

GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN

PLANIFICACIÓN, DISEÑO Y DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE SERVICIOS AUXILIARES

PARA OBSERVACIONES

CONTROL DEL DOCUMENTO

APROBADO POR

Versión	Aprobado por	Cargo
A	Juan Carlos Araneda T.	Gerente de Planificación de la Transmisión

REVISADO POR

Versión	Revisado por	Cargo
A	Erick Zbinden A.	Jefe Departamento de Integridad del Sistema

REALIZADO POR

Versión	Realizado por	Cargo
A	Carla Hernández O'.	Ingeniero Departamento de Integridad del Sistema
	Felipe Neira M.	Ingeniero Departamento de Integridad del Sistema

COLABORACIONES

Versión	Empresa
A	CGE
	COLBÚN
	ENEL
	SAESA
	TRANSELEC

REGISTRO DE CAMBIOS

Fecha	Autor	Versión	Descripción del Cambio
28-11-2019	Departamento de Integridad del Sistema	A	Documento para observaciones

CONTENIDO

1	TÍTULO I. ASPECTOS GENERALES	4
1.1	OBJETIVO	4
1.2	ALCANCE	4
1.3	DEFINICIONES	4
1.4	ABREVIATURAS	5
2	TÍTULO II. PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SERVICIOS AUXILIARES	6
3	TÍTULO III. REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPEÑO	9
3.1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN EXTERNA PARA EL TRANSFORMADOR DE SS/AA.	10
3.2	ALIMENTACIÓN DE LAS CARGAS EN CA Y CC	10
3.3	SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN SEGURA O DE EMERGENCIA.	11
4	TÍTULO IV. REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y DIAGNÓSTICO	11
4.1	REQUERIMIENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA PARA EL DISEÑO O DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD	11
4.2	CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE DISEÑO O DEL DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD	13
5	TÍTULO V. RECOMENDACIONES GENERALES	14
5.1	DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN TÉCNICA ACTUALIZADA	14
5.2	CRITERIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CONSUMOS	15
6	BIBLIOGRAFÍA	18
7	ANEXO. FORMULACIÓN MATEMÁTICA	19

1 TITULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1 OBJETIVO

Entregar recomendaciones a considerar durante las etapas de planificación, diseño y diagnóstico de los sistemas de servicios auxiliares (SS/AA) de subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con la finalidad de facilitar la conceptualización de los proyectos eléctricos y orientar su desarrollo de modo que las instalaciones presenten un alto estándar de confiabilidad y desempeño, y en concordancia con las exigencias establecidas en la regulación vigente.

1.2 ALCANCE

Las disposiciones que presenta esta Guía Técnica de Aplicación (GTA) son aplicables a las instalaciones destinadas a proveer de servicios auxiliares a las subestaciones (SS/EE) del SEN. En particular, se plantean recomendaciones relacionadas con:

- Los requerimientos generales para un desempeño mínimo de los sistemas de SS/AA.
- Criterios generales de configuración y estimación de consumos, en función del equipamiento existente por paño, en la SS/EE.
- La información técnica y parámetros nominales mínimos a considerar, durante el diseño de un proyecto de ampliación del sistema de SS/AA, y la evaluación de capacidad de dichas instalaciones.
- Metodología para la evaluación y diagnóstico de los SS/AA existentes.

1.3 DEFINICIONES

Para efectos de esta GTA, se precisan las siguientes definiciones:

Autonomía del Banco de Baterías:

Se define como el periodo de tiempo donde el banco de baterías de una instalación debe ser capaz de alimentar los consumos de CC, estando los cargadores de baterías sin suministro en CA.

Ciclo de trabajo de la batería:

Corresponde al régimen de demanda de energía que se le exige a una batería o banco de baterías para alimentar las cargas en CC, las que en conjunto determinan la capacidad de dicho equipo.

Consumos esenciales:

Corresponden a consumos que son necesarios para el correcto funcionamiento de la subestación, de forma tal que no se comprometa el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad de

servicio. En consecuencia, requieren de un suministro permanente de energía frente a fallas o contingencias, con respaldo automático desde los sistemas de alimentación de emergencia.

Consumos no esenciales:

Corresponden a aquellos que, ante indisponibilidad temporal del suministro eléctrico, no comprometen el funcionamiento, seguridad y confiabilidad de la subestación. En consecuencia, no requieren de un suministro permanente de energía frente a fallas o contingencias.

Consumos momentáneos en CA:

Corresponden a aquellos que operan durante un periodo de tiempo máximo de tres (3) horas.

Consumos momentáneos en CC:

Corresponden a aquellos que, durante el ciclo de trabajo de la batería, permanecen operativas por un tiempo máximo de 1 minuto.

Consumos no permanentes en CC:

Corresponden a aquellos que demandan energía por un periodo de tiempo mayor a un (1) minuto pero inferior al ciclo de trabajo de la batería.

Consumos permanentes en CA:

Corresponden a aquellos que requieren operar por tres o más horas de forma continua. En esta categoría pueden encontrarse, por ejemplo: la iluminación de salas de control y patio, los sistemas de ventilación de transformadores de poder, cargadores de batería, calefactores de equipos, etc.

Consumos permanentes en CC:

Corresponden a aquellos que se encuentran energizados durante todo el ciclo de trabajo de la batería.

