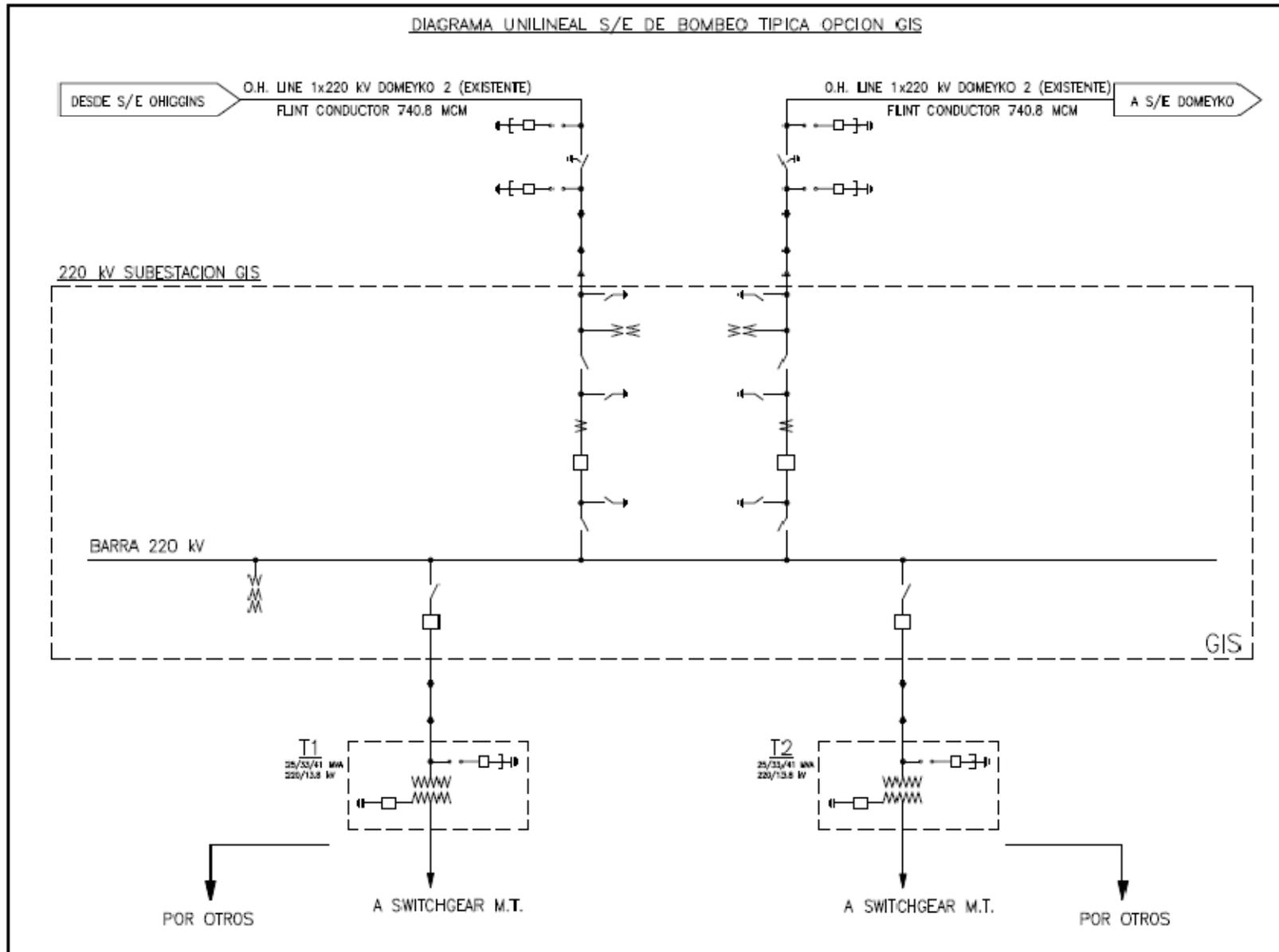
