

CENTRALES HIDROELECTRICAS

Aplicaciones Prácticas de los Cálculos de Ingeniería Eléctrica

Nota de Revisión (0): Revisión de consistencia técnica realizada por el autor, sin alterar la metodología ni los resultados.

Modificado el número del documento

ÍNDICE	PÁG.
1 - OBJETIVO	4
2 - DOCUMENTOS DE REFERENCIA	4
2.1 - Informativos Técnicos	4
2.2 - Planillas	4
2.3 - Publicaciones	4
3 - CONSIDERACIONES INICIALES	4
4 - DEFINICIONES	5
4.1 - Configuración del Sistema	5
4.2 - Disposición Física de la Planta	5
4.3 - Sistema de Alta Tensión	6
4.4 - Fuente Externa	7
4.5 - Media Tensión	7
4.6 - Unidades Generadoras	7
4.7 - Transformadores Elevadores	7
4.8 - Transformadores de Servicios Auxiliares	7
4.9 - Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	7
4.10 - Alternador del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	7
4.11 - Sistema de Baja Tensión	8
4.12 - Equipos en General	8
4.13 - Motores Trifásicos	8
4.14 - Transformadores de Control	8
4.15 - Contactores y Relés Auxiliares	8
4.16 - Cargas Constantes	8
4.17 - Cargas Variables	9
4.18 - Carga Máxima de la Central	9
4.19 - Carga Máxima en Emergencia	9
5 - APLICACIONES	9
5.1 - Tensión en los Transformadores	10
5.1.1 - Potencia Nominal del Transformador	10
5.1.2 - Impedancia Nominal del Transformador	11
5.1.3 - Tensiones Nominales de los Transformadores	11
5.1.4 - Derivación del Bobinado de Alta Tensión	11
5.1.5 - Tensión de la Alimentación del Transformador	12
5.1.6 - Caídas de Tensión	15
5.2 - Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	18
5.3 - Corrientes de cortocircuito	20
5.3.1 - Sistema de 138kV	20

5.3.2 - Sistema de 13,8kV	22
5.3.3 - Sistema de 480V	23
5.3.4 - Conclusión.....	25
5.4 - Alimentadores	26
5.4.1 - Capacidad de Conducción de Corriente.....	26
5.4.1.1 - Transformadores de Servicios Auxiliares	27
5.4.1.2 - Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	27
5.4.1.3 - Centros de Cargas Principales.....	28
5.4.1.4 - Centros de Cargas	28
5.4.2 - Caídas de Tensión	30
5.4.2.1 - Premisas	30
5.4.2.2 - Resistencia y Reactancia de los Cables.....	31
5.4.2.3 - Estimativa Rápida.....	31
5.4.2.4 - Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	34
5.4.2.5 - Centros de Cargas	38
5.4.2.6 - Centros de Cargas	41
5.4.2.7 - Evaluación de Resultados	50
5.4.2.8 - Alternativas Aplicables	50
5.4.2.9 - Conclusión.....	52
5.4.3 - Cortocircuito	52
5.4.3.1 - Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	53
5.4.3.2 - Centros de Cargas	53
5.4.3.3 - Centros de Cargas	54
6 - EVALUACIONES RELEVANTES.....	56
7 - APLICACIÓN DE CÁLCULOS APROXIMADOS	57
7.1 - Análisis de los Cálculos Aproximados.....	57
7.1.1 - Cálculo Aproximado de la Tensión en la Carga	57
7.1.2 - Cálculo Aproximado de la tensión en la Fuente	58
7.2 - Problema y Solución.....	59

1 - OBJETIVO

El objetivo de este documento es presentar ejemplos de aplicaciones de las planillas de cálculo, basadas en los informativos técnicos y teóricos enumerados en los documentos de referencia.

2 - DOCUMENTOS DE REFERENCIA

2.1 - Informativos Técnicos

IT.EL.SA.CA.01 Tensiones Nominales y Variaciones de Tensión

IT.EL.SA.CA.02 Transformadores de Potencia y Grupos Electrónicos Diésel de Emergencia – Dimensionamiento

IT.EL.SA.CA.03 Cortocircuito - Cálculo de las Corrientes

IT.EL.SA.CA.05 Centrales Hidroeléctricas – Tensiones Nominales y Variaciones de Tensión

IT.EL.SA.CC.01 Sistemas de Corriente Continua

TE.EL.SA.AC.01 Transformadores de Potencia - Cálculo de la Tensión en los Terminales

TE.EL.SA.CA.02 Grupos Electrónicos Diésel - Cálculo de la Reactancia Transitoria y Tensión en los Terminales

TE.EL.SA.CA.03 Central Hidroeléctricas - Cálculo de la Tensión de Generación

TE.EL.SA.CA.04 Alimentadores - Cálculo de la Tensión en la Carga y en la Fuente

TE.EL.SA.CA.05 Alimentadores - Criterios para Dimensionamiento

2.2 - Planillas

PL.EL.SA.AC.01 Transformadores de Potencia - Cálculo de la Tensión en los Terminales

PL.EL.SA.CA.02 Grupos Electrónicos Diésel - Cálculo de la Reactancia Transitoria

PL.EL.SA.CA.03 Grupos Electrónicos Diésel - Cálculo de la Tensión en los Terminales

PL.EL.SA.CA.04 Alimentadores - Cálculo de la Tensión en la Carga

PL.EL.SA.CA.05 Alimentadores - Cálculo de la Tensión en la Fuente

PL.EL.SA.CA.06 Central Hidroeléctrica - Cálculo de la Tensión de Generación

PL.SA.EL.CA.06 Alimentadores - Criterios para Dimensionamiento

2.3 - Publicaciones

IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-10 March/April 1974 - Short Circuit ABC - Learn It in an Hour (Moon H. Yuen)

3 - CONSIDERACIONES INICIALES

Las aplicaciones no pretenden abarcar todas las posibilidades, sino permitir al usuario, a partir de los ejemplos de estas aplicaciones, resolver los problemas que involucran sus necesidades, explorando alternativas y/o profundizando en las presentadas. Por lo tanto, no se pretende, en este boletín, definir un criterio general para definir el sistema de servicios auxiliares.

Como esta información no es la memoria de cálculo completa de un proyecto, no se realizaron los cálculos para definir todos los alimentadores, sino que se utilizaron las herramientas necesarias y se aplicaron los conceptos principales.

Para sistemas y equipos, las informaciones definidas son solo las necesarias para resolver los ejemplos de las aplicaciones consideradas.

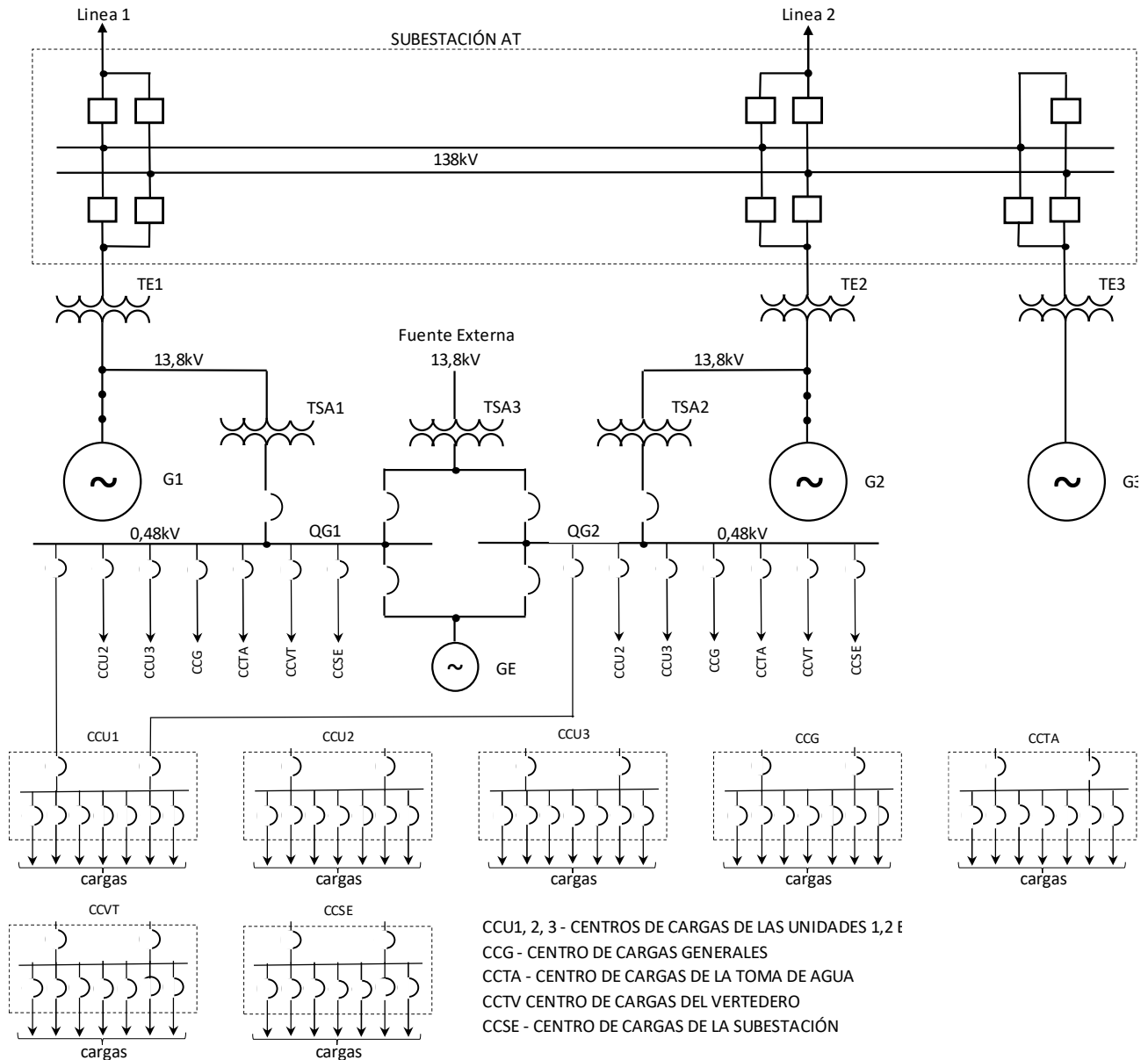
La información de configuración del sistema, los datos de cargas y potencias de los transformadores de servicio auxiliar, transformadores de elevadores, unidades generadoras y grupos electrónicos diésel de emergencia son ficticios y se considerarán los utilizados y calculados en el Informativo Técnico IT.EL.SA. CA.02 - Transformadores de Potencia y Grupos Electrónicos Diesel de Emergencia - Dimensionamiento.

4 - DEFINICIONES

A los efectos de las aplicaciones de este informativo, se adoptarán las siguientes definiciones de equipos y sistemas:

4.1 - Configuración del Sistema

Como no existe una configuración estándar para el sistema eléctrico de las centrales hidroeléctricas, para los ejemplos de este documento se considerará la configuración de la siguiente figura, que fue la configuración adoptada para el dimensionamiento de los transformadores de servicios auxiliares y grupo electrógeno diésel de emergencia.



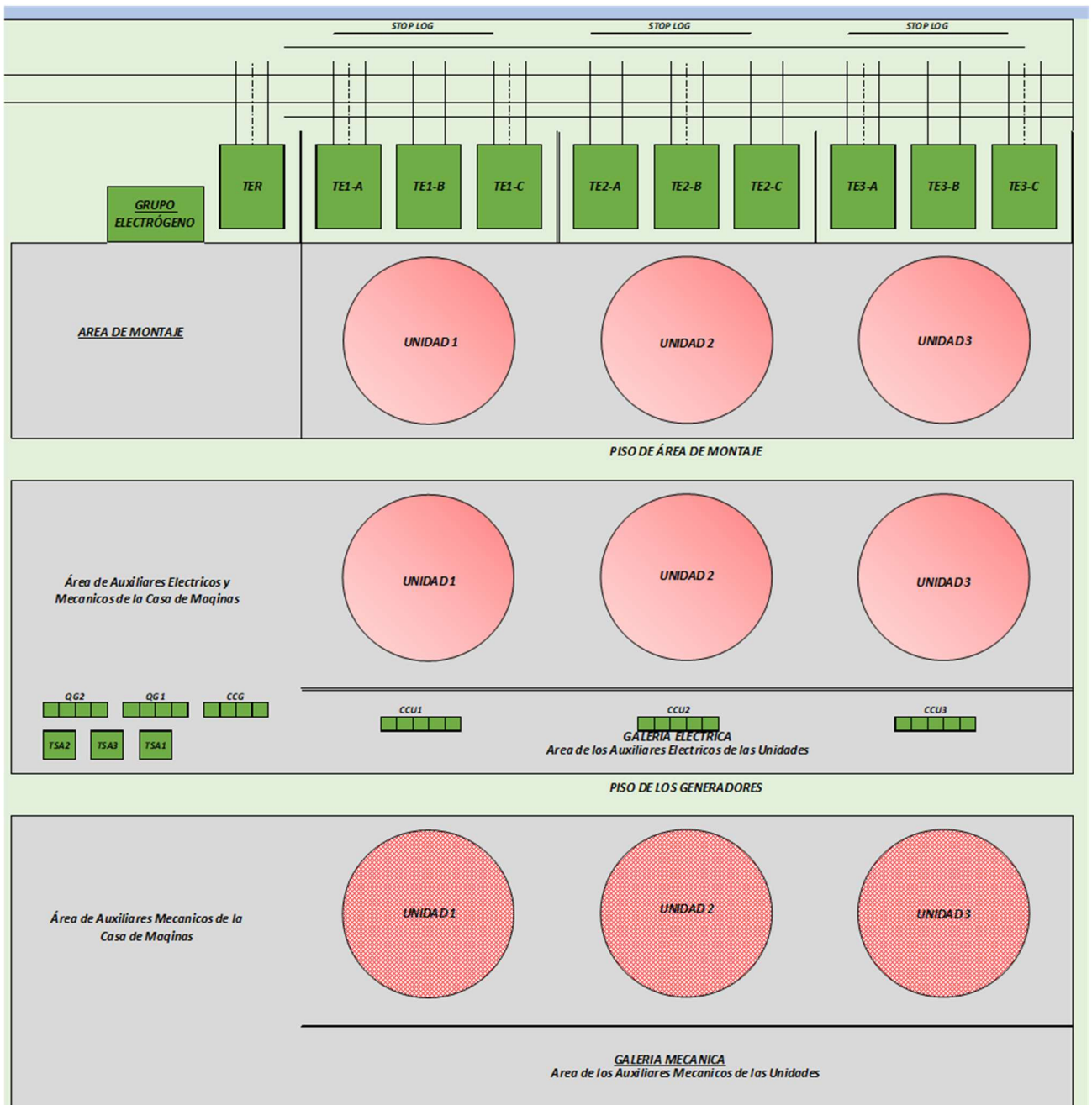
4.2 - Disposición Física de la Planta

Para el dimensionamiento de los alimentadores de las cargas es importante definir la disposición de la Casa de Máquinas y, en base a esta disposición, definir las rutas y longitudes de los circuitos y realizar los cálculos.