Sistema de servicios auxiliares:

Es el conjunto de equipamientos eléctricos utilizados para alimentar las cargas propias de centrales de generación y subestaciones con la finalidad de mantener la operación segura y continua de éstas.

1.4 ABREVIATURAS

AT : Alta Tensión.

BT : Baja Tensión

CA : Corriente Alterna.

CC	: Corriente Continua.
GTA	: Guía Técnica de Aplicación.
HCTG	: Hoja de Características Técnicas Garantizadas.
IEEE	: Del inglés <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> .
MT	: Media Tensión.
NT	: Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
PES	: Puesta en Servicio.
PRS	: Plan de Recuperación del Servicio.
SEN	: Sistema Eléctrico Nacional.
SS/AA	: Servicios Auxiliares.
S/E, SS/EE	: Subestación, Subestaciones.

2 TÍTULO II. PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SERVICIOS AUXILIARES

En esta sección se presentan aspectos a considerar en las etapas tempranas de conceptualización del futuro sistema de SS/AA, pudiendo ser complementados con lo que señala la normativa vigente.

a) *Selección de la configuración del esquema de servicios auxiliares y su sistema de respaldo o emergencia*

Respecto del esquema de SS/AA y su sistema de respaldo, la elección estará supeditada a la relevancia o criticidad de la S/E para el adecuado funcionamiento del SEN. En este contexto, algunos factores que inciden en la definición del criterio de selección para determinar el nivel de criticidad que puede tener la S/E, son los siguientes:

- Nivel de confiabilidad y flexibilidad requerido.
- Topología de la red eléctrica en la que se encuentra emplazada la S/E (zona enmallada o radial).
- Características y tamaño de las cargas o consumos conectados: regulado, libre, industrial, residencial.
- Características geográficas del sector donde se encuentra emplazada la S/E: densidad de población, distancia a centros urbanos.

- Instalaciones que, según el Estudio Plan de Recuperación de Servicio¹, son consideradas un recurso existente del SEN para participar del PRS, o bien pudiesen serlo a futuro conforme el desarrollo del sistema interconectado.
- Tiempo de desplazamiento estimado, para los equipos de mantenimiento o emergencia.

b) Dimensionamiento de los equipos de SS/AA

Considerar que la capacidad del equipamiento asociado a los servicios auxiliares debe ser capaz de alimentar la totalidad de los consumos existentes, y además considerar un margen de crecimiento adicional de a lo menos un 25% de su capacidad, destinado a futuras ampliaciones de la S/E.

c) Distribución de cargas en BT

Distribuir las cargas de modo que frente a la ocurrencia de fallas aguas arriba en los circuitos secundarios para protección, control y medidas de la instalación, no afecte la totalidad de los SS/AA y se garantice al menos, el suministro eléctrico para las cargas esenciales.

Los esquemas de alimentación de cargas en BT que permiten conseguir un mayor desempeño, son los que se presentan en la sección 3.2.

d) Clasificación de los tipos de consumo en BT, alimentados desde los sistemas de SS/AA

En el esquema de la *Ilustración 1*, se presenta la clasificación de los consumos típicos de servicios auxiliares en CA y CC, y el equipamiento representativo asociado a cada conjunto, conforme a lo indican los estándares IEEE [1] [2].

Debe tenerse presente que la clasificación antes citada no es taxativa, pudiendo incorporarse en cada categoría, consumos adicionales a los señalados, en conformidad con las definiciones del diseño de ingeniería particular del proyecto.

¹<https://www.coordinador.cl/operacion/documentos/estudios-para-la-seguridad-y-calidad-del-servicio/plan-de-recuperacion-de-servicio-del-coordinador/>

CONSUMOS EN CC			CONSUMOS EN CA	
Consumo Permanente	Consumo No Permanente	Consumo Momentáneo	Consumo Permanente	Consumo Momentáneo
<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación de emergencia. • Motores de operación permanente. • Inversores. • Luces indicadoras. • Contactores y relés auxiliares de CC. • Cargas asociadas a anunciadores de alarmas. • Sistemas de protección, de control y SCADA. • Sistemas de telecomunicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Motores para bombas de emergencia. • Sistemas de motores de ventilación de emergencia. • Sistemas de protección contra incendio. • Operación de válvulas accionadas por motor con una duración mayor a 1 minuto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrientes de arranque de motores, de energización y excitación de campo de generadores. • Operación de sistemas de protecciones y dispositivos de control. • Operación de bobinas de disparo. • Operación de válvulas accionadas por motor con una duración menor a 1 minuto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventiladores de transformadores. • Cargadores de baterías. • Calefacción de equipos. • Iluminación de patios. • Iluminación de gabinetes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente de carga de resorte del motor AC de interruptores. • Cargador de baterías ante consumo momentáneos en CC.

Ilustración 1. Clasificación de consumos típicos alimentados desde el sistema de SS/AA en CC y CA

Adicionalmente, los consumos en CA pueden ser clasificados en dos (2) categorías como se presenta en la *Ilustración 2*, esto es:

- Consumos esenciales,
- Consumos no esenciales.

La selección del equipamiento que conforma cada una de estas categorías, dependerá de la criticidad de la S/E y del compromiso de ésta en el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad del servicio eléctrico, conforme la definición que se presenta en la *sección 1.3*.