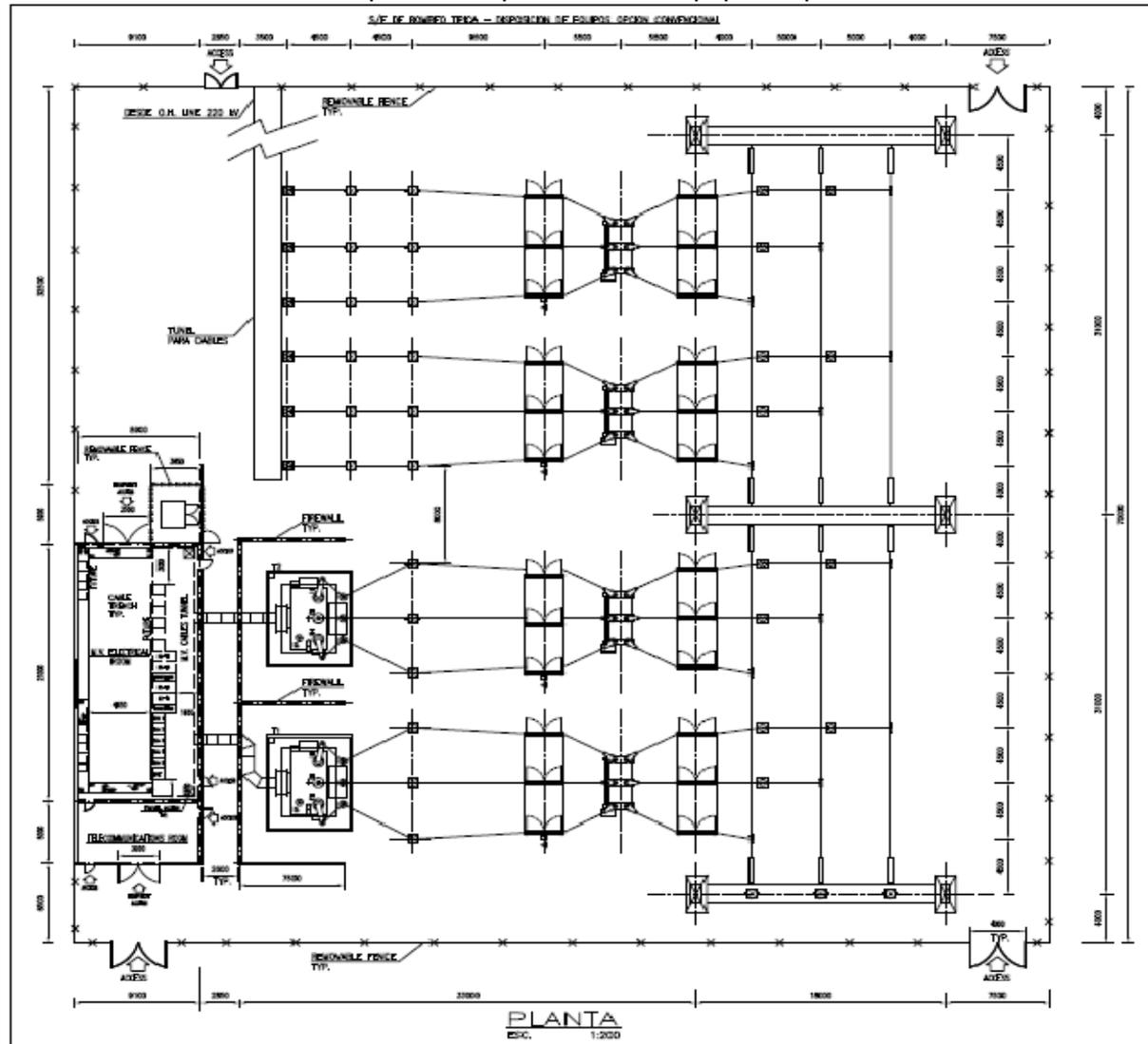