A los efectos de este informativo, se considerará que el área de cada unidad es de 20m x 20m; las galerías eléctricas y mecánicas de 8 m de ancho; El área de montaje 20x30m.

La disposición de la Toma de Agua, Aliviadero y Subestación depende, entre otros factores, de la disposición de la planta, la ubicación de las líneas de transmisión, el tamaño del embalse, la altura de la presa, etc. Sin embargo, con la excepción de las distancias a la Casa de Máquinas, sus disposiciones físicas no se considerarán relevantes para el propósito de este trabajo.

La disposición física de la Casa de Máquinas, esquemáticamente, para cumplir con los objetivos de este informativo, se indica en la siguiente figura:



4.3 - Sistema de Alta Tensión

El sistema de alta tensión no es el tema de los estudios, pero para el propósito de los ejemplos en este documento, la potencia de cortocircuito del sistema de 138kV se considerará 5000MVA.

El rango de operación de la tensión en el sistema de 138kV se considerará dentro de los valores definidos en la siguiente tabla:

Tabela 2 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,95TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,95TR$ ou $1,05TR < TL \leq 1,07TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,07TR$

4.4 - Fuente Externa

La tensión nominal de la fuente externa, que alimenta el transformador de servicios auxiliares TSA3, se considerará como 13,8 kV. Suponiendo que se desconozca la potencia de cortocircuito de la fuente externa, se considerará infinita.

4.5 - Media Tensión

La tensión nominal del sistema de media tensión será de 13,8 kV y el rango de tensión de operación de la generación de la planta se puede calcular como se define en el informativo TE.EL.SA. CA.03 Central Hidroeléctrica - Cálculo de la Tensión de Generación y ayuda de la planilla de cálculo PL.EL.SA. CA.06 Central Hidroeléctrica - Cálculo de Tensión de Generación. Sin embargo, para efectos de los ejemplos de este informativo, se considerará el rango de voltaje operativo del sistema, tanto de la generación como de la fuente externa de 13.8kV, el definido en la Tabla 3 de ANEEL.

Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

4.6 - Unidades Generadoras

Las unidades generadoras G1, G2 y G3 se considerarán con una potencia nominal de 100MVA, y una reactancia subtransitoria $X''_d=20\%$.

4.7 - Transformadores Elevadores

Los transformadores elevadores TE1, TE2 y TE3 se considerarán con potencia nominal de 60/80/100MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2), 13.8kV – 138kV ($\pm 2 \times 2.5\%$) e impedancia del 10% referida a potencia de 60MVA. Sin embargo, físicamente, en la disposición se indicará que hay tres transformadores monofásicos de 20/26.66/33.33MVA.

4.8 - Transformadores de Servicios Auxiliares

Se considerará que los transformadores de servicios auxiliares, TSA1, TSA2 y TSA3, tienen las siguientes características:

Tipo: Trifásico seco (ANAN)

Potencia nominal: 1000kVA

Tensiones nominales: 13.8kV ($\pm 2 \times 2.5\%$) - 480V

Frecuencia nominal: 60Hz

Impedancia nominal: 6%

Conexión: Dyn

4.9 - Grupo Electrónico Diésel de Emergencia

Tensión Nominal: 480V

Frecuencia Nominal: 60Hz

Número de Polos: 4

Potencia nominal continua (Prime): 360kVA

Potencia de Emergencia (Stand By): 396kVA

Reactancia transitoria: 8.71%

Tensión de Operación: 506V

4.10 - Alternador del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia

Fabricante: WEG

Modelo: 280MI40AI

Potencia Nominal: 605kVA

Tensión Nominal: 480V

Frecuencia Nominal: 60Hz

Tensión de Operación: 506V

Reactancia transitoria a 480V: 11.60%

Reactancia subtransitoria a 480V: 8.41%

4.11 - Sistema de Baja Tensión

Se considerará que las características de la red de baja tensión son:

Tensión Nominal: 480V, $\pm 10\%$

Sistema trifásico: estrella sólidamente conectada a tierra

Frecuencia Nominal: 60Hz

4.12 - Equipos en General

Los equipos en general (resistencias de calentamiento, cargadores de baterías, pórticos etc.) tendrán las siguientes características nominales:

Tensión Nominal: 480V

Frecuencia Nominal: 60Hz

Tensión Máxima: 528V (480V, +10%)

Tensión Mínima: 432V (480V, -10%)

Tensión Mínima Excepcional: 408V (480V, -15%)

4.13 - Motores Trifásicos

Los motores trifásicos de inducción tendrán las siguientes características:

Tensión Nominal: 460V

Frecuencia nominal: 60Hz

Tensión Máxima: 506V (460V, +10%)

Tensión Mínima Normal: 437V (460V, -5%)

Tensión Mínima Excepcional: 414V (460V, -10%)

Tensión Mínima al Arranque: 391V (460V, -15%)

Clase de aislamiento: F con elevación de temperatura de 80°C (clase B). Esta característica permitirá que los motores funcionen con tensiones más altas o bajas que las especificadas normalmente,

Las corrientes nominales de los motores serán las indicadas en el cuadro siguiente para la tensión nominal de 460; las corrientes de arranque 8 veces la corriente nominal (excepto el motor de 100 CV que será 1054A), con factor de potencia 0,3. En funcionamiento, el factor de potencia de todos los motores se considerará 0.85.

Potencia (hp)	0,5	0,75	1	1,5	3	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100
I_n (A)	1,1	1,6	2,1	3,0	4,8	7,6	11	14	21	27	34	40	52	65	77	96	124
I_p (A)	8,8	12,8	16,8	24,0	38,4	60,8	88	112	168	216	272	320	416	520	616	768	1054

4.14 - Transformadores de Control

Relación: 480-120V

Relación Nominal: 460-115V

4.15 - Contactores y Relés Auxiliares

Tensión Nominal: 115V

Variación de Tensión: +10% (126,5V), -15% (97,75V)

4.16 - Cargas Constantes

Las cargas constantes son las cargas cuyo consumo prácticamente no cambia con la variación de la tensión. En estos casos se encuentran los motores de inducción trifásicos,

cargadores de baterías, sistemas de comunicación, etc. Para el cálculo de las caídas de tensión, se considerarán los datos de estas cargas como:

Tensión Nominal: 460V

Factor de Potencia: 0,85

Nota: La tensión nominal de las cargas constantes se considera como 460V porque es la tensión nominal de los motores, que constituyen la mayor parte de las cargas de la planta. La tensión nominal de los cargadores de baterías es de 480V, pero para el propósito de la caída de voltaje, el valor de la tensión nominal no será relevante. Sin embargo, el hecho de que la tensión nominal de los cargadores de baterías se considere 460V en los cálculos de la caída de tensión no implicará cambiar sus otras características, como los límites de sobretensión.

4.17 - Cargas Variables

Las cargas variables son cargas cuyo consumo cambia con la variación de la tensión. En estos casos existen cargas como resistencias de calentamiento, cuya corriente varía con la variación de tensión. Para el cálculo de las caídas de tensión, se considerarán los datos de estas cargas como:

Tensión Nominal: 480V

Factor de Potencia: 0,90

Nota: En el caso de cargas consideradas variables, con diferentes tensiones nominales, el valor de potencia total de todas estas cargas debe referirse a la misma tensión nominal. Por ejemplo, una resistencia de calentamiento de 10kW, con una tensión nominal de 440V, debe considerarse como 11.9kW en 480V, con un factor de potencia de 1.0.

4.18 - Carga Máxima de la Central

Carga Constante: 650kVA, con factor de potencia 0,85;

Cargas Generales: 150kVA, con factor de potencia 0,90;

4.19 - Carga Máxima en Emergencia

Carga Constante: 310kVA, con factor de potencia 0,85;

Cargas Generales: 50kVA, con factor de potencia 0,90;

5 - APLICACIONES

Las aplicaciones tienen el propósito de utilizar, en los ejemplos considerados, los informativos técnicos y planillas de cálculo relacionadas en los documentos de referencia.

La tendencia a ser conservadores a menudo nos lleva a sobredimensionar los componentes de la instalación y, otras veces, aplicando la redacción estricta de las normas, a subdimensionar o sobredimensionar los sistemas y componentes.

Cuando se elabora un nuevo proyecto, se define la configuración del sistema y se estiman las potencias de las cargas eléctricas en función de los datos preliminares. Los equipos y componentes de la instalación, principalmente cables, dimensiones de paneles y potencias de los transformadores se están dimensionando y definiendo, inicialmente, con estas informaciones preliminares. Sucede que, durante el desarrollo del proyecto, se están definiendo las cargas reales y es necesario verificar continuamente si, debido a la nueva información, es necesario cambiar o adaptar las definiciones adoptadas. Por lo general, cuando las cargas son definidas por profesionales experimentados, solo es necesario adaptar los circuitos específicos de algunos componentes, porque las potencias estimadas de las cargas son, en general, muy cercanas a las reales, algunas un poco por encima o un poco por debajo, pero en general dentro de la previsión inicial.

Como en todas las instalaciones siempre habrá redundancia donde haya un transformador principal y otra reserva y, si cada transformador está dimensionado para soportar todas las cargas en las condiciones de funcionamiento más severas de la instalación, la carga

normalmente aplicada a uno de los transformadores estará muy por debajo del 50% de la potencia nominal del transformador.

En este informativo, las aplicaciones se limitarán a hacer cálculos de las situaciones más comunes, porque dimensionar en detalle todos los circuitos y analizar todas las condiciones de funcionamiento no es el objetivo de este documento. Sin embargo, para consolidar algunas definiciones, será necesario abordar algunos conceptos, que serán analizados con mayor profundidad.

5.1 - Tensión en los Transformadores

Para calcular la tensión en los terminales secundarios de un transformador es necesario definir la potencia nominal del transformador, la impedancia nominal, las tensiones nominales primaria y secundaria, el valor de la tensión primaria de la fuente, las derivaciones del bobinado de alta tensión, las cargas aplicadas y sus condiciones de funcionamiento.

5.1.1 - Potencia Nominal del Transformador

La potencia nominal del transformador de servicios auxiliares depende de las cargas alimentadas y sus condiciones de funcionamiento. Este aspecto se abordó en detalle en el informativo IT.EL.SA.CA.02 - Transformadores de Potencia y Grupo Electrónico Diésel de Emergencia – Dimensionamiento.

Para transformadores con el mismo valor de impedancia, el uso de potencias superiores a las calculadas puede aportar una pequeña ventaja con la reducción de la caída de tensión. Por ejemplo, si consideramos:

Potencia nominal del transformador 1000kVA

Impedancia nominal del transformador 6%

Tensiones nominales: 13,8 kV ($\pm 2,5\%$) - 480 V

Tensión considerada en origen: 14,49kV (13,8kV, +5%)

Derivación utilizada: 13.8kV

Carga constante: 650kVA, tensión nominal 460V, con factor de potencia 0.85;

Cargas variables: 150kVA, tensión nominal 480V, con factor de potencia 0.9;

Como puede ver usando la planilla de cálculo PL.EL.SA.AC.01 -Transformadores de Potencia - Cálculo de la Tensión en los Terminales, la tensión en los terminales del transformador para la carga máxima de la planta considerada será de 489.00V.

DATOS DEL SISTEMA			
Transformador	V_{P_n}	Tensión Primaria Nominal del Transformador (kV)	13,8
	V_{S_n}	Tensión Secundaria Nominal del Transformador (V)	480
	P_{TF_n}	Potencia Nominal del Transformador (kVA)	1000
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	6
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	V_P	Tensión en el Primario del Transformador (kV)	14,49
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Primario (pu)	1
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	650
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	150
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FP_{C_v}	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensión Nominal de Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	FP_{M_p}	Factor de Potencia de Motor(es) en el Arranque	

V_{T_s}	Tensión en los terminales del secundario del transformador (V)	489,00
-----------	--	--------

Si, en lugar de un transformador de 1000kVA utilizamos un transformador de 1500kVA, la tensión será de 494.14V.

DATOS DEL SISTEMA			
Transformador	V_{Pn}	Tensión Primaria Nominal del Transformador (kV)	13,8
	V_{Sn}	Tensión Secundaria Nominal del Transformador (V)	480
	P_{TFn}	Potencia Nominal del Transformador (kVA)	1500
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	6
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	V_P	Tensión en el Primario del Transformador (kV)	14,49
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Primario (pu)	1
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	650
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	150
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FP_{C_v}	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	$V_{M_{pn}}$	Tensión Nominal de Motor(es) (V)	
	$I_{M_{pn}}$	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	FP_{M_p}	Factor de Potencia de Motor(es) en el Arranque	
V_{Ts} Tensión en los terminales del secundario del transformador (V)			494,14

Para las mismas condiciones, la tensión era de 489.00V (480V, +1.7%) para el transformador de 1000kVA, se convertirá en 494.14V (480V, +2.9%) para el transformador de 1500kVA, lo que corresponde a una diferencia de 5.14V.

5.1.2 - Impedancia Nominal del Transformador

La impedancia nominal de los transformadores es definida en función del tipo de transformador. Por ejemplo, para transformadores secos en las potencias consideradas la impedancia es del 6%, pero para transformadores en aceite puede ser del 5%. La impedancia exacta se obtiene durante las pruebas de fábrica y se registra en la placa del transformador.