Consumo Esenciales	Consumo No Esenciales
<ul style="list-style-type: none">• Cargadores de baterías.• Sistemas de climatización en salas de control.• Convertidores CA/CC para fuentes de alimentación ininterrumpidas.• Sistemas de calefacción en circuitos de potencia.• Motores de interruptores y desconectores.• Motores de cambiadores de tomas bajo carga.• Motores del sistema de ventilación de transformadores.• Equipos de protección, supervisión, alarma, comunicaciones y control.• Tablero de conmutación y sincronización grupo de emergencia.• Alarma contra incendios y sistemas de extinción de incendios.• Iluminación de emergencia.	<ul style="list-style-type: none">• Iluminación exterior e interior• Cargas asociadas a equipos de mantenimiento.• Cargas para construcción (remolques de construcción, equipos de soldadura, taladros, etc.)• Enchufes de patio.

Ilustración 2. Clasificación referencial de consumos esenciales y no esenciales en CA.

Es importante destacar que, al considerar el cargador de baterías como un consumo esencial en CA, forma parte de dicha categoría, todos los consumos de CC que son alimentados desde el citado equipo. Lo anterior debe tenerse presente para efectos de determinar la autonomía del grupo electrógeno del sistema de SS/AA.

3 TÍTULO III. REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPEÑO

Para la aplicación de las recomendaciones que se indican en esta sección, debe tenerse presente lo que señala la normativa vigente, principalmente en lo relacionado con:

- Las diferentes alternativas que pueden considerarse como fuente en CA para alimentar el transformador de SS/AA.
- Cada fuente de alimentación debe disponer de su propio transformador de SS/AA.

- El requerimiento de seccionamiento para la barra de CA y CC de los SS/AA.

3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN EXTERNA PARA EL TRANSFORMADOR DE SS/AA.

Las prácticas orientadas a conseguir un buen nivel de desempeño de la fuente de alimentación de CA, son las siguientes:

- Fuentes de alimentación redundantes e independientes entre sí.
 - Se recomienda disponer de dos (2) fuentes de alimentación, una principal y otra secundaria, asociadas a diferentes puntos de conexión en MT. Por razones de seguridad ante fallas externas o internas a la S/E, y como medida para mejorar la confiabilidad del esquema, se recomienda que dichas fuentes se encuentren separadas físicamente.
 - La fuente de alimentación principal permanecerá en servicio permanentemente y la otra cumplirá la función de respaldo, es decir, el funcionamiento de la fuente de alimentación secundaria quedará supeditada a la salida intempestiva o indisponibilidad de la fuente principal. Adicionalmente, se recomienda utilizar un sistema de transferencia automática rápida.
 - El devanado en BT de cada transformador de SS/AA debe alimentar cada sección de barra.
- Disponer de un sistema de señalización y alarmas incorporado al sistema de control local de la S/E, con el objeto de advertir la ocurrencia de fallas en la fuente de alimentación principal, y alerte de la entrada en servicio del sistema de respaldo.
- Para aumentar la confiabilidad del sistema, podrán implementarse sistemas de alimentación segura o de emergencia como grupos electrógenos u otra fuente de alimentación cuya autonomía sea independiente del SEN.

3.2 ALIMENTACIÓN DE LAS CARGAS EN CA Y CC

a) Cargas en CA:

Proveer el suministro eléctrico directamente desde el devanado de BT del transformador de SS/AA, a una de las secciones de barra en CA.

Todas las cargas esenciales de la S/E se alimentarán desde una de las secciones de barra en CA. Asimismo, a dicha sección de barra se conectará el grupo electrógeno, el que entrará en servicio una vez verificada la ausencia de las fuentes de alimentación (principal y secundaria) y cuando el interruptor seccionador de barras se encuentre abierto, para alimentar únicamente el conjunto de cargas esenciales.

La decisión de incrementar el número de grupos electrógenos dependerá de la importancia de la S/E y de necesidad de mantener la mayor cantidad de consumos disponibles.

b) Cargas en CC:

La alimentación de las cargas en CC la proporciona el cargador de baterías.

El suministro eléctrico para el o los cargadores de baterías proviene desde la red de CA.

En caso de indisponibilidad de la fuente de CA que alimenta al cargador de baterías o debido a una falla de este último, las cargas en CC recibirán suministro eléctrico desde el sistema de alimentación segura, conforme lo indicado en la sección 3.3.

3.3 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN SEGURA O DE EMERGENCIA.

El sistema de alimentación segura o de emergencia, como es el caso de los grupos electrógenos y los bancos de baterías, están destinados a cubrir los requerimientos de suministro para los consumos que se definen, según la *Ilustración 2*, como esenciales en CA y CC respectivamente, o aquellos necesarios para iniciar el proceso de restauración de la subestación, en caso de la pérdida total del servicio eléctrico.

3.3.1 Autonomía

Respecto de la autonomía requerida para el grupo electrógeno, se recomienda que ésta sea de a lo menos 6 hr, de modo que la empresa eléctrica pueda restituir la alimentación del sistema de corriente alterna o bien, tomar las acciones necesarias para que el grupo electrógeno pueda continuar en servicio durante un nuevo período de tiempo.