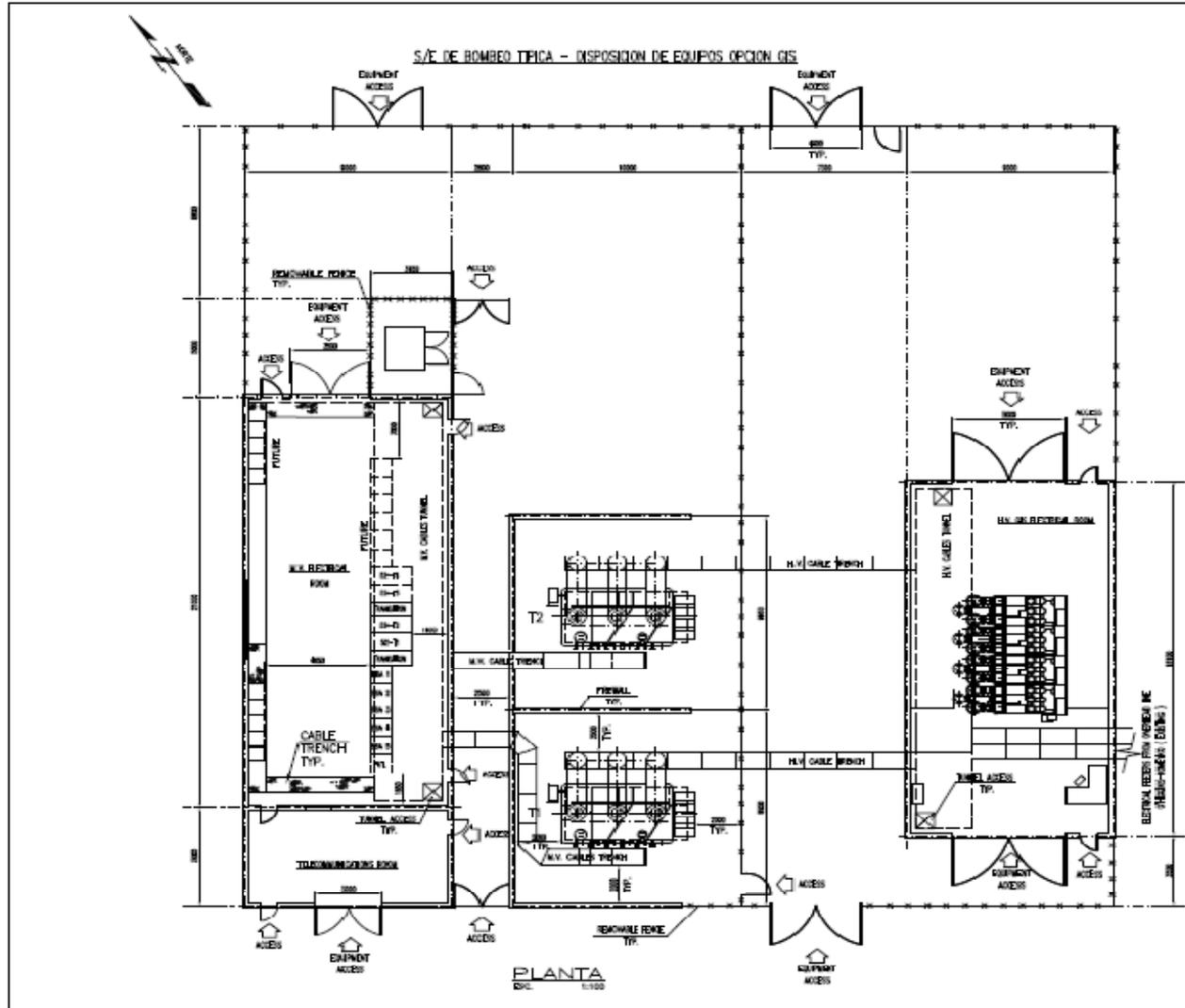
DIAGRAMA UNILINEAL S/E DE BOMBEO TIPICA OPCION GIS



S/E de Bombeo Típica – Disposición de Equipos Opción Conventional



S/E de Bombeo Típica – Disposición de Equipos Opción GIS



ANEXO B – DETALLE GENERAL DE PRESUPUESTO DE INVERSION

“DETALLE GENERAL DE PRESUPUESTO DE INVERSION DE LAS ALTERNATIVAS”

INDICE

- A AMPLIACION SUBESTACION O´HIGGINS**
 - A.1 Detalle Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 1-A
Ampliación S/E O´Higgins - AIS**
 - A.2 Detalle Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 2-A
Ampliación S/E O´Higgins – GIS Indoor**
 - A.3 Detalle Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 3-A
Ampliación S/E O´Higgins – GIS Outdoor**

- B SUBESTACIONES DE BOMBEO N°2, N°3 y N° 4**
 - B.1 Detalle Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 1-B
Ampliación S/E O´Higgins - AIS**
 - B.2 Detalle Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 2-B
Ampliación S/E O´Higgins – GIS Indoor.**

AMPLIACIÓN SUBESTACIÓN O'HIGGINS

A.1 Detalle de Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 1-A (Ampliación S/E O'Higgins - AIS)