5.1.3 - Tensiones Nominales de los Transformadores

Las tensiones nominales de los transformadores son definidas por el proyecto según las especificaciones del Cliente y las características de la instalación.

5.1.4 - Derivación del Bobinado de Alta Tensión

La derivación utilizada del devanado de alta tensión del transformador de servicios auxiliares será objeto de la evaluación del proyecto. En principio, este valor garantizará que la tensión máxima en cualquier carga no supere sus límites admisibles.

La tensión nominal del secundario de los transformadores de control es de 115V, y para la relación 4:1, los transformadores de 460-115V, instalados en sistemas de 480V, funcionarán como 480-120V.

Teniendo en cuenta las tensiones máximas permitidas y definidas para los equipos, la tensión máxima de 506V cumplirá con las tensiones máximas de todos los componentes, como se detalla a continuación:

- Cargas generales: 528V (480V, +10%)
- Motores: 506V (460V, +10%)
- Transformadores de control: 506V, es decir, 506V (460V, +10%) -126.5V (115V, +10%)
- Contactores y relés auxiliares: 126.5V (115V, +10%)

Para que la tensión máxima en el secundario del transformador de servicios auxiliares sea de 506V, con la tensión máxima del sistema de 13,8kV a 14,49kV ($1,05 \times 13,8\text{kV}$), la derivación a utilizar debe ser la nominal, es decir, la derivación correspondiente a 13.800V. La derivación que utilizar se puede calcular mediante la fórmula:

$$Tap = V_{MMT} \times \frac{V_{NBT}}{V_{MBT}}$$

Dónde:

Tap – Derivación del Devanado Primario del Transformador (V)

V_{MMT} – Tensión Máxima del Sistema de Media Tensión (V)

V_{NBT} – Tensión Nominal del Secundario del Transformador (V)

V_{MBT} – Tensión Máxima del Secundario del Transformador (V)

Calculando el valor de la tensión de la derivación del devanado primario tenemos:

$$Tap = 14.490 \times \frac{480}{506} = 13.745V$$

Dado que las derivaciones del devanado primario del transformador son 13,110V-13,455V-13,800V-14,145V-14,490V, la derivación más próxima a 13,745V es la de 13,800V.

Utilizando la derivación de 13.800V del devanado primario, con la tensión máxima en el primario de 14.490V, la tensión máxima en el secundario del transformador, sin carga, será:

$$V_{MBT} = V_{MMT} \times \frac{V_{NBT}}{Tap}$$

Es decir,

$$V_{MBT} = 14.490 \times \frac{480}{13.800} = 504V$$

Se puede definir el uso de una derivación distinta a la recomendada si, con la carga mínima de la instalación, se puede asegurar que no se superará la tensión máxima del equipo.

La derivación más adecuada también puede ser definida por el personal de la operación de las instalaciones, dependiendo de las condiciones reales de operación de las cargas y del comportamiento de las tensiones de alimentación de los transformadores.

5.1.5 - Tensión de la Alimentación del Transformador

Si la fuente de alimentación es un concesionario, como puede ser el caso de la fuente externa, la tensión debe estar dentro de los límites definidos contractualmente.

En este informativo, se utilizará la derivación 13800V del devanado de alta tensión del transformador de servicios auxiliares. Sin embargo, para definir con mayor precisión la tensión de generación, que generalmente se usa para alimentar los servicios auxiliares, se puede usar la planilla de cálculo PL.EL.SA.CA.06 Centrales Hidroeléctricas - Cálculo de la Tensión de Generación, de acuerdo con el informativo técnico TE.EL.SA.CA.03 Centrales Hidroeléctricas - Cálculo de la Tensión de Generación.

A continuación, se realizarán algunas simulaciones considerando que cada unidad generadora suministra la potencia de 100MVA con factor de potencia 1.00, con la tensión en la subestación AT en el rango de tensión adecuado, es decir, del 95% (131.1kV) al 105% (144.9kV) de la tensión nominal, para las derivaciones del transformador elevador en 138kV $\pm$ 2.5%. Otros valores pueden ser simulados por el usuario para definir el rango de voltaje más probable de operación de generación, para definir la derivación que se utilizará en el devanado de alta tensión del transformador de servicios auxiliares.

Para la tensión de 131,1kV en la subestación, y derivación del devanado de alta tensión del transformador elevador en 138kV-2,5%, la tensión en la generación será:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de Generación, Subestación y Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensión Nominal Primaria del Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensión Nominal Secundaria del Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potencia Nominal del Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	10
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Secundario (pu)	0,975
	P_G	Potencia Total a Través del Transformador (MVA)	100
	FP	Factor de Potencia de la Generación Total	1
	V_{Gn}	Tensión Nominal de la Generación (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensión en la Subestación Asociada (kV)	131,1
			$V_G (kV)$ 13,88
			$V_G (\%V_{Gn})$ 100,60

Para la tensión de 131,1kV en la subestación, y derivación del devanado de alta tensión del transformador elevador en 138kV, la tensión en la generación será:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de Generación, Subestación y Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensión Nominal Primaria del Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensión Nominal Secundaria del Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potencia Nominal del Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	10
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Secundario (pu)	1
	P_G	Potencia Total a Través del Transformador (MVA)	100
	FP	Factor de Potencia de la Generación Total	1
	V_{Gn}	Tensión Nominal de la Generación (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensión en la Subestación Asociada (kV)	131,1
			$V_G (kV)$ 13,57
			$V_G (\%V_{Gn})$ 98,32

Para la tensión de 131,1kV en la subestación, y derivación del devanado de alta tensión del transformador elevador en 138kV+2,5%, la tensión en la generación será:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de Generación, Subestación y Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensión Nominal Primaria del Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensión Nominal Secundaria del Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potencia Nominal del Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	10
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Secundario (pu)	1,025
	P_G	Potencia Total a Través del Transformador (MVA)	100
	FP	Factor de Potencia de la Generación Total	1
	V_{Gn}	Tensión Nominal de la Generación (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensión en la Subestación Asociada (kV)	131,1
			$V_G (kV)$ 13,27
			$V_G (\%V_{Gn})$ 96,16

Para la tensión de 144,91kV en la subestación, y derivación del devanado de alta tensión del transformador elevador en 138kV-2,5%, la tensión en la generación será:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de Generación, Subestación y Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensión Nominal Primaria del Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensión Nominal Secundaria del Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potencia Nominal del Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	10
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Secundario (pu)	0,975
	P_G	Potencia Total a Través del Transformador (MVA)	100
	FP	Factor de Potencia de la Generación Total	1
	V_{Gn}	Tensión Nominal de la Generación (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensión en la Subestación Asociada (kV)	144,9
	$V_G (kV)$		15,22
	$V_G (\%V_{Gn})$		110,32

Para la tensión de 144,91kV en la subestación, y derivación del devanado de alta tensión del transformador elevador en 138kV, la tensión en la generación será:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de Generación, Subestación y Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensión Nominal Primaria del Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensión Nominal Secundaria del Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potencia Nominal del Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	10
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Secundario (pu)	1
	P_G	Potencia Total a Través del Transformador (MVA)	100
	FP	Factor de Potencia de la Generación Total	1
	V_{Gn}	Tensión Nominal de la Generación (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensión en la Subestación Asociada (kV)	144,9
	$V_G (kV)$		14,87
	$V_G (\%V_{Gn})$		107,75

Para la tensión de 144,91kV en la subestación, y derivación del devanado de alta tensión del transformador elevador en 138kV+2,5%, la tensión en la generación será:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de Generación, Subestación y Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensión Nominal Primaria del Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensión Nominal Secundaria del Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potencia Nominal del Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	10
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Secundario (pu)	1,025
	P_G	Potencia Total a Través del Transformador (MVA)	100
	FP	Factor de Potencia de la Generación Total	1
	V_{Gn}	Tensión Nominal de la Generación (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensión en la Subestación Asociada (kV)	144,9
	$V_G (kV)$		14,53
	$V_G (\%V_{Gn})$		105,32

Sobre la base de simulaciones como estas, con la información de los valores de tensión esperados en la subestación y la definición de la derivación del devanado de alta tensión del transformador elevador, el usuario podrá definir con mayor precisión el valor de la derivación del devanado del primario del transformador de servicios auxiliares.

En las simulaciones anteriores, las tensiones de generación variaron de 13.27kV (96.16% VGn) a 14.53kV (105.32% VGn).

5.1.6 - Caídas de Tensión

Las posibles condiciones de funcionamiento de los transformadores de servicios auxiliares se pueden evaluar utilizando la planilla de cálculo PL.EL.SA.CA.01 -Transformadores de Potencia - Cálculo de Tensión en Terminales. Las demostraciones detalladas de las fórmulas utilizadas para la preparación de las planillas de cálculo se encuentran en el informativo técnico TE.EL.SA CA.01 - Transformadores de Potencia - Cálculo de Tensión en Terminales.

Los cálculos de este informativo analizarán dos condiciones de operación de los transformadores, con dos condiciones de operación de las cargas. La primera, que será la condición normal de funcionamiento, considera que dos transformadores de servicios auxiliares alimentan todas las cargas de la planta. La segunda, que es la condición crítica de funcionamiento, considera que un solo transformador alimenta todas las cargas de la planta.

La condición de funcionamiento de las cargas que se considerarán, para las dos condiciones de funcionamiento de los transformadores, es la que considera que la última carga a aplicar será el arranque del motor de 50hp (Bomba contra incendios) o 100hp (Bomba de aceite del regulador de velocidad de la turbina).

La primera condición de funcionamiento de los transformadores considera que la carga constante máxima de la planta es de 650kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0,85) y la variable 150kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0,90); que la carga es alimentada normalmente por dos transformadores, es decir, cada transformador alimenta, teóricamente, la mitad de la carga. La carga constante que es de $650kVA/2 = 325kVA$ (tensión nominal 460V, factor de potencia 0,85) y la carga variable que es $150kVA/2 = 75kVA$ (tensión nominal 480V, factor de potencia 0,90); que un transformador puede alimentar toda la carga de la planta; que, en la condición más severa, los motores de 100hp o 50hp pueden ser las últimas cargas en ser aplicadas.

La segunda condición de funcionamiento de los transformadores considera que la carga constante máxima de la planta es de 650kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0,85) y la variable 150kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0,90); que la carga es alimentada normalmente por un solo transformador, es decir, el transformador alimenta la carga constante es de 650kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0,85) y la variable 150kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0,90); que en la condición más severa, los motores de 100 hp o 50 hp pueden ser las últimas cargas en ser aplicadas.

Los valores de tensión calculados, utilizando la planilla de cálculo, para todos los valores de tensión posibles en el primario de los transformadores para derivación del devanado primario en 13800V, son los indicados en la siguiente tabla, donde se verifica, por ejemplo, que:

- En la primera condición, donde dos transformadores de servicio auxiliares alimentan todas las cargas de la planta; con la tensión primaria de 12.834V, con carga inicial constante de 275kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0,85) y carga variable de 75kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0,90), durante el arranque del motor de 50 CV, la tensión en los terminales del transformador baja de 439,46 V a 427,83 V y luego se estabiliza en 438,38 V.

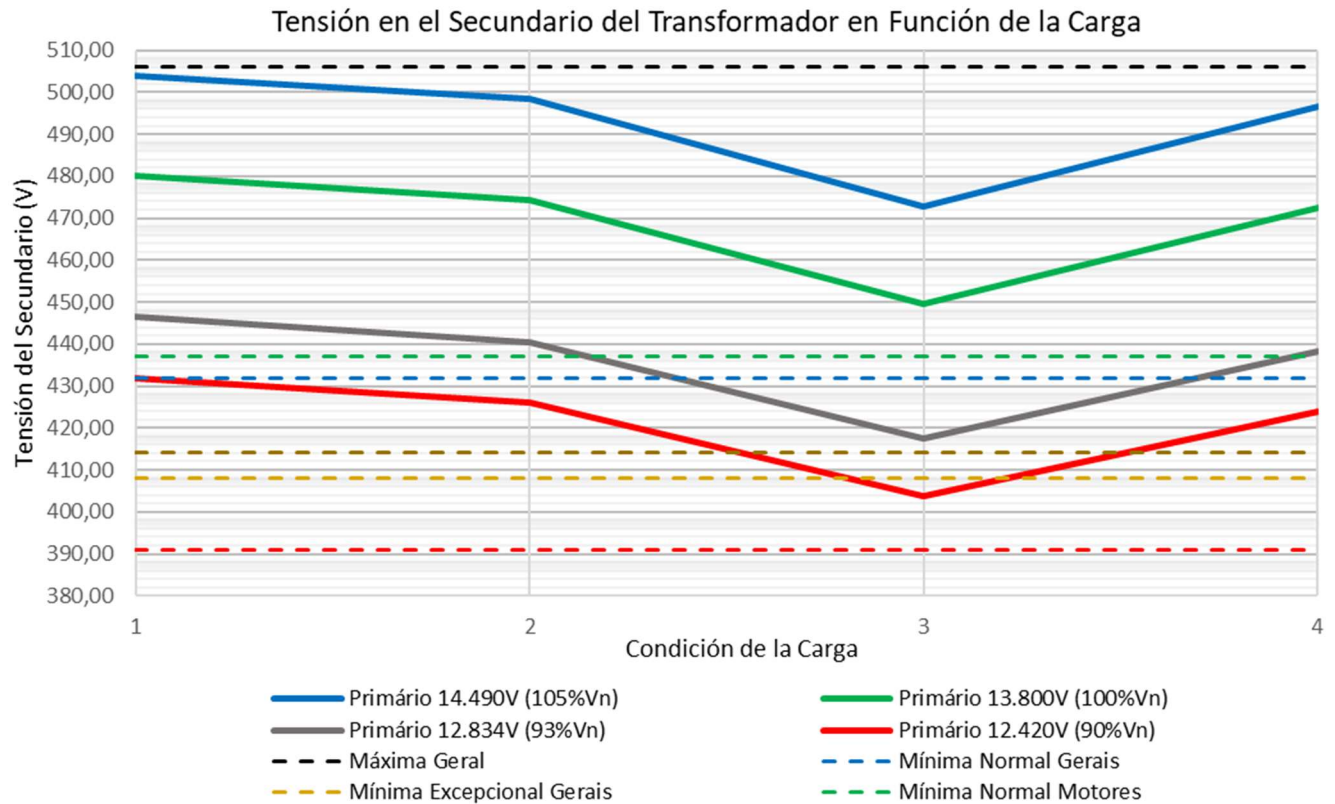
- En la segunda condición, que un solo transformador alimente todas las cargas de la planta, con la tensión primaria de 12.834V, con carga inicial constante de 600kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0,85) y carga variable de 150kVA (tensión nominal 480V, factor de

potencia 0,90), durante el arranque del motor de 50hp, la tensión en los terminales del transformador cae de 431.08V a 419.47V y luego se estabiliza en 429.94V.