Respecto de los bancos de baterías, la recomendación es que su capacidad pueda atender la totalidad de la carga en CC prevista en régimen de operación continuo, por un periodo de a lo menos 8 hr.

4 TÍTULO IV. REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y DIAGNÓSTICO

4.1 REQUERIMIENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA PARA EL DISEÑO O DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD

La disponibilidad de información técnica actualizada de los sistemas de SS/AA de CA y CC de una subestación existente, es necesaria para el desarrollo de las siguientes acciones:

- Diagnosticar la capacidad actual de los SS/AA y verificar la capacidad disponible de dichos sistemas, considerando que el alcance de dicha evaluación son los elementos que constituyen el sistema de SS/AA, siendo éstos:
 - El transformador de SS/AA
 - El cargador de baterías.
 - El banco de baterías.
 - El grupo electrógeno.
- Diseñar el aumento de capacidad del sistema de SS/AA, asociado a un proyecto de expansión de la S/E.

La documentación base para el desarrollo de un proyecto de ampliación del sistema de SS/AA o la evaluación de capacidad, corresponde a:

- Los diagramas unilineales o elementales de CA y CC y el cuadro de cargas actualizado, desarrollados conforme lo indica la regulación vigente [3] [4].
- Los parámetros nominales de los elementos que componen el sistema de SS/AA. Es importante tener presente que, para efectos de la validez de dichos antecedentes, éstos podrán ser respaldados mediante planos, memoria de cálculo, datos de placa, HCTG del fabricante u otra fuente. Sin perjuicio de lo anterior, se requiere disponer a lo menos, de la información que se indica en la *Tabla 1*.
- Información actualizada de los consumos de CA y CC, proveniente desde el cuadro de carga de la instalación, medición en sitio u hojas fuentes de fabricantes con parámetros nominales del equipamiento.

Tabla 1. Parámetros e Información Técnica mínima.

Parámetros y antecedentes técnicos	Componente del Sistema de SS/AA				Información requerida para realizar el diagnóstico de capacidad
	Banco de Baterías	Cargador de Baterías	TR de SS/AA	Grupo Electrónico	
Tensión nominal	•	•	•	•	✓
Razón de transformación			•		✓
Factor de Potencia				•	✓
Capacidad (A-h)	•				✓
Corriente (A)		•			✓
Autonomía (h)	•			•	✓
Potencia (kVA)			•	•	✓
Frecuencia (Hz)	•	•	•	•	X
Fecha de fabricación	•	•	•	•	X
Fecha de PES	•	•	•	•	X
Vida útil, según fábrica	•				X

4.2 CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE DISEÑO O DEL DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD

4.2.1 Diseño de la ampliación de un sistema de SS/AA

En el desarrollo del proyecto de diseño de la ampliación del sistema de SS/AA, se recomienda preparar las memorias de cálculo y planos de diseño, que presenten como mínimo la siguiente información:

- Memoria de cálculo que incluya:
 - El número de celdas y la capacidad del Banco de Baterías.
 - El dimensionamiento del Cargador de Baterías.
 - El dimensionamiento del Transformador de SS/AA.
 - El dimensionamiento del Grupo Electrónico y de su tanque de combustible.
- Diagramas unilineales o diagramas elementales en CA y CC, según lo indicado en [4].





4.2.2 Diagnóstico de un sistema de SS/AA existente

En el caso de efectuar un diagnóstico de capacidad de los elementos que componen el sistema de SS/AA existente en la S/E, se recomienda tener presente las siguientes consideraciones:

- Utilizar los datos de capacidad nominal entregados por el fabricante del transformador de SS/AA, cargador de baterías, banco de baterías y grupo electrónico, según lo indicado en la *Tabla 1*. Debido a que dichos antecedentes son inherentes al diseño de la subestación, no se recomienda aplicar reglas de homologación para realizar estimaciones que reemplacen los datos nominales del equipamiento.
- Utilizar los datos de consumo asociados a las cargas en CA y CC disponibles en las fuentes de información técnica actualizada. No obstante, en caso de indisponibilidad o insuficiencia de registros, se recomienda utilizar valores estimados. En la *sección 5.2* se presenta una primera referencia para realizar las estimaciones iniciales.
- Para realizar el diagnóstico de los elementos de un sistema de SS/AA, perteneciente a una S/E existente, podrá utilizarse el conjunto de ecuaciones matemáticas que se presentan en el documento Anexo, individualizado en la *sección 7*.

Adicionalmente, en la *Tabla 2* se presenta una métrica de evaluación de carácter referencial, que permite determinar el estado de carga de los elementos de SS/AA.

Tabla 2: Métrica para el diagnóstico de los elementos de SS/AA.

Criterio	Nivel de carga	Código de Color
El elemento presenta un nivel de carga entre el 0% y el 50% de su capacidad nominal.	<i>bajo</i>	
El elemento presenta un nivel de carga entre un 51% y un 84% de su capacidad nominal.	<i>medio</i>	
El elemento presenta un nivel de carga entre un 85% y el 100% de su capacidad nominal.	<i>alto</i>	
El elemento presenta un nivel de carga mayor a su capacidad nominal, esto es, mayor al 100%.	<i>sobrecargado</i>	

5 TÍTULO V. RECOMENDACIONES GENERALES

5.1 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN TÉCNICA ACTUALIZADA

Como una medida para facilitar el acceso a la información técnica actualizada que sea requerida para los fines citados en la *sección 4.1*, se recomienda construir listas de consumo como las mostradas en la *Tabla 3* y *Tabla 4*, que permitan concentrar los valores de consumo asociados a los SS/AA de CC y CA para un escenario actual y proyectado.