Tabla Nº A 1.1: Equipo Principal, Presupuesto 1-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Interruptor de poder tripolar SF6 clase 245 kV, 3150 A, montaje intemperie, monopolar, capacidad de ruptura 40 kA.	c/u	6
2	Desconectador tripolar de apertura central clase 245 kV, 2000 A, motorizado, sin puesta a tierra, montaje horizontal.	c/u	7
3	Desconectador de puesta a tierra tripolar	c/u	5
4	Transformadores de Corriente monofásico, intemperie, 245 kV.	c/u	18
5	Transformador de potencial monofásico, intemperie, clase 245 kV, $220 : \sqrt{3} / 0,115 - 0,115 : \sqrt{3}$ kV.	c/u	18
6	Pararrayos monofásicos de oxido de zinc clase 245 kV, tensión nominal 192 kV.	c/u	15
7	Aisladores de pedestal clase 245 kV.	c/u	15

Tabla Nº A 1.2: Equipos de Control, Protección y Medida, Presupuesto 1-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Control	c/u	6
2	Armario de Protecciones	c/u	6
3	Armario de Facturación	c/u	4

Tabla Nº A 1.3: Equipos de Comunicaciones, Presupuesto 1-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Medidas	c/u	4
2	Armario de para Fibra Óptica	c/u	4
3	Armario de RTU, SCADA	c/u	2

Tabla Nº A 1.4: Equipamiento de servicios Auxiliares, Presupuesto 1-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Tablero de SS/AA de corriente continua	c/u	1
2	Tablero de SS/AA de corriente alterna	c/u	1
3	Banco de baterías 110 Vcc.	c/u	1
4	Cargador de baterías 110 Vcc/40 A	c/u	1
5	Inversores	c/u	1

Tabla Nº A 1.5: Resumen del Presupuesto Solución 1-A

ITEM	ACTIVIDAD	Moneda Nacional US\$	Moneda Extranjera US\$
1	Ingeniería	540.000	
2	Equipo Principal	0	2.737.000
3	Materiales	541.000	
4	Derechos de Internación	27.000	
5	Fletes y gastos portuarios	197.000	
6	Obras Civiles	841.000	
7	Montajes e Instalación	599.000	
8	Puesta en Servicio	130.000	
9	Estudio de Impacto Ambiental		
10	Administración e Inspección	648.000	
11	Terrenos	0	
A	Subtotal 1	3.52.000	2.737.000
B	Imprevistos 10%	352.200	273.700
C	Subtotal 2	3.874.200	3.010.700
	TOTAL	US\$ 6.885.000	

A.2 Detalle de Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 2-A (Ampliación S/E O'Higgins – GIS Indoor)

Cabe destacar que para este caso se incorporan 790 metros de cable aislado clase 245 kV, XLPE 500 MCM.

Tabla Nº A 2.1: Equipo Principal, Presupuesto 2-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Desconectador sin puesta a tierra, 245 kV	c/u	1
2	Desconectador con puesta a tierra, tripolar 245 kV	c/u	5
3	Pararrayos monofásicos de oxido de zinc clase 245 kV, tensión nominal 192 kV.	c/u	33
4	GIS Cl. 245 kV	c/u	6
5	Transformador de potencial de barra (Suministro GIS)	c/u	1
6	Mufas 245 kV	c/u	36

Tabla Nº A 2.2: Equipos de Control, Protección y Medida, Presupuesto 2-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Control	c/u	6
2	Armario de Protecciones	c/u	6
3	Armario de Facturación	c/u	4

Tabla Nº A 2.3: Equipos de Comunicaciones, Presupuesto 2-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Medidas	c/u	4
2	Armario de para Fibra Óptica	c/u	4
3	Armario de RTU, SCADA	c/u	2

Tabla NºA 2.6: Equipamiento de servicios Auxiliares, Presupuesto 2-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Tablero de SS/AA de corriente continua	c/u	1
2	Tablero de SS/AA de corriente alterna	c/u	1
3	Banco de baterías 110 Vcc.	c/u	1
4	Cargador de baterías 110 Vcc	c/u	1
5	Inversores	c/u	1