Tensión Primária (V)	Sin Carga	Tensión en el Secundário (V)				
		Cargas				
		Inicial		+Arranque	Final	
		Constante (kVA)	Variables (kVA)	Motor (cv)	Constante (kVA)	Variables (kVA)
14.490	504,00	550,00	150,00	100	650,00	150,00
		490,97		465,12	489,00	
		600,00	150,00	50		
		489,99		476,89		
		225,00	75,00	100	325,00	75,00
		498,53		472,63	496,65	
		275,00	75,00	50		
		497,59		484,47		
13.800	480,00	550,00	150,00	100	650,00	150,00
		466,54		441,91	464,45	
		600,00	150,00	50		
		465,50		453,02		
		225,00	75,00	100	325,00	75,00
		474,38		449,71	472,40	
		275,00	75,00	50		
		473,39		460,89		
12.834	446,40	550,00	150,00	100	650,00	150,00
		432,22		409,29	429,94	
		600,00	150,00	50		
		431,08		419,47		
		225,00	75,00	100	325,00	75,00
		440,53		417,57	438,38	
		275,00	75,00	50		
		439,46		427,83		
12.420	432,00	550,00	150,00	100	650,00	150,00
		417,46		395,26	415,09	
		600,00	150,00	50		
		416,28		405,03		
		225,00	75,00	100	325,00	75,00
		426,00		403,79	423,78	
		275,00	75,00	50		
		424,90		413,64		

Todavía basado en los datos de la tabla, considerando dos transformadores en la derivación del devanado primario en 13800V, alimentando la carga inicial constante de 550kVA y la carga variable de 150kVA, con el motor de 100hp arrancando, es decir, considerando un transformador alimentando, teóricamente, 225kVA de carga constante y 75kVA de carga variable, y que el arranque del motor de 100hp ocurre en uno de ellos, tenemos la siguiente tabla y el gráfico correspondiente:

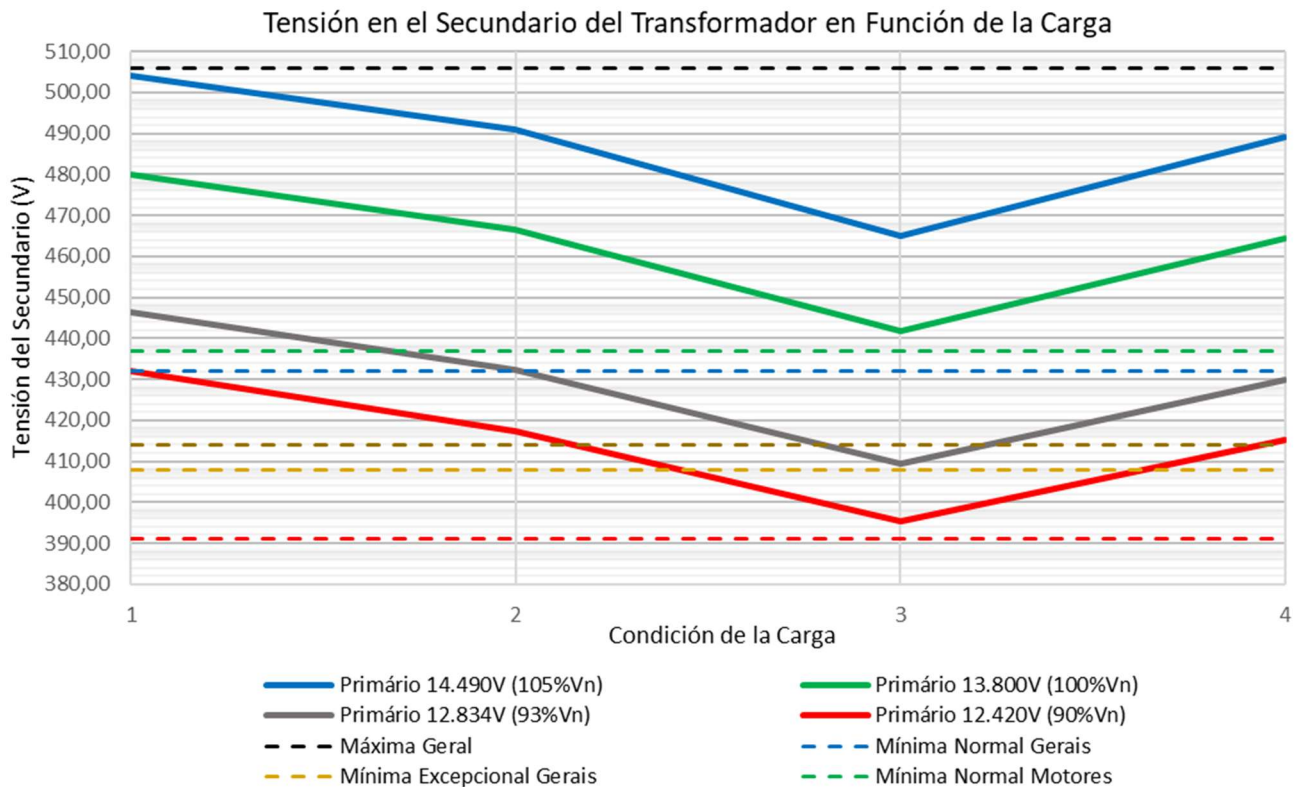
Fuente	Sin Carga	Carga Inicial	Carga Inicial + Arranque	Final
Primario 14.490V (105%Vn)	504,00	498,53	472,63	496,65
Primario 13.800V (100%Vn)	480,00	474,38	449,71	472,40
Primario 12.834V (93%Vn)	446,40	440,53	417,57	438,38
Primario 12.420V (90%Vn)	432,00	426,00	403,79	423,80
Máxima General	506,00	506,00	506,00	506,00
Mínima Normal Generales	432,00	432,00	432,00	432,00
Mínima Excepcional Generale	408,00	408,00	408,00	408,00
Mínima Normal Motores	437,00	437,00	437,00	437,00
Mínima Excepcional Motores	414,00	414,00	414,00	414,00
Mínima Arranque Motores	391,00	391,00	391,00	391,00



Se observa que si la tensión de la fuente del primario del transformador está dentro del límite apropiado de tensión (del 93 al 105% de la tensión nominal) o precario (del 90 al 93% de la tensión nominal), el sistema funcionará normalmente, excepto durante el arranque del motor de 100 hp, cuando la tensión cae, transitoriamente, por debajo de los valores normales mínimos de las cargas generales (480V, -10%) y funcionamiento normalmente mínimo de los motores (460V, -5%).

Considerando un solo transformador que alimenta la carga inicial constante de 550kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0,85) y la carga variable de 150kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0,90), con el arranque del motor de 100hp, tenemos la siguiente tabla y gráfico:

Fuente	Sin Carga	Carga Inicial	Carga Inicial + Arranque Motor	Final
Primario 14.490V (105%Vn)	504,00	490,90	465,12	489,00
Primario 13.800V (100%Vn)	480,00	466,54	441,91	464,45
Primario 12.834V (93%Vn)	446,40	432,22	409,29	429,94
Primario 12.420V (90%Vn)	432,00	417,46	395,26	415,09
Máxima General	506,00	506,00	506,00	506,00
Mínima Normal Generales	432,00	432,00	432,00	432,00
Mínima Excepcional Generales	408,00	408,00	408,00	408,00
Mínima Normal Motores	437,00	437,00	437,00	437,00
Mínima Excepcional Motores	414,00	414,00	414,00	414,00
Mínima Arranque Motores	391,00	391,00	391,00	391,00



Se observa que si la tensión de la fuente del primario del transformador está dentro del límite de tensión apropiado (del 93 al 105% del voltaje nominal), el sistema funcionará normalmente, excepto durante el arranque del motor de 100 hp, cuando la tensión cae, transitoriamente, por debajo de los valores normales mínimos de las cargas generales (480V, -10%) y el mínimo excepcional de funcionamiento de los motores (460V, -10%). Sin embargo, durante este período de transición, la tensión permanecerá por encima de la tensión mínima excepcional de las cargas generales (480V, -15%). El hecho de que la tensión esté por debajo del valor mínimo de funcionamiento normal de los motores (460V, -5%) se considerará normal, debido al hecho de que los motores tienen aislamiento de Clase F, pero están diseñados para funcionar a temperaturas de Clase B.

Si la tensión de la fuente primaria del transformador está en el rango de tensión precario (de 90 a 93% de la tensión nominal), durante el arranque del motor de 100 hp, la tensión cae, transitoriamente, por debajo de los valores mínimos excepcionales de las cargas generales (480V, -15%) y el mínimo excepcional de funcionamiento de los motores (460V, -10%). Sin embargo, durante este período de transición, la tensión aún permanecerá por encima de la tensión mínima de arranque de los motores (460V, -15%). Después del período de transición del arranque del motor de 100 CV, la tensión en las cargas generales estará por encima de la tensión de funcionamiento mínima excepcional de los motores (460V, -10%) y la tensión mínima excepcional de las cargas generales (480V, -15%).

5.2 - Grupo Electrónico Diésel de Emergencia

El grupo electrónico diésel de emergencia está previsto para cumplir con las condiciones de emergencia de la planta. Sin embargo, dependiendo de su capacidad y de las necesidades del funcionamiento de la planta, puede satisfacer otras cargas no previstas en la memoria de cálculo.

De manera similar al comportamiento de la tensión del transformador, considerando los datos reales del alternador, se evaluarán las siguientes condiciones de operación:

En la primera condición, que el grupo alimente una carga inicial constante de 260kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0.85) y carga variable de 50kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0.90), durante el arranque del motor de 50hp, la tensión en los terminales del alternador cae de 506V a 465.91V y luego se restablece a 506V.

DATOS DEL SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensión Nominal del Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensión de Operación Ajustada en el Alternador (V)	506	
	PG_n	Potencia Nominal del Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reactancia Transitoria Nominal del Alternador (%)	11,6	
Datos de las Cargas	Inicial	PC_{kn}	Potencia Nominal de la Carga Inicial Constante (kVA)	260
		Vc_{kn}	Tensión Nominal de la Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Factor de Potencia de la Carga Inicial Constante	0,85
		PC_{vn}	Potencia Nominal de la Carga Inicial Variable (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensión Nominal de la Carga Inicial Variable (V)	480
		FPC_v	Factor de Potencia de la Carga Inicial Variable	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	
		FPC_K	Factor de Potencia de la Carga Constante	
		PC_{Vn}	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
		VC_{Vn}	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
		FPC_V	Factor de Potencia de la Carga Variable	
		VM_{Pn}	Tensión Nominal del de(los) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	520
		FPM_P	Factor de Potencia del de(los) Motor(es) en el Arranque	0,3

Tensión en los Terminales del Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	465,91
--	--------------	--------

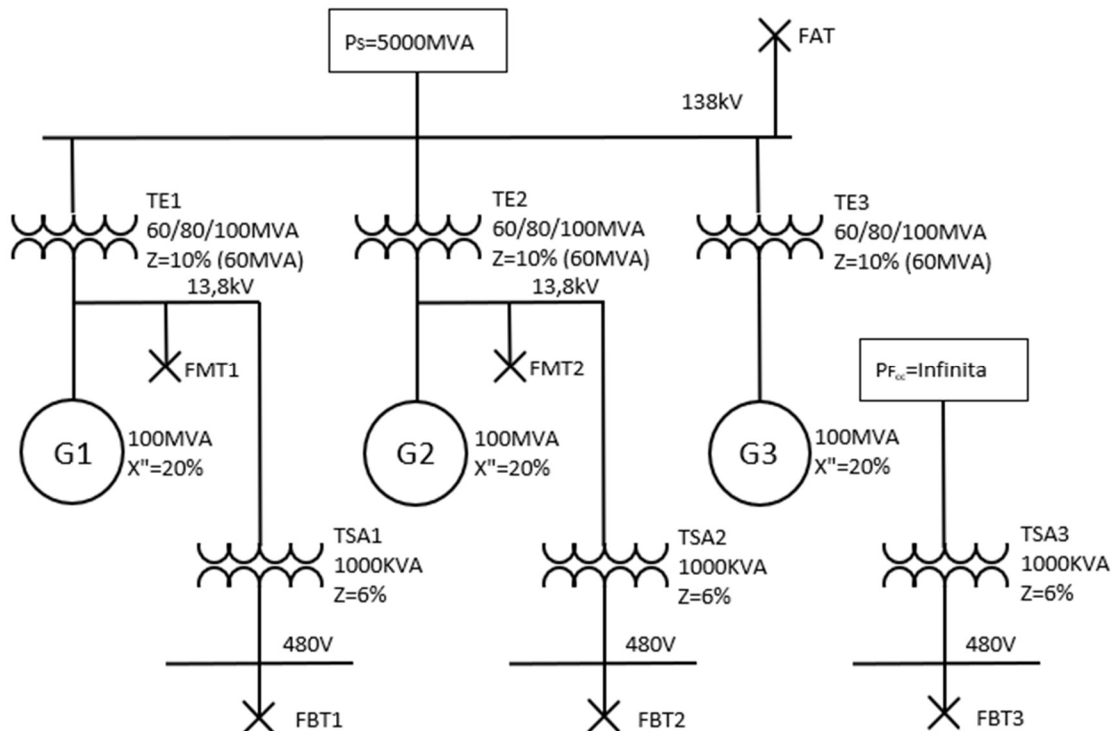
En la segunda condición, que el grupo alimenta una carga inicial constante de 210kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0.85) y carga variable de 50kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0.90), durante el arranque del motor de 100hp, la tensión en los terminales del alternador cae de 506V a 431.00V y luego se restablece a 506V.