Tabla 3. Listado de consumos de corriente continua

ID	Descripción	Escenario de diseño actual			Escenario de proyección futura			Consumo esencial (marcar con una X)
		Cantidad	Consumo Unitario [A]	Consumo Total [A]	Cantidad	Consumo Unitario [A]	Consumo Total [A]	
1	Consumos permanentes							
1.1								
1.2								
2	Consumos no permanentes							
2.1								
2.2								
3	Consumos momentáneos (< 1 minuto)							
3.1								
3.2								

Tabla 4. Listado de consumos de corriente alterna

ID	Descripción	Escenario de diseño actual				Escenario de proyección futura				Consumo esencial (marcar con una X)		
		Cantidad	Consumo Unitario [VA]		Consumo Total [VA]		Cantidad	Consumo Unitario [VA]			Consumo Total [VA]	
			1F	3F	1F	3F		1F	3F		1F	3F
1	Consumos permanentes											
1.1												
1.2												
1.3												
2	Consumos momentáneos (< 3 horas)											
2.1												
2.2												
2.3												

1F: Monofásico, 3F: Trifásico

5.2 CRITERIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CONSUMOS

En caso de que los consumos asociados a equipamiento en CA y CC no se encuentren disponibles o bien sean insuficiente para realizar una evaluación temprana que permita identificar la condición de vulnerabilidad del sistema de SS/AA en SS/EE existentes del SEN, se proponen los criterios de estimación de consumos, descritos a continuación:

a) Estimación de consumos permanentes de CC

Los consumos permanentes se pueden estimar mediante el siguiente procedimiento:

- Determinar la cantidad de paños de la subestación, clasificándolos en los siguientes tipos: transformación, compensación, línea, transferencia, seccionador y alimentadores de distribución.
- Determinar el consumo de cada tipo de paño, para esto se puede considerar los consumos de los equipos de protección y control asociados a cada uno de estos.
- Determinar el consumo total de todos los paños de la subestación o patio asociado al SS/AA.
- Estimar el consumo asociado al equipamiento de las secciones de barras de la subestación.
- Estimar el consumo de los sistemas de comunicación de la subestación.

Finalmente, la sumatoria de estos consumos equivaldrá a la estimación de consumo permanente de corriente continua de la S/E.

b) Estimación de consumos momentáneos de CC

Los consumos momentáneos se pueden estimar mediante el siguiente procedimiento:

- Determinar la cantidad de paños conectados a cada sección de barra del patio o los patios asociados al sistema de SS/AA.
- Estimar el consumo que significaría la desconexión de los paños de cada sección de barra debido a la operación de la protección diferencial de barras. Para esto, se debe considerar el consumo total por nivel de tensión, asociados a las bobinas de desenganche de los interruptores.

Finalmente, se estima que el consumo momentáneo corresponde al mayor valor obtenido para las diferentes secciones de barras.

c) Estimación de consumos permanentes y momentáneos de CA

Para estimar estos consumos se puede tener en consideración lo siguiente:

- Determinar la cantidad de paños de la subestación y clasificarlos en paños línea, transformación, compensación, transferencia, seccionador y alimentadores de distribución. Posteriormente, se podrá estimar el consumo de cada tipo de paño, considerando el siguiente equipamiento:
 - Calefacción e iluminación de:
 - ❖ Interruptores de poder y desconectores.
 - ❖ Cajas de agrupamiento.
 - ❖ Gabinetes.
 - Ventiladores y bombas de circulación de aceite en transformadores de poder.
 - Motores y/o accionamiento mecánico de interruptores.
- Consumo de cargadores de batería, el cual corresponde a la alimentación de los consumos permanentes y momentáneos de corriente continua desde la red de corriente alterna.
- Consumo de iluminación de patio y sala de control, para estimar este consumo se puede considerar los requerimientos de iluminancia para cada zona de la subestación definidos en el reglamento vigente [5]
- Consumos por aire acondicionado de las salas de control, el que se estima considerando el calor que se genera en una sala de control para mantener una temperatura constante diferente a la exterior.

Finalmente, la sumatoria de todos estos consumos corresponderán a la estimación de consumos de corriente alterna de la S/E.

PARA OBSERVACIONES

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE, "485-2010 - IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications", New York: IEEE Power & Energy Society, 2011.
- [2] IEEE, «Guide for the Design of Low - Voltage Auxiliary for Electric Power Substation,» 2017.
- [3] CNE, «Anexo Técnico: Información Técnica de Instalaciones y Equipamiento».
- [4] SEC, «NCH Elec. 2/84 Elaboración y presentación de proyectos».
- [5] SEC, «Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes NSEG 5. En.71».
- [6] Mejias Villegas S.A, "Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión", Segunda ed., 1989.
- [7] Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A. G, División Técnica de Aire Acondicionado y Refrigeración, "Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en Chile, RITCH", Santiago, 2007.
- [8] Á. L. Miranda Barreras, "Enciclopedia de la climatización, Aire acondicionado", Barcelona: Ceac, 1994.
- [9] CNE, Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, 2018.
- [10] IEEE, «Std 979 Guide for Substation Fire Protection,» 2012.