Tabla Nº A 2.4: Resumen del Presupuesto Solución 2-A

ITEM	ACTIVIDAD	Moneda Nacional US\$	Moneda Extranjera US\$
1	Ingeniería	585.000	
2	Equipo Principal	0	7.956.000
3	Materiales	325.000	
4	Derechos de Internación	80.000	
5	Fletes y gastos portuarios	497.000	
6	Obras Civiles	1.130.000	
7	Montajes e Instalación	1.355.000	
8	Puesta en Servicio	130.000	
9	Estudio de Impacto Ambiental		
10	Administración e Inspección	702.000	
11	Terrenos	0	
A	Subtotal 1	4.804.000	7.956.000
B	Imprevistos 10%	480.400	795.600
C	Subtotal 2	5.284.400	8.751.600
	TOTAL	US\$ 14.036.000	

A.3 Detalle de Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 3-A (Ampliación S/E O'Higgins – GIS Outdoor)

Tabla Nº A 3.7: Equipo Principal, Presupuesto 3-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Transformadores de potencial clase 245 kV	c/u	3
3	Pararrayos monofásicos de oxido de zinc clase 245 kV, tensión nominal 192 kV.	c/u	15
4	Aisladores de pedestal clase 245 kV.	c/u	15
5	GIS 245 kV	c/u	6
6	Transformador de potencial de barra (Suministro GIS)	c/u	1

Tabla Nº A 3.8: Equipos de Control, Protección y Medida, Presupuesto 3-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Control	c/u	6
2	Armario de Protecciones	c/u	6
3	Armario de Facturación	c/u	4

Tabla Nº A 3.9: Equipos de Comunicaciones, Presupuesto 3-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Medidas	c/u	4
2	Armario de para Fibra Óptica	c/u	4
3	Armario de RTU, SCADA	c/u	2

Tabla Nº A 3.10: Equipamiento de servicios Auxiliares, Presupuesto 3-A

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Tablero de SS/AA de corriente continua	c/u	1
2	Tablero de SS/AA de corriente alterna	c/u	1
3	Banco de baterías 110 Vcc.	c/u	1
4	Cargador de baterías 110 Vcc	c/u	1
5	Inversores	c/u	1

Tabla Nº A 3.11: Resumen del Presupuesto Solución 3-A

ITEM	ACTIVIDAD	Moneda Nacional US\$	Moneda Extranjera US\$
1	Ingeniería	563.000	
2	Equipo Principal	0	7.287.000
3	Materiales	345.000	
4	Derechos de Internación	73.000	
5	Fletes y gastos portuarios	458.000	
6	Obras Civiles	619.000	
7	Montajes e Instalación	1.060.000	
8	Puesta en Servicio	130.000	
9	Estudio de Impacto Ambiental		
10	Administración e Inspección	675.000	
11	Terrenos	0	
A	Subtotal 1	3.923.000	7.287.000
B	Imprevistos 10%	392.300	728.700
C	Subtotal 2	4.315.300	8.015.700
	TOTAL	US\$ 12.331.000	

SUBESTACIONES DE BOMBEO N° 2, N°3 Y N°4.

B.1 Detalle de Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 1-B (AIS)

Se ha considerado aproximadamente 2.600 metros de cable aislado clase 245 kV, desde el seccionamiento a la línea de 220 kV respectiva.

Tabla N° B 1.12: Equipo Principal, Presupuesto 1-B

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Interruptor de poder tripolar SF6 clase 245 kV, 3150 A, montaje intemperie, monopolar, capacidad de ruptura 40 kA.	c/u	4
2	Desconectador tripolar de apertura central clase 245 kV, 2000 A, motorizado, sin puesta a tierra, montaje horizontal.	c/u	12
3	Desconectador de puesta a tierra tripolar	c/u	4
4	Transformadores de Corriente monofásico, intemperie, 245 kV.	c/u	18
5	Transformador de potencial monofásico, intemperie, clase 245 kV, 220: $\sqrt{3}/0,115 - 0,115:\sqrt{3}$ kV.	c/u	12
6	Pararrayos monofásicos de oxido de zinc clase 245 kV, tensión nominal 192 kV.	c/u	12
7	Aisladores de pedestal clase 245 kV.	c/u	12
8	Mufas 220 kV	c/u	12
9	Transformador de Poder 220/13,2 kV, 50 MVA	c/u	2
10	Transformador de Servicios Auxiliares	c/u	1