DATOS DEL SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensión Nominal del Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensión de Operación Ajustada en el Alternador (V)	506	
	PG_n	Potencia Nominal del Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reactancia Transitoria Nominal del Alternador (%)	11,6	
Datos de las Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potencia Nominal de la Carga Inicial Constante (kVA)	210
		Vc_{kn}	Tensión Nominal de la Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Factor de Potencia de la Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potencia Nominal de la Carga Inicial Variable (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensión Nominal de la Carga Inicial Variable (V)	480
		FPC_v	Factor de Potencia de la Carga Inicial Variable	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	
		FPC_K	Factor de Potencia de la Carga Constante	
		PC_{Vn}	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
		VC_{Vn}	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
		FPC_V	Factor de Potencia de la Carga Variable	
		VM_{Pn}	Tensión Nominal del de(los) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	1054
		FPM_P	Factor de Potencia del de(los) Motor(es) en el Arranque	0,3

Tensión en los Terminales del Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	431,00
--	--------------	--------

5.3 - Corrientes de cortocircuito

Las corrientes de cortocircuito trifásicas se calcularán para los puntos FAT (Sistema 138kV); FMT1 y 2 (sistemas de 13,8 kV); y FBT1, 2 y 3 (sistemas de 480V) indicados en la siguiente figura:



El cálculo de las corrientes de cortocircuito en los distintos puntos de la instalación se realizará mediante el método MVA. Este método, de Monn H. Yuen, fue publicado por el IEEE en 1974. El informativo técnico IT.EL.SA.CA.03 Cortocircuito - Cálculo de las Corrientes, detalla este método para corrientes de cortocircuito trifásicas simétricas y sus conceptos se aplicarán al sistema de la planta, de acuerdo con sus informaciones e indicado en el diagrama unifilar.

Calculando las potencias de cortocircuito de cada componente tenemos:

$$P_{G1,2,3} = \frac{100}{20} \times 100 = 500MVA$$

$$P_{TE1,2,3} = \frac{60}{10} \times 100 = 600MVA$$

$$P_{TS_{1,2,3}} = \frac{1}{6} \times 100 = 16,7MVA$$

Para calcular la potencia de cortocircuito equivalente de conjuntos en serie se aplica la fórmula:

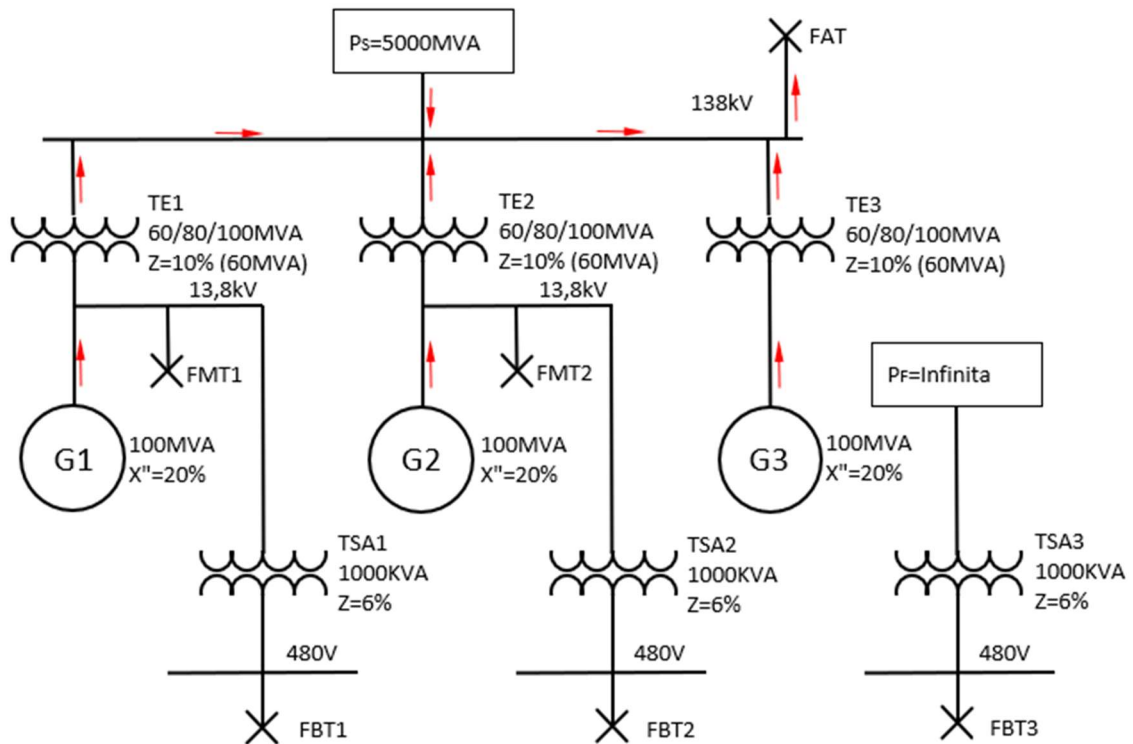
$$P_{cc_T} = \frac{1}{\frac{1}{P_{cc_1}} + \frac{1}{P_{cc_2}} + \frac{1}{P_{cc_3}} + \dots + \frac{1}{P_{cc_n}}}$$

Para calcular la potencia de cortocircuito equivalente de conjuntos en paralelo se aplica la fórmula:

$$P_{cc_T} = P_{cc_1} + P_{cc_2} + P_{cc_3} + \dots + P_{cc_n}$$

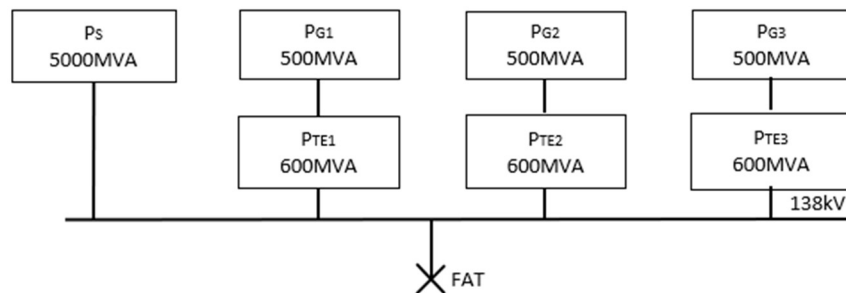
5.3.1 - Sistema de 138kV

Para el sistema de 138kV el cálculo se realizará en la barra de la Subestación, representado por el punto FAT en la siguiente figura:



Las flechas indican la dirección de las corrientes.

El siguiente diagrama de bloques representa el sistema involucrado en el punto FAT:



Calculando:

$$P_{G1-TE} = \frac{1}{\frac{1}{P_{G1}} + \frac{1}{P_{TE1}}} = P_{G2-TE2} = P_{G3-TE3} = \frac{1}{\frac{1}{500} + \frac{1}{600}} = 272,7MVA$$

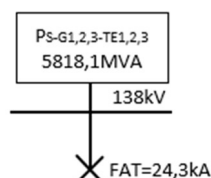


$$P_{S-G1,2,3-TE1,2,3} = P_S + P_{G1-TE1} + P_{G2-TE2} + P_{G3-TE3} = 5000 + 272,7 + 272,7 + 272,7$$

$$P_{S-G1,2,3-TE1,2,3} = 5818,1MVA$$

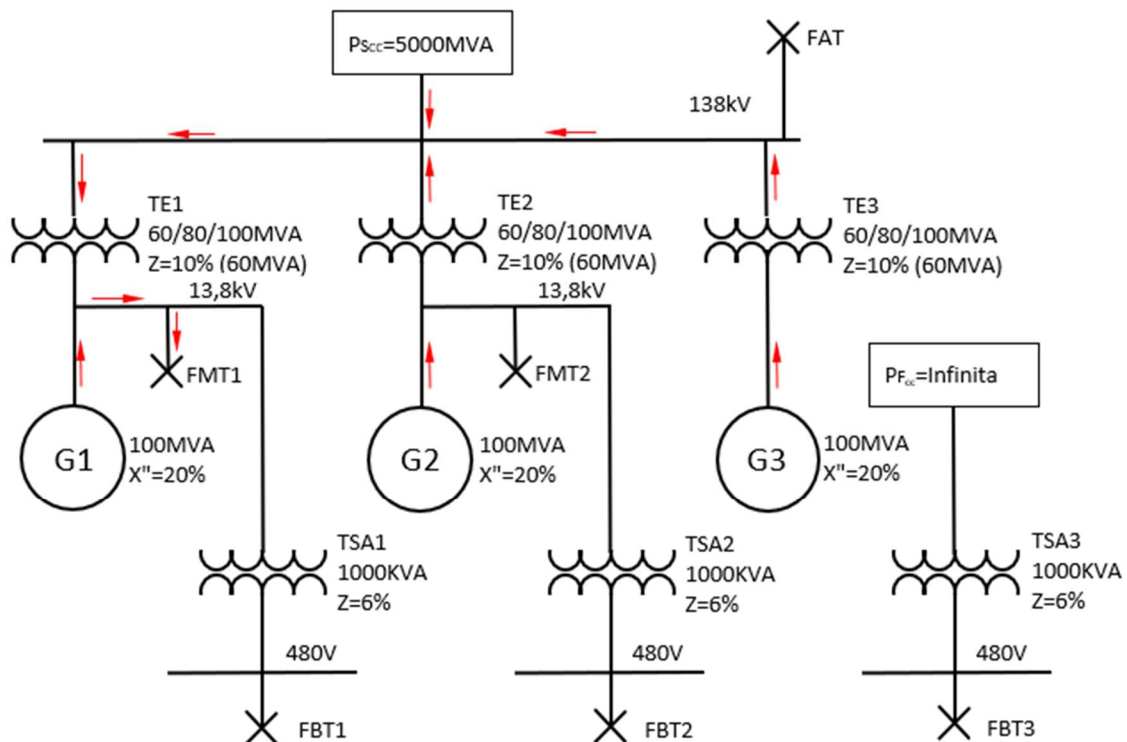
Que corresponde a una corriente de;

$$I_{FAT} = \frac{5818,1}{\sqrt{3} \cdot 138} = 24,3kA$$

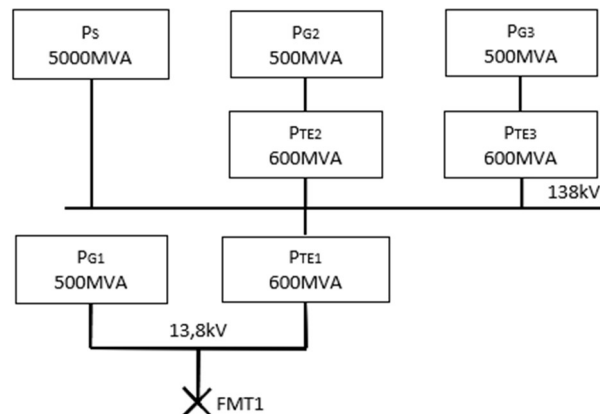


5.3.2 - Sistema de 13,8kV

El cálculo de las corrientes de corto circuito en el sistema de 13,8kV será hecho para los puntos FMT1 y 2

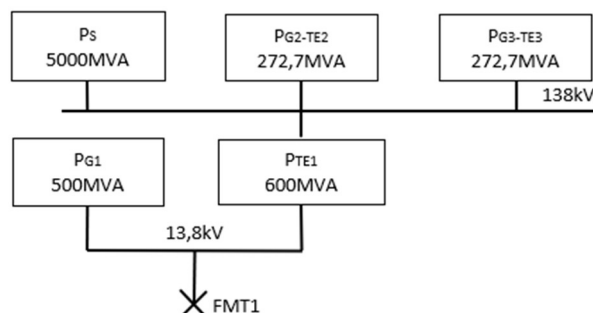


El siguiente diagrama de bloques representa el sistema implicado:

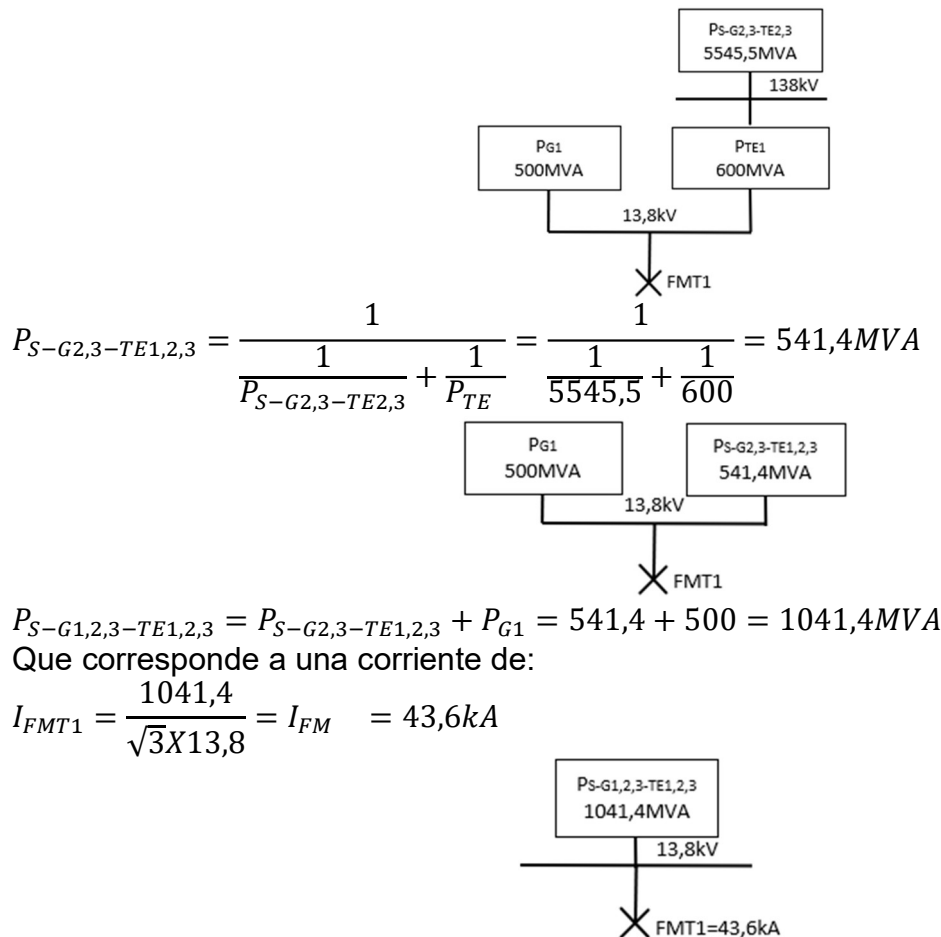


Calculando:

$$P_{G2-TE2} = \frac{1}{\frac{1}{P_{G2}} + \frac{1}{P_{TE2}}} = P_{G3-TE} = \frac{1}{\frac{1}{500} + \frac{1}{600}} = 272,7MVA$$



$$P_{S-G2,3-TE2,3} = P_S + P_{G2-TE} + P_{G3-TE} = 5000 + 272,7 + 272,7 = 5545,5MVA$$



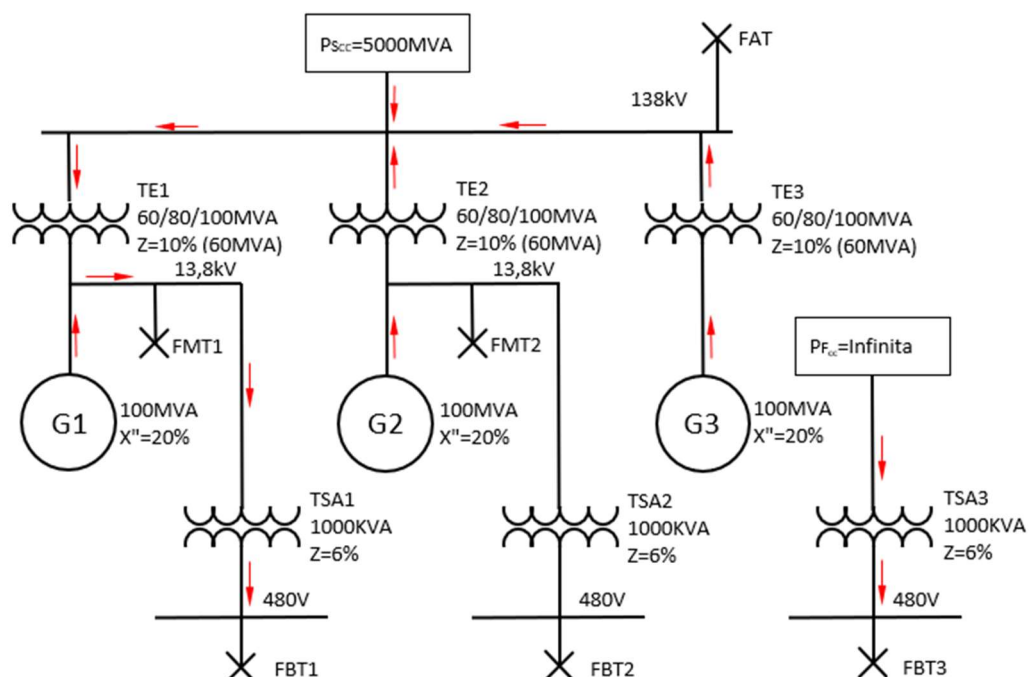
Teniendo en cuenta que la tensión máxima de generación puede ser +10%, la corriente de cortocircuito para definir la corriente de cortocircuito simétrica del sistema de 13,8kV debe aumentarse en un 10%, es decir:

$$I_{FMT2} = 43,6 \times 1,1 = 47,9kA$$

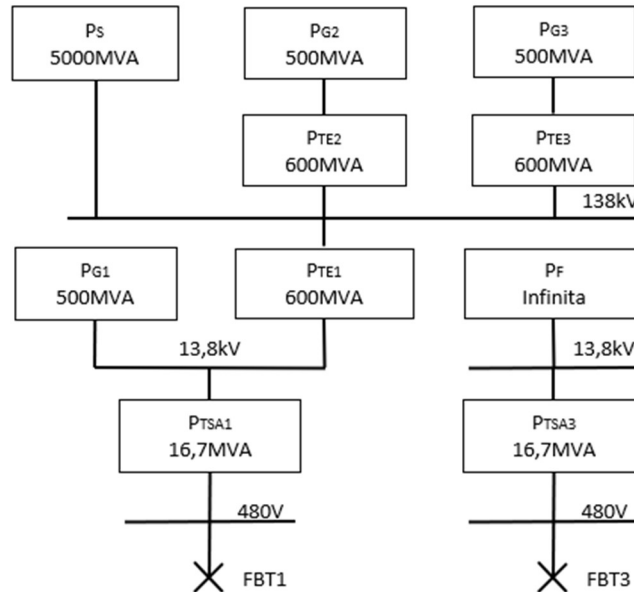
5.3.3 - Sistema de 480V

Cálculo de la corriente de cortocircuito en FBT1,2 y 3

Para el sistema de 0,48 kV, el sistema se representará mediante la siguiente figura:

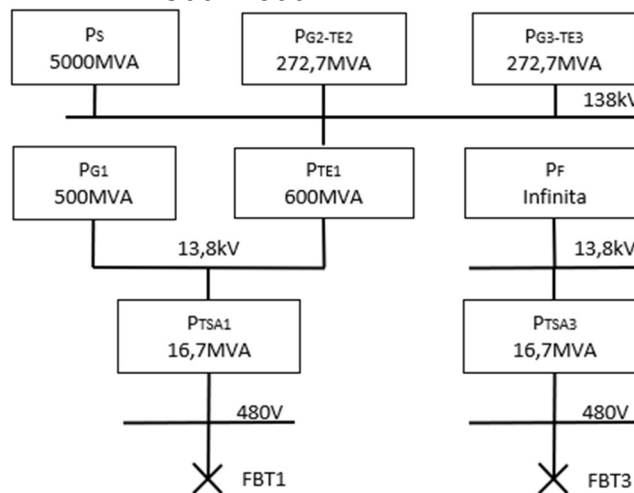


El siguiente diagrama de bloques representa el sistema involucrado:

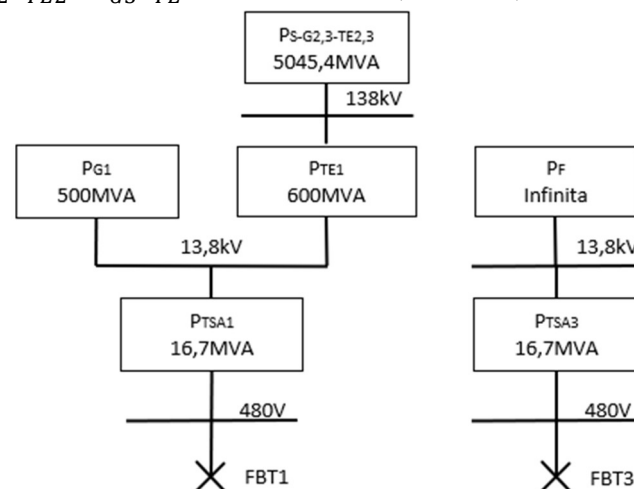


Calculando:

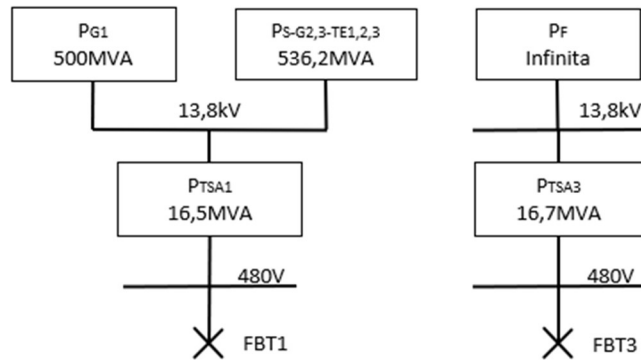
$$P_{G2-TE2} = \frac{1}{\frac{1}{P_{G2}} + \frac{1}{P_{TE}}} = P_{G3-TE} = \frac{1}{\frac{1}{500} + \frac{1}{600}} = 272,7MVA$$



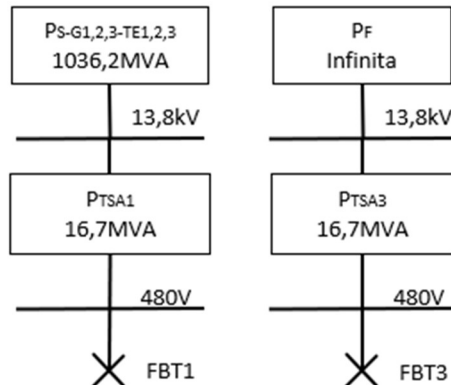
$$P_{S-G2,3-TE2,3} = P_S + P_{G2-TE2} + P_{G3-TE} = 5000 + 272,7 + 272,7 = 5045,4MVA$$



$$P_{S-G2,3-TE1,2,3} = \frac{1}{\frac{1}{P_{S-G2,3-TE2,3}} + \frac{1}{P_{TE}}} = \frac{1}{\frac{1}{5045,4} + \frac{1}{600}} = 536,2MVA$$



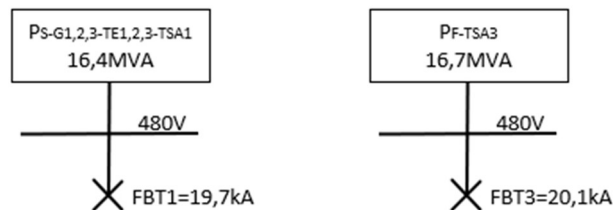
$$P_{S-G1,2,3-TE1,2,3} = P_{S-G2,3-TE1,2,3} + P_{G1} = 536,2 + 500 = 1036,2MVA$$



$$P_{S-G1,2,3-TE1,2,3} = \frac{1}{\frac{1}{P_{S-G1,2,3-TE1,2,3}} + \frac{1}{P_{TSA1}}} = \frac{1}{\frac{1}{1036,2} + \frac{1}{16,7}} = 16,4MVA$$

$$I_{FBT1} = \frac{16,4}{\sqrt{3} \times 0,48} = I_{FBT2} = 19,7kA$$

$$I_{FBT3} = \frac{16,7}{\sqrt{3} \times 0,48} = I_{FBT2} = 20,1kA$$



Teniendo en cuenta que la tensión máxima del sistema de 480V puede ser + 10%, la corriente de cortocircuito para definir la corriente de cortocircuito simétrica de los centros de cargas principales, QG1 y QG2, utilizando el valor más alto, debe aumentarse en un 10%, es decir:

$$I_{FBT} = 20,1 \times 1,1 = 22,11kA$$

Se llama la atención sobre la pequeña diferencia entre las corrientes de cortocircuito calculadas para el sistema de 480V, lo que a menudo justifica considerar la potencia de cortocircuito de la fuente como infinita.

5.3.4 - Conclusión

Para los servicios auxiliares eléctricos de media y baja tensión, las corrientes de cortocircuito deben ser, 50kA para el sistema de media tensión y 25kA para los cuadros eléctricos de baja tensión, QG1 y QG2.

5.4 - Alimentadores

La definición de los alimentadores es una tarea que requiere cierto cuidado para cumplir con todos los requisitos de las normas y necesidades de la instalación.

En nuevos proyectos, las condiciones de instalación de los cables y sus trayectos no se pueden definir claramente, lo que solo ocurre durante el detalle de las instalaciones. Por lo tanto, para dimensionar los cables correctamente, se debe tener cuidado con las premisas adoptados, que a menudo, incluso debido a las recomendaciones de los fabricantes de los sistemas, conducen al sobredimensionamiento de los cables.

Aunque el aislamiento de los cables soporta temperaturas de 70°C, 90°C o 105°C, lo que causaría graves daños si entraran en contacto con el cuerpo humano, difícilmente se encuentran instalaciones en las que no se puedan tocar los cables, lo que demuestra que, la mayoría de las veces, dimensionamos los cables muy por encima de lo necesario. Esto se debe a que las condiciones más severas, consideradas en el dimensionamiento de cada circuito no ocurren continuamente y, la simultaneidad de estas condiciones en los diversos circuitos involucrados, no se considera ni verifica. Sin embargo, es necesario reconocer que la definición previa de las condiciones de instalación de los cables no es una tarea fácil de realizar, especialmente para convencer al cliente de su aplicabilidad.

Siempre que sea posible, se deben elegir cables con una temperatura de funcionamiento más alta, es decir, en lugar de elegir cables aislados de PVC, elija cables aislados EPR / XLPE. El costo de los cables de cobre es casi el mismo, pero los cables aislados EPR / XLPE soportan corrientes más altas en aproximadamente un 30%, además de soportar temperaturas de 250°C durante cortocircuitos.

La capacidad de conducción de los cables depende del material del cable, del tipo de aislamiento, de la temperatura ambiente, del tipo de instalación y el factor de agrupación. Sin embargo, estas condiciones no serán objeto de este informativo, ya que las condiciones de instalación son muy variadas y las normas las detallan todas. El problema radica en la correcta valoración de las necesidades reales de la instalación, definición de los circuitos activos y los factores de agrupación. Lo que se observa es el sobredimensionamiento de los cables debido a las dificultades de predecir, al inicio del proyecto, las condiciones de instalación de los cables al final de la ejecución de la obra, cuando ya no es posible cambiar la sección de los cables elegidos. Cuando el trabajo está terminado, solo se puede verificar su corrección y, cuando sea necesario, hacer un cálculo más preciso con las condiciones reales.

Según los datos de carga, se deben elegir cables que cumplan simultáneamente con los límites de capacidad, conducción de corriente, caída de tensión y cortocircuito.