7 ANEXO. FORMULACIÓN MATEMÁTICA

7.1.1 Factores de cálculo

a) Factor de distribución de consumo de corriente continua, K_n

Este factor tiene el propósito de distribuir el consumo de corriente continua en la cantidad de bancos de baterías existentes bajo un criterio de operación normal de las instalaciones en condición “n”. El factor se calcula de la siguiente manera:

$$K_n = \frac{1}{B_{bat}} \quad \text{Ecuación 1}$$

B_{bat} : Número de bancos de baterías disponible.

b) Constante de compensación, n .

De acuerdo con las recomendaciones establecidas en la literatura de subestaciones de alta y extra alta tensión [6], la constante de compensación para cargadores corresponde a $n = 1,25$.

7.1.2 Cálculos en corriente continua

a) Consumos por paños según nivel de tensión, CPP_{kV}

Se calculan en función de la cantidad de equipos por cada paño de la S/E y a los consumos unitarios por equipo de CC.

Tener presente que al referirse al término “paños”, éstos corresponden a: paños de línea, transformación, compensación, transferencia, sección de barras, de distribución y equipos comunes.

b) Consumos permanentes y consumos momentáneos en corriente continua, CP_{CC} y CM_{CC}

Los consumos permanentes y momentáneos se determinan mediante la Ecuación 2 y Ecuación 6, no obstante, debe tenerse presente realizar cálculos adicionales para ajustar o corregir resultados parciales según las indicaciones del estándar IEEE 485 [1].

El consumo de carácter permanente se determina mediante la Ecuación 2.

$$CP_{CC} = \frac{k_x * [\sum(CPP_{kV}) + CSC]}{V_{mín_bat_c}} \quad [A] \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

k_x : Factor de cantidad de baterías que alimentan consumos de corriente continua, donde el subíndice x puede adoptar el valor 0,5-1,0 ó 1/3, según IEEE 485 [1].

CPP_{kV} : Consumo total por paño para cada nivel de tensión presente en la subestación, teniendo presente que se consideran únicamente: paños de línea, transformación, compensación y/o sección de barras, medido en [W]

CSC : Consumo total asociado al Consumo Gral. del SS. Comunicaciones, medido en [W].

La tensión mínima corregida de la batería correspondiente al término $V_{mín_bat_c}$ en la *Ecuación 2*, se calcula mediante las expresiones que se presentan a continuación:

$$V_{mín_bat_c} = V_{pc_c} * N^{\circ} \text{ de Celdas}_c \quad [V] \quad \text{Ecuación 3}$$

$$V_{pc_c} = \frac{0,85 * V_{nom_batería}}{N^{\circ} \text{ de Celdas}_c} \quad [V] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

V_{pc_c} : Voltaje mínimo por celda, en [V].

$N^{\circ} \text{ de Celdas}_c$: Cantidad corregida de celdas del banco de baterías.

El N° de celdas corregido deriva de la aproximación del N° de celdas calculado en función de los datos nominales del banco según la *Ecuación 5*, a valores típicos indicados en el estándar IEEE 485 [1], siendo éstos: 12, 24, 60 ó 120.

$$N^{\circ} \text{ de Celdas}_{calc} = \frac{1,1 * V_{nom_batería}}{2,23 \text{ V/celdas}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$N^{\circ} \text{ de Celdas}_{calc}$: Cantidad de celdas del banco de baterías según valores nominales.

Finalmente, el consumo momentáneo en CC se calcula mediante la *Ecuación 6*.

$$CM_{CC} = \frac{k_x * \text{máx}(\text{consumo total bobinas}_{kV})}{V_{mín_bat_corregido}} \quad [A] \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$\text{consumo total bobinas}_{kV}$: Consumos totales por nivel de tensión, asociados a las bobinas de los interruptores.

c) Cálculo de capacidad de los bancos de baterías

El perfil de carga se construye a partir de los datos de consumo (permanentes y momentáneos) y del ciclo de trabajo de la batería.

Los consumos permanentes presentan un periodo de tiempo $P_1 + P_2$ correspondiente al tiempo de duración del ciclo de trabajo de la batería, y los consumos momentáneos tienen un período de duración P_2 igual a un minuto (ver *Ilustración 3*).

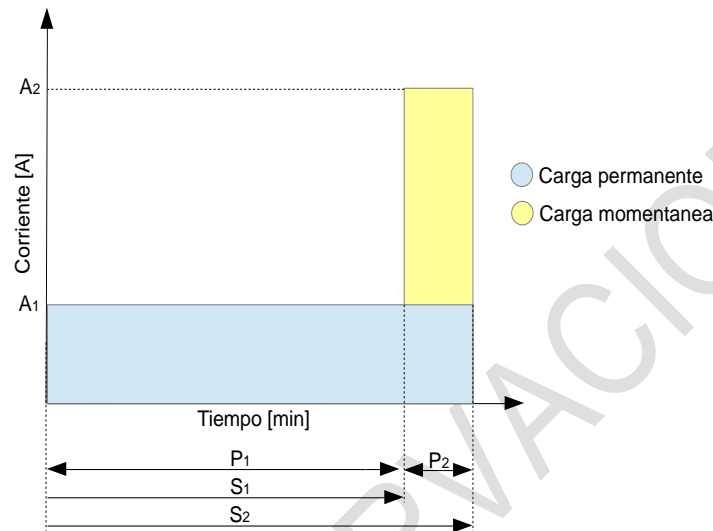


Ilustración 3: Ciclo de Trabajo de la Batería

A partir de la tensión final de descarga de la batería calculada mediante la expresión de la *Ecuación 4* se selecciona la curva de descarga de la batería obtenida de su hoja de datos técnicos.