Tabla N° B 1.2: Equipos de Control, Protección y Medida, Presupuesto 1-B

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Control	c/u	4
2	Armario de Protecciones	c/u	2
3	Armario de Facturación	c/u	2

Tabla N° B 1.3: Equipos de Comunicaciones, Presupuesto 1-B

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Medidas	c/u	4
2	Armario de para Fibra Óptica	c/u	2
3	Armario de RTU, SCADA	c/u	2

Tabla Nº B 1.4: Equipamiento de servicios Auxiliares, Presupuesto 1-B

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Tablero de SS/AA de corriente continua	c/u	1
2	Tablero de SS/AA de corriente alterna	c/u	1
3	Banco de baterías 110 Vcc.	c/u	1
4	Cargador de baterías 110 Vcc/40 A	c/u	1
5	Inversores	c/u	1
6	Grupo de Emergencia 50 kVA	c/u	1
7	Convertor 125/48 Vcc, Teleco	c/u	1
8	Transformador SS/AA	c/u	1

Tabla Nº B 1.5: Resumen del Presupuesto Solución 1-B

ITEM	ACTIVIDAD	Moneda Nacional US\$	Moneda Extranjera US\$
1	Ingeniería	520.000	
2	Equipo Principal	0	4.388.000
3	Materiales	452.000	
4	Derechos de Internación	44.000	
5	Fletes y gastos portuarios	290.000	
6	Obras Civiles	2.049.000	
7	Montajes e Instalación	815.000	
8	Puesta en Servicio	95.000	
9	Estudio de Impacto Ambiental		
10	Administración e Inspección	624.000	
11	Terrenos	0	
A	Subtotal 1	4.889.000	4.388.000
B	Imprevistos 10%	488.900	438.800
C	Subtotal 2	5.377.900	4.826.800
	TOTAL	US\$ 10.204.700	

B.2 Detalle de Presupuesto de Inversión Alternativa Solución 2-B (GIS Indoor)

Se ha considerado aproximadamente 2.600 metros de cable aislado clase 245 kV desde el seccionamiento a la línea de 220 kV respectiva.

Se ha considerado dos empalmes en 220 kV para la línea seccionada.

Tabla Nº B 2.13: Equipo Principal, Presupuesto 2-B

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Desconectador con puesta a tierra, tripolar 245 kV	c/u	2
2	Pararrayos monofásicos de oxido de zinc clase 245 kV, tensión nominal 192 kV.	c/u	12
3	GIS Cl. 245 kV	c/u	6
4	Transformador de potencial de barra (Suministro GIS)	c/u	1
5	Mufas 245 kV	c/u	24
6	Transformador de Poder 220/13,2 kV, 50 MVA	c/u	2

Tabla Nº B 2.14: Equipos de Control, Protección y Medida, Presupuesto 2-B

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Control	c/u	4
2	Armario de Protecciones	c/u	2
3	Armario de Facturación	c/u	2

Tabla Nº B 2.15: Equipos de Comunicaciones, Presupuesto 2-B

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Armario de Medidas	c/u	4
2	Armario de para Fibra Óptica	c/u	2
3	Armario de RTU, SCADA	c/u	2

Tabla Nº B 2.16: Equipamiento de servicios Auxiliares, Presupuesto 2-B

Item	Descripción	Unidad	Cant.
1	Tablero de SS/AA de corriente continua	c/u	1
2	Tablero de SS/AA de corriente alterna	c/u	1
3	Banco de baterías 110 Vcc.	c/u	1
4	Cargador de baterías 110 Vcc	c/u	1
5	Inversores	c/u	1

Tabla Nº B 2.17: Resumen del Presupuesto Solución 2-B

ITEM	ACTIVIDAD	Moneda Nacional US\$	Moneda Extranjera US\$
1	Ingeniería	580.000	
2	Equipo Principal	0	8.220.000
3	Materiales	244.000	
4	Derechos de Internación	82.000	
5	Fletes y gastos portuarios	508.000	
6	Obras Civiles	2.038.000	
7	Montajes e Instalación	1.237.000	
8	Puesta en Servicio	95.000	
9	Estudio de Impacto Ambiental		
10	Administración e Inspección	696.000	
11	Terrenos	0	
A	Subtotal 1	5.480.000	8.220.000
B	Imprevistos 10%	548.000	822.000
C	Subtotal 2	6.028.000	9.042.000
	TOTAL	US\$ 15.070.000	