5.4.1 - Capacidad de Conducción de Corriente

Para la elección de los conductores por la capacidad de conducción de corriente, se arbitraron los siguientes supuestos:

- Los alimentadores de motores serán calculados para 125% de la corriente nominal, según lo recomendado por el NEC (Código Eléctrico Nacional). Esta recomendación es compatible con las condiciones normalmente encontradas porque, como la potencia de los motores asíncronos se considera constante, las corrientes aumentan cuando las tensiones caen y todos los motores suelen tener un factor de servicio superior a 1.0.
- Los alimentadores de las demás cargas fueron dimensionados para el 115% de la corriente nominal.

El factor de corrección de la temperatura ambiente consideró la temperatura ambiente de 40°C y la del suelo 25°C.

Para simplificar los cálculos, todos los cables dentro de la Casa de Máquinas de la planta se consideraron instalados en lechos para cables, con un factor de agrupación igual a 0,7; los cables externos a la Casa de Máquinas se consideraron instalados en conductos embutidos en mampostería, con un factor de agrupación igual a 0,8.

Las capacidades de conducción de corriente para cables de cobre aislados EPR/XLPE, corregidas para temperatura ambiente de 40°C (Factor de Temperatura=0.91), temperatura del suelo 20°C (Factor de Temperatura =1.00), instaladas en la Casa de Máquinas (Factor de Corrección de agrupamiento=0.8), o fuera de ella (Factor de Corrección de agrupamiento=0.9), se indican en las siguientes tablas:

Capacidades de Corriente (A)				
Local	Casa de Maquinas		Otros Locales	
Instalación	En bandejas		En electroductos	
Sección Nominal	Cables tripolares	Cables unipolares en trifólio	Cables tripolares	Cables unipolares en trifólio
2,5	23		23	
4	31		32	
6	39		40	
10	55		54	
16	73		72	
25	92		95	
35	115		115	
50		151		158
70		195		200
95		239		242
120		279		281
150		323		322
185		371		367
240		442		433

La sección del cable, cuya capacidad de conducción de corriente es superior a la corriente que cumple con las condiciones de carga, fue elegida como la adecuada para cumplir con la condición de capacidad de conducción corriente.

5.4.1.1. Transformadores de Servicios Auxiliares

La alimentación de los centros de carga principales (QG1 y QG2) debe realizarse con cables o barras dimensionados para el 115% de la corriente nominal del transformador de servicios auxiliares, es decir:

$$I_{GE} = 1,15 \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0,48} = 1383A$$

Si con barras, la corriente nominal estandarizada será de 1600A. Si con cables, se deben utilizar 4 cables por fase, de 185mm², que soportan 1.484A.

5.4.1.2. Grupo Electrógeno Diésel de Emergencia

Los alimentadores de los centros de carga principales, QG1 y QG2, procedentes del grupo electrógeno diésel de emergencia, fueron dimensionados para el 115% de la corriente nominal del grupo, es decir, para:

$$I_{GE} = 1,15 \frac{360}{\sqrt{3} \times 0,48} = 498A$$

La sección mínima del cable que soporta esta corriente es de 2 cables de 120mm² por fase, que soportan 558A.

El hecho de que la potencia real del alternador sea de 605kVA no implica que el alimentador deba ser dimensionado para esta potencia, ya que la potencia nominal del grupo se consideró de 360kVA. Se eligió el alternador de 605kVA porque tiene la reactancia transitoria equivalente a la requerida, y no implica que el grupo sea de 605kVA, ya que el motor diésel no necesariamente debe cumplir con la potencia nominal del alternador real. Sin embargo, debido a todas las variables involucradas, el personal de operación de la

planta, conociendo los datos reales del equipo, podrá aprovechar mejor la capacidad total del grupo.

El uso de grupos híbridos, con la información real de los componentes, evita que el proveedor del grupo coloque una placa en el alternador con los datos equivalentes en lugar de los reales. Por ejemplo, en lugar de indicar que el alternador es de 605kVA con reactancia transitoria de 11.60%, informar que el alternador es de 360kVA con reactancia transitoria de 6.90%, que es menor que el mínimo calculado requerido, 8.7%.

Si consideramos que el alternador puede proporcionar el 110% de la potencia nominal, durante 1 hora cada 12 horas de funcionamiento, los cables seleccionados seguirían cumpliendo esta condición, ya que la corriente soportada por los dos cables sería 558A (2 x 279A) superior al 110% de la corriente del alternador 548A (1,1 x 498A).

5.4.1.3. Centros de Cargas Principales

Los datos de los centros de carga principales (QG1 y QG2), que alimentan todos los centros de carga de la planta, considerando los datos de las cargas estimadas del informativo técnico IT.EL.SA.CA.02 Transformadores de Potencia y Grupos Electrógenos Diésel de Emergencia – Dimensionamiento, se enumeran en la siguiente tabla:

Centro de Carga	l(m)	Carga Total (kVA)	Corriente de la Carga (A)	Corriente Mínima del Cable (A)	Sección (mm²)
CCU1	30	200	241	277	120
CCU2	50	200	241	277	120
CCU3	70	200	241	277	120
CCG	30	400	481	553	2x120
CCTA	80	55	66	76	25
CCVT	150	45	54	62	16
CCSE	150	30	36	41	10

5.4.1.4. Centros de Cargas

Los datos de dimensionamiento, de los centros de carga que alimentan todas las cargas de la planta, se enumeran en las siguientes tablas:

CARGAS DE LOS CCU's	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	2,5
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	2,5
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	4
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5
Resistencias de Calefacción del Generador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	2,5
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5
Cubículo de Excitación del Generador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	2,5
Auxiliares de los Transformadores de Elevadores	30 kVA	ATE	50	40	320	50	10
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5

CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)
Bombas de Drenaje	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Nota 1	120	50
Sistema de Aire Acondicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10
Compresores de Aire de Servicio	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4
Sistema de Telecomunicaciones	10 kVA	TELE	50	12	-	14	2,5
Cargadores de Baterías	15 kVA	CBT	50	21	-	24	4
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	2,5
Ascensor de Personas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	2,5
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5
Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5
Bombas de Agotamiento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10
Bombas Contra Incendios	50 cv	MBI	30	65	520	81	25
Puente Grúa de la Casa de Máquinas	75 cv	PRCF	50	96	Nota 2	120	50
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	10
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	25
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante	30 kVA	SMTOL	80	36	320	41	10
Pórtico Rodante Aguas Abajo	15 kVA	PRJ	50	18	Nota 2	21	2,5

Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.

Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

CARGAS DEL CCTA	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	2,5
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	10
Pórtico Rodante Aguas Arriba	20 cv	PRTA	50	27	Nota 1	31	4
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4

Nota 1- El pórtico rodante es accionados po un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

CARGAS DEL CCVT	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	2,5
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	10
Pórtico Rodante del Vertedero	15 cv	PRVT	50	21	Nota 1	24	4
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5

Nota 1- El pórtico rodante es accionados po un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

CARGAS DEL CCSE	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	2,5
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	10
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	2,5
Nota 1- Se consideró que del conjunto de interruptores-seccionadores y motores de compresores de disyuntores, solo opera un motor a la vez.							

5.4.2 - Caídas de Tensión

Utilizando las planillas de cálculo de los documentos de referencia se puede calcular:

- La tensión en la carga, cuando se conoce el valor de la tensión en la fuente las informaciones de las cargas y cables utilizados. Ver planilla de cálculo PL.EL.SA.CA.04 - Alimentadores - Cálculo de la Tensión en la Carga.
- La tensión requerida en la fuente para que la tensión en la carga sea un valor predeterminado, cuando se conozcan las informaciones de las cargas y cables utilizados. Ver planilla de cálculo PL.EL.SA.CA.05 - Alimentadores - Cálculo de la Tensión en la Fuente.

Las planillas de cálculo mencionadas anteriormente fueron elaboradas con base en el informativo técnico TE.EL.SA.CA.04 - Alimentadores - Cálculo de la Tensión en la Carga y en la Fuente.

5.4.2.1. Premisas

Para la elección de conductores por caída de tensión, se arbitraron las siguientes premisas:

- Para los centros de carga de las unidades (CCU1, CCU2 y CCU3) las caídas de tensión se calcularon considerando el arranque del motor más grande, 100hp, que es el motor de la bomba de aceite del regulador de velocidad de la turbina.
- Para el centro de carga general (GCC) la caída de tensión se calculó considerando el arranque del motor más grande, 50hp, que es el motor de la bomba contra incendios.
- Para las cargas y centros de carga de la toma de agua (CCTA), aliviadero (CCVT) y Subestación (CCSE) sólo se calculó la caída de tensión en régimen permanente.

Las premisas anteriores fueron consideradas porque no se definió la tensión en los terminales de los transformadores de servicios auxiliares para cada carga y, consecuentemente, la tensión en los centros de cargas principales (QG1 y QG2). De esta manera, solo los circuitos más críticos estarán completamente definidos y los demás deberían estar sujetos a un control, pero no se definirán completamente en este informativo.

Los cuadros QG1 y QG2 son los centros de cargas encargados de distribuir la energía a los sistemas auxiliares eléctricos de la planta. Como la distancia entre los transformadores de servicio auxiliar (TSA1, TSA2 y TSA3) y los centros de cargas principales (QG1 y QG2) es muy corta, no se tendrá en cuenta la caída de tensión en estas conexiones. Por lo tanto, las tensiones en los centros de cargas principales, QG1 y QG2, se considerarán iguales a las tensiones en los terminales de los transformadores de servicios auxiliares, para las mismas condiciones de carga.

Las longitudes de los cables se arbitraron teniendo en cuenta la disposición de equipos definida al comienzo de este informativo.

Como la derivación elegida del devanado primario del transformador corresponde a la tensión nominal, es decir, 13.800V, la tensión máxima del secundario de los transformadores en vacío será de 504V y en ningún caso se superará la tensión máxima de las cargas. Por lo tanto, solo el comportamiento de aquellos con las tensiones mínimas y precarias del primario del transformador será objeto de análisis.

Se consideraron las condiciones de uno o dos transformadores que alimentan todas las cargas.

Los problemas derivados de las bajas tensiones deben esperarse y evitarse, pero no deben ser un impedimento o razón para considerar inviables las instalaciones. Tenga en cuenta que, incluso en instalaciones residenciales, comerciales y de pequeñas empresas, pueden ocurrir problemas de tensiones bajas, porque según la tabla 4 de ANEEL, las tensiones pueden variar en los mismos rangos que los sistemas industriales:

Tabela 4 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231) / (117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233) /$ $(110 \leq TL < 117 \text{ ou } 133 < TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Según la tabla, la tensión apropiada puede variar entre 92 y 105% de la tensión nominal. La tensión precaria puede alcanzar el 87% de la tensión nominal, inferior al 90% del sistema de 13.800V.

5.4.2.2. Resistencia y Reactancia de los Cables

Para los cables aislados EPR/XLPE, las resistencias y reactancias en Ω/km serán las indicadas en la siguiente tabla, calculadas según el informativo TE.EL.SA.CA.05 Alimentadores - Criterios para el Dimensionamiento:

Datos de los Cables		
S (mm²)	R₉₀	X_{60Hz}
2,5	8,794	0,096
4	5,496	0,096
6	3,664	0,096
10	2,198	0,096
16	1,374	0,096
25	0,879	0,096
35	0,628	0,096
50	0,440	0,096
70	0,314	0,096
95	0,231	0,096
120	0,183	0,096
150	0,147	0,096
185	0,119	0,096
240	0,092	0,096

En este informativo se consideró que los cables operan con la temperatura nominal de 90°C, es decir, no se realizarán simulaciones considerando las variaciones de las resistencias en función de la corriente real de la carga y capacidad del conductor a la temperatura nominal. Esta simulación solo debe hacerse cuando el profesional considere necesario hacer alguna evaluación crítica de funcionamiento.

5.4.2.3. Estimativa Rápida

Antes de realizar los cálculos para dimensionar los cables por la caída de tensión, haremos un cálculo rápido para verificar los valores aproximados de tensión que se deben obtener en cada tramo, simulando los valores para la condición más severa que son los motores de 100hp.

Como la posición de los centros de carga de las unidades, en relación con las cargas, es la misma, se calculará cuál será la tensión mínima requerida en la fuente para que la tensión en el motor cumpla con el valor mínimo necesario, considerando el arranque del motor de 100hp, con la sección del cable dimensionada por el criterio de conducción de corriente, que es un cable de 70mm².

Para que, durante el arranque del motor de 100cv, la tensión mínima en los terminales del motor sea de 391 V (460 V, -15 %), calculando las tensiones en las fuentes con la ayuda de la planilla de cálculo de PL.EL.SA.CA.05 (Alimentadores - Cálculo de la Tensión en la Fuente) y utilizando los datos de los cables dimensionados por el criterio de conducción de corriente, la tensión en los centros de carga de las unidades (CCU1/2/3), para alimentador con 1 cable/fase de 70mm², debe ser ≥401,36V:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	<i>I</i>	Longitud del Circuito (km)	0,035
	<i>R_a</i>	Resistencia del Cable (Ω/km)	0,314
	<i>X_a</i>	Reactancia del Cable (Ω/km)	0,096
	<i>n</i>	Número de Cables por Fase	1
	<i>V_{CT}</i>	Tensión en la Carga (V)	391
Datos de las Cargas	<i>P_{CKn}</i>	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	
	<i>V_{CKn}</i>	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	
	<i>FP_{CK}</i>	Factor de Potencia de la Carga Constante	
	<i>P_{CVn}</i>	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	<i>V_{CVn}</i>	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	<i>FP_{CV}</i>	Factor de Potencia de la Carga Variable	
	<i>V_{MPn}</i>	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	460
	<i>I_{MPn}</i>	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	1054
	<i>FP_{MP}</i>	Factor de Potencia del(de los) Motor(es) al Arranque	0,3

<i>V_F</i>	Tensión en la fuente considerando la tensión definida en la carga	401,36
-----------------------------	---	--------

Adoptando los mismos criterios para la bomba contra incendios, alimentada por el centro de carga general CCG, de modo que, durante el arranque del motor de 50 CV, la tensión mínima en los terminales del motor sea de 391 V (460 V, -15 %), la tensión en el centro de carga general (CCG) para el alimentador con 1 cable / fase de 25 mm², debe ser ≥ 399.59V:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	<i>I</i>	Longitud del Circuito (km)	0,03
	<i>R_a</i>	Resistencia del Cable (Ω/km)	0,879
	<i>X_a</i>	Reactancia del Cable (Ω/km)	0,096
	<i>n</i>	Número de Cables por Fase	1
	<i>V_{CT}</i>	Tensión en la Carga (V)	391
Datos de las Cargas	<i>P_{CKn}</i>	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	
	<i>V_{CKn}</i>	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	
	<i>FP_{CK}</i>	Factor de Potencia de la Carga Constante	
	<i>P_{CVn}</i>	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	<i>V_{CVn}</i>	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	<i>FP_{CV}</i>	Factor de Potencia de la Carga Variable	
	<i>V_{MPn}</i>	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	460
	<i>I_{MPn}</i>	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	520
	<i>FP_{MP}</i>	Factor de Potencia del(de los) Motor(es) al Arranque	0,3

<i>V_F</i>	Tensión en la fuente considerando la tensión definida en la carga	399,59
-----------------------------	---	--------

Para que la tensión en CCU1 sea de 401.36V, durante el arranque del motor de 100hp, la tensión en QG1/QG2, para el alimentador con 1 cable / fase de 120mm², debe ser 409.87V:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	<i>I</i>	Longitud del Circuito (km)	0,03
	<i>R_a</i>	Resistencia del Cable (Ω/km)	0,183
	<i>X_a</i>	Reactancia del Cable (Ω/km)	0,096
	<i>n</i>	Número de Cables por Fase	1
	<i>V_{CT}</i>	Tensión en la Carga (V)	401,36
Datos de las Cargas	<i>P_{CKn}</i>	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	80
	<i>V_{CKn}</i>	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	<i>FP_{CK}</i>	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	<i>P_{CVn}</i>	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	20
	<i>V_{CVn}</i>	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	<i>FP_{CV}</i>	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	<i>V_{MPn}</i>	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	460
	<i>I_{MPn}</i>	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	1054
	<i>FP_{MP}</i>	Factor de Potencia del(de los) Motor(es) al Arranque	0,3

<i>V_F</i>	Tensión en la fuente considerando la tensión definida en la carga	409,87
-----------------------------	---	--------

La caída de tensión, desde los terminales secundarios del transformador hasta los terminales del motor, será de 18,87 V (409,87-391,00 V), es decir, 4,10% de 460 V, o 3,93 % de 480 V. Por lo tanto, los valores estimados son aceptables, dado que la tensión mínima en el secundario del transformador, durante el arranque del motor de 100hp, con la tensión primaria en el valor mínimo de tensión adecuada (12.834V), será de 409,33V, aproximadamente igual a la tensión estimada.

Para que la tensión en el CCG sea de 399.59V, durante el arranque del motor de 50hp, la tensión en el QG1/QG2, para el alimentador con 2 cables / fase de 120mm², debe ser 403,78V:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	<i>I</i>	Longitud del Circuito (km)	0,03
	<i>R_a</i>	Resistencia del Cable (Ω/km)	0,183
	<i>X_a</i>	Reactancia del Cable (Ω/km)	0,096
	<i>n</i>	Número de Cables por Fase	2
	<i>V_{CT}</i>	Tensión en la Carga (V)	399,59
Datos de las Cargas	<i>P_{CKn}</i>	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	250
	<i>V_{CKn}</i>	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	<i>FP_{CK}</i>	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	<i>P_{CVn}</i>	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	100
	<i>V_{CVn}</i>	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	<i>FP_{CV}</i>	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	<i>V_{MPn}</i>	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	460
	<i>I_{MPn}</i>	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	520
	<i>FP_{MP}</i>	Factor de Potencia del(de los) Motor(es) al Arranque	0,3

<i>V_F</i>	Tensión en la fuente considerando la tensión definida en la carga	403,78
-----------------------------	---	--------

Los cálculos muestran que la situación es más crítica para los centros de carga de las unidades.

Aunque la caída de tensión total, durante el arranque del motor de 100hp, es aproximadamente igual al 4%, si la tensión en el primario del transformador está en el valor del rango precario (<93% del voltaje nominal), no será posible cumplir con los valores mínimos de voltaje definidos en este informativo.

El hecho de que no sea posible cumplir, teóricamente, los valores mínimos de tensión en el equipo, no implica que los problemas de esta subtensión impidan su funcionamiento. Sin embargo, cualquier problema de operación puede evitarse con la adopción de algunas medidas, como el uso de contactores accionados con corriente continua, arrancadores soft start, etc., u otras medidas por parte del personal de operación, como cambiar la derivación del primario del transformador.

Dependiendo de los valores calculados, medidas como el aumento y la potencia nominal de los transformadores y la sección de los alimentadores, pueden reducir los problemas de los valores mínimos de tensión, pero deben estar sujetas a una evaluación técnica y económica, así como contar con la aprobación del Cliente.

5.4.2.4. Grupo Electrógeno Diésel de Emergencia

Teniendo en cuenta la disposición prevista para la casa de máquinas, la longitud del cable, entre el grupo electrógeno diésel de emergencia y los centros de carga principales QG1/QG2, se estimará en 30 m. Por lo tanto, las caídas de tensión en los alimentadores, considerando las mismas cargas del cálculo de la caída de tensión en el grupo electrógeno diésel de emergencia, serán:

En la primera condición, el grupo alimenta una carga inicial constante de 260kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0.85) y carga variable de 50kVA tensión nominal 480V, factor de potencia 0.90), y arranque del motor de 50hp.

Antes de arrancar el motor, suponiendo que la tensión en el alternador se ajuste en 506V y con un alimentador de 2x120mm² por fase, para cada uno de los dos centros de cargas principales, la tensión en QG1 y QG2, será de 504.07V.

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	I	Longitud del Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,183
	X_a	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cables por Fase	2
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	506
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	260
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	50
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FP_{C_V}	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque	

V_{CT}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	504,07
----------------------------	---	--------

Durante el arranque del motor de 50hp, con la carga considerada anteriormente, la tensión en los terminales del alternador del grupo diésel será de 465.91V.

DATOS DEL SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensión Nominal del Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensión de Operación Ajustada en el Alternador (V)	506	
	PG_n	Potencia Nominal del Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reactancia Transitoria Nominal del Alternador (%)	11,6	
Datos de las Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potencia Nominal de la Carga Inicial Constante (kVA)	260
		Vc_{kn}	Tensión Nominal de la Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Factor de Potencia de la Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potencia Nominal de la Carga Inicial Variable (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensión Nominal de la Carga Inicial Variable (V)	480
		FPC_v	Factor de Potencia de la Carga Inicial Variable	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	
		FPC_K	Factor de Potencia de la Carga Constante	
		PC_{vn}	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
		VC_{vn}	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
		FPC_v	Factor de Potencia de la Carga Variable	
		VM_{Pn}	Tensión Nominal del de(los) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	520
		FPM_p	Factor de Potencia del de(los) Motor(es) en el Arranque	0,3

Tensión en los Terminales del Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	465,91
--	--------------	--------

Y la tensión en QG1 y QG2 será de 461.87V.

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	l	Longitud del Circuito (km)	0,03
	Ra	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,183
	Xa	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cables por Fase	2
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	465,91
Datos de las Cargas	PC_{Kn}	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	260
	VC_{Kn}	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FPC_K	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	PC_{vn}	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	50
	VC_{vn}	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FPC_v	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	VM_{Pn}	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	460
	IM_{Pn}	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	520
	FPM_p	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque	0,3

V_{CT}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	461,87
----------	---	--------

Después de arrancar el motor de 50hp, la carga constante pasará de 260kVA a 310kVA y, con la tensión en el alternador estabilizada en 506V, la tensión en QG1 y QG2, considerando los alimentadores de 2 cables de 120mm² por fase, será de 503.76V.

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	I	Longitud del Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,183
	X_a	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cables por Fase	2
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	506
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	310
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	50
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FP_{C_V}	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque	

V_{C_T}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	503,76
-----------------------------	---	--------

En la segunda condición, el grupo alimenta una carga inicial constante de 210kVA (tensión nominal 460V, factor de potencia 0.85) y carga variable de 50kVA (tensión nominal 480V, factor de potencia 0.90), y arranque del motor de 100hp.

Antes de arrancar el motor, la tensión en QG1 y QG2 será de 504.37V.

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	I	Longitud del Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,183
	X_a	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cables por Fase	2
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	506
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	210
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	50
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FP_{C_V}	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque	

V_{C_T}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	504,37
-----------------------------	---	--------

Durante el arranque del motor de 100 CV, con la carga inicial mencionada, la tensión en los terminales del alternador del grupo diésel será de 431.00V.

DATOS DEL SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensión Nominal del Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensión de Operación Ajustada en el Alternador (V)	506	
	PG_n	Potencia Nominal del Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reactancia Transitoria Nominal del Alternador (%)	11,6	
Datos de las Cargas	Inicial	PC_{kn}	Potencia Nominal de la Carga Inicial Constante (kVA)	210
		VC_{kn}	Tensión Nominal de la Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Factor de Potencia de la Carga Inicial Constante	0,85
		PC_{vn}	Potencia Nominal de la Carga Inicial Variable (kVA)	50
		VC_{vn}	Tensión Nominal de la Carga Inicial Variable (V)	480
		FPC_v	Factor de Potencia de la Carga Inicial Variable	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	
		FPC_K	Factor de Potencia de la Carga Constante	
		PC_{vn}	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
		VC_{vn}	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
		FPC_v	Factor de Potencia de la Carga Variable	
		VM_{Pn}	Tensión Nominal del de(los) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	1054
		FPM_p	Factor de Potencia del de(los) Motor(es) en el Arranque	0,3

Tensión en los Terminales del Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	431,00
--	--------------	--------

La tensión en los QG1 e QG2, para la tensión de 431,00V en los terminales del alternador, será de 425.46V.

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	l	Longitud del Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,183
	X_a	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cables por Fase	2
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	431
Datos de las Cargas	PC_{Kn}	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	210
	VC_{Kn}	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FPC_K	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	PC_{vn}	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	50
	VC_{vn}	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FPC_v	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	VM_{Pn}	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	460
	IM_{Pn}	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	1054
	FPM_p	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque	0,3

V_{CT}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	425,46
----------	---	--------

Después de arrancar el motor de 100hp, la carga constante pasará de 210kVA a 310kVA y la tensión en QG1 y QG2 será de 503.76V:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	I	Longitud del Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,183
	X_a	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cables por Fase	2
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	506
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	310
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	50
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FP_{C_V}	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque	

V_{C_T}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	503,76
-----------	---	--------

Las condiciones anteriores se resumen en la siguiente tabla:

Tensiones en los QG1 e QG2 - Fuente: Grupo Electrógeno Diésel de Emergencia				
Cargas				
Inicial		+Arranque	Final	
Constante (kVA)	Variables (kVA)	Motor (cv)	Constante (kVA)	Variables (kVA)
260,00	50,00	50	310,00	50,00
504,07		461,87	503,76	
210,00	50,00	100		
504,37		431,00		

Como las tensiones en el HG1 y QG2 serán las mismas que las del secundario de los transformadores TSA1, TSA2 o TSA3, y las tensiones en los centros de cargas, cuando sean alimentados por el grupo electrógeno diésel, durante el arranque de los motores de 50hp y 100hp serán 461.87V y 431.00V, respectivamente, y son más altas que las tensiones del transformador (419.47/427.83V y 409.29/417.57V), cuando la tensión en el primario es 12,834V, no se realizará el análisis del comportamiento de las cargas por la caída de tensión cuando son alimentadas por el grupo electrógeno diésel.

5.4.2.5. Centros de Cargas

Dependiendo de la elección de la derivación del devanado primario (tap 13800V), la tensión máxima posible en el secundario será de 504V. Por lo tanto, dado que no habrá ningún problema de sobretensión, los cálculos de las caídas de tensión considerarán solo los valores de tensiones más bajas en el primario de los transformadores.

Cuando las caídas de tensión, calculadas con los valores de resistencia y reactancia de los cables y según los criterios de capacidad de conducción actual, no hayan sido las esperadas, se han aumentado las secciones de los cables para mejorar los valores. Las secciones modificadas se resaltan en azul.

Los cálculos se realizaron con la ayuda de la planilla de cálculo PE.EL.SA.CA.04 (Alimentadores - Cálculo de Tensión en la Carga).

En los cálculos de las tensiones de los centros de carga de las unidades (CCU's), se consideró la tensión en los centros de cargas principales (QG1/QG2) con el arranque del motor de 100hp; en los cálculos de las tensiones en el centro de cargas general (CCG), se consideró la tensión en los centros de cargas principales (QG1 / QG2) con el arranque del motor de 50 hp.

Para los cálculos de las tensiones en los centros de carga de la toma de agua (CCTA), aliviadero (CCVT) y subestación (CCSE), sólo se calculó la tensión en régimen permanente.

El valor de tensión 429.94V en los centros de cargas principales (QG1/QG2), corresponde al valor de la tensión en el secundario del transformador, cuando la tensión en el primario es de 12,834V, para la carga máxima de la planta, es decir, una carga constante de 650kVA y una carga variable de 150kVA.

El valor de tensión 415.09V, en los centros de cargas principales (QG1/QG2), corresponde al valor de la tensión en el secundario del transformador, cuando la tensión en el primario es de 12.420V, para la carga máxima de la planta, es decir, una carga constante de 650kVA y una carga variable de 150kVA.

La sección de los alimentadores de los CCTA, CCVT y CCSE se ha aumentado para mantener las tensiones en estos centros de carga en valores aproximadamente iguales a los de los centros de carga de la casa de máquinas.

En las siguientes tablas se indican los datos y resultados de los cálculos de caídas de tensión, desde los centros de cargas principales QG1/QG2 hasta los demás centros de carga, considerando uno o dos transformadores que alimentan toda la carga de la planta, con tensión en la primaria con 12.834V y 12.420V.

Con un transformador que alimenta toda la carga, con 12.834V en el primario:

Valores para Tensión Primaria del Transformador 12.834V							
Centro de Carga	l(m)	Sección (mm ²)	Carga Constante (kVA)	Carga Variable (kVA)	Mayor Motor