Luego, con la curva de descarga seleccionada y considerando la capacidad nominal de la batería se calculan los factores K_T para los tiempos finales de las secciones S_1 y S_2 , según la expresión matemática que se presenta en la *Ecuación 7*.

$$K_T(t = S_x) = \frac{\text{Corriente de descarga } (t = S_x)}{\text{Capacidad nominal de la batería}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$K_T(t = S_x)$: Factor K_T asociado al tiempo $t = S_x$, con $x = 1$ ó $x = 2$.

Corriente de descarga ($t = S_x$) : Corriente de descarga para el tiempo de la sección S_1 o sección obtenida de la curva de descarga de la batería en [A].

Capacidad nominal de la batería: Capacidad nominal de la batería informada [Ah].

Posteriormente, con el factor K_T y el perfil de carga, se determina la capacidad mínima requerida por la batería mediante la *Ecuación 8*.

$$F = \max_{S=1}^{S=N} = \sum_{p=1}^{P=S} (A - A_{(p-1)}) \times K_T \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

F : Capacidad de la batería no corregida por la temperatura, envejecimiento y margen de diseño, medido en $[Ah]$.

S : Es la sección del ciclo de trabajo que se analiza.

N : Es el número de periodos en el ciclo de trabajo.

P : Periodo que se analiza.

A_p : Amperes requeridos para el periodo P .

K_T : Factor de descarga del banco de baterías durante T minutos hasta el final de la sección.

d) *Cálculo de capacidad de los cargadores de baterías*

El dimensionamiento de los cargadores de baterías se sustenta en la posibilidad de alimentar la totalidad de los consumos permanentes, y cargar al menos un (1) banco de baterías en un tiempo no superior al ciclo de trabajo de la batería. Para ello, se utiliza la siguiente relación indicada en la literatura [6]:

$$A = \frac{n * Ah}{t} + A_0 \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

A : Capacidad mínima del cargador, medido en $[A]$.

Ah : Capacidad nominal del banco de baterías, medido en $[A - h]$.

n : Factor de compensación.

A_0 : Consumo permanente, medido en $[A]$.

t : Tiempo de recarga de la batería, medido en $[h]$.

7.1.3 Cálculos en Corriente Alterna

a) *Consumos por paños según nivel de tensión, CPP_{KV}*

El cálculo es análogo al descrito en la sección 7.1.2 para la determinación de consumos por paño para CC.

b) Consumos por iluminación del patio y sala de control, CI

Se calculan a partir de los consumos asociados a los equipos de iluminación de la subestación, considerando como datos de entrada los tipos de paños de la subestación y las dimensiones del patio y sala de control. La totalización de consumos se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$CI = F.S * \sum (CI_{kV}) \quad [W] \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

CI_{kV} : Consumo total medido en [W] para cada nivel de tensión presente en la subestación.

$F.S$: Factor de seguridad del 10%.

c) Consumos por aire acondicionado en Sala de Control, CAA

El consumo eléctrico asociado al aire acondicionado es directamente proporcional al N° de equipos de aire acondicionado habilitados en la sala de control la subestación, cuya cantidad es determinada por los requerimientos de refrigeración.

El cálculo de consumo se realiza a partir de la siguiente expresión:

$$CAA = 2619 [W] * N^{\circ} \text{ Eq. de Aire Acond} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$N^{\circ} \text{ Eq. de Aire Acond} = \frac{Fc \cdot Q_s [W]}{24000 [BTU/h]} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

Fc : Factor de conversión de [W] a [BTU/h], correspondiente a 3,41.

Q_s : Carga térmica sensible, medido en [W].

Cálculo del índice Q_s

Las condiciones térmicas de diseño al interior de las salas son determinadas en función de las actividades humanas a desarrollar en el interior del recinto. En este contexto, y de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en Chile [7], se considera que la temperatura de confort T_i , es de 25°C.

El consumo de aire acondicionado en las salas de control se calcula de forma estimativa, esto es, considerando que el calor que entra o se genera en una sala cuando se mantiene en ésta una temperatura diferente a la del exterior [8]. Este calor se denomina carga térmica sensible Q_s y se determina a partir de las siguientes variables:

- Calor debido a la radiación y transmisión a través de paredes y techos exteriores Q_{str} .
- Calor generado por la iluminación de la sala de control Q_{sil} .
- Calor generado por los gabinetes al interior de la sala de control Q_{se} .

A continuación, se presentan las expresiones matemáticas utilizadas para el cálculo de cada uno de los parámetros antes citados:

Calor debido a la radiación y transmisión a través de paredes y techos exteriores, Q_{str}

La carga por transmisión y radiación que se transmite a través de las paredes y techos opacos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{str} = K * S * DTE \quad [W] \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

Q_{str} : Carga por transmitancia exterior, medido en [W].

K : Coeficiente global de transmitancia térmica. Según la Norma Chilena NCH853 [2], para paredes externas: $K = 1,5$ y para techos exteriores $K = 1,0$, ambos medidos en $[W/m^2\text{°C}]$.

S : Superficie del muro, en $[m^2]$.

DTE : Diferencial de temperatura equivalente, medido en $[°C]$.

El valor del diferencial de temperatura “DTE” se determina mediante la siguiente expresión:

$$DTE = T_i - T_{ext} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$T_{ext} = (0,4 * T_{me}) + (0,6 * T_{m\acute{a}x}) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

T_{ext} : Temperatura exterior en $[°C]$, calculada en función de la temperatura media T_{me} y la temperatura máxima del mes más cálido $T_{m\acute{a}x}$.

T_i : Temperatura interior de confort igual a 25 $[°C]$,

Calor generado por la iluminación de la Sala de Control, Q_{sil}

Para el cálculo de la carga térmica sensible aportada por la iluminación interior de la sala de control, se considera que la potencia íntegra de las lámparas de iluminación se transforma en calor sensible, conforme la siguiente expresión:

$$Q_{sil} = 0,5 * P_{total_lámparas} \quad [W] \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$P_{total_lámparas}$: Potencia total asociada a las lámparas destinadas a la iluminación de la Sala, medido en [W].

Calor generado por el equipamiento en gabinetes ubicados al interior de la Sala de Control, Q_{se}

Para el cálculo de la carga térmica aportada por los equipos de la Sala de Control, se considera que la potencia nominal de dichos equipos se transformará en calor sensible. Adicionalmente, se considerará un factor de simultaneidad de 0,5 a la potencia nominal obtenida para todos los equipos conectados.

Calor sensible total, Q_s

La carga sensible total Q_s corresponderá a la sumatoria de todas las cargas antes indicadas, esto es:

$$Q_s = Q_{str} + Q_{sil} + Q_{se} \quad \text{Ecuación 17}$$

Una vez determinada la carga térmica total se obtiene la capacidad de refrigeración requerida en BTU de la sala y el consumo de potencia eléctrica del equipo de refrigeración seleccionado.

d) Consumos permanentes y consumos momentáneos en corriente alterna, CP_{ca} y CM_{ca}

$$CP_{ca} [W] = \sum (CPP_{kV}) + CI + CAA + CC \quad \text{Ecuación 18}$$

Para efectos del cálculo de los CM_{ca} se consideran los consumos asociados a la apertura simultánea de todos los interruptores de una sección de barra, cuyo valor es equivalente al consumo momentáneo definido para corriente continua.

e) Consumos esenciales asociados a los grupos electrógenos, $CEGE$

Se determinan contemplando los consumos permanentes CP_{ca} y consumos momentáneos CM_{ca} en corriente alterna menos el consumo asociado a la iluminación CI .

$$CEGE = CP_{ca} + CM_{ca} - CI \quad \text{Ecuación 19}$$

7.1.4 Diagnóstico de componentes de los sistemas de SS/AA

a) Diagnóstico en Corriente Continua

- Diagnóstico del nivel de carga de los bancos de batería

$$DBB = \frac{F[Ah]}{C_{nom_batería}[Ah]} * 100\% \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

DBB : Diagnóstico del banco de baterías, medido en [%].

F : Capacidad de la batería no corregida, medida en [Ah] y calculada según la Ecuación 8.

C_{nom_batería} : Capacidad nominal de la batería según fabricante, medida en [Ah].

- Diagnóstico del nivel de carga de los cargadores de batería

$$DCB = \frac{A[A]}{C_{nom_cargador}[A]} * 100\% \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

DCB : Diagnóstico del cargador de baterías, medido en [%].

A : Capacidad mínima del cargador, medida en [A] y calculada según la Ecuación 9.

C_{nom_cargador} : Capacidad nominal del cargador según fabricante, medida en [A].

b) Diagnóstico en Corriente Alterna

El diagnóstico de los SS/AA de corriente alterna, consta de la evaluación del nivel de carga de transformadores y grupos electrógenos asociados a los SS/AA de la subestación.

- Diagnóstico del nivel de carga de los transformadores

Considera que al menos alimenten los consumos de paños, aire acondicionado, iluminación y cargadores asociados a los patios alimentados por los SS/AA.

$$NCT = \frac{CPP + CAA + CI + CC}{CT} * 100\% \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

NCT : Nivel de carga del transformador, medido en [%].

- CPP* : Consumo de paños, medido en [*kW*].
- CAA* : Consumo de aire acondicionado, medido en [*kW*].
- CI* : Consumos iluminación, medido en [*kW*].
- CC* : Consumos cargadores, medido en [*kW*].
- CT* : Capacidad transformadores, medido en [*kW*].

▪ *Diagnóstico del nivel de carga de los grupos electrógenos*

Considera que al menos alimenten los consumos esenciales:

$$NCGE = \frac{CEGE}{CGE} * 100\%$$

Ecuación 23

Donde:

- NCGE* : Nivel de carga del grupo electrógeno, medido en [%].
- CEGE* : Consumos esenciales asociados a grupos electrógenos, medido en [*W*].
- CGE* : Capacidad del grupo electrógeno, medido en [*W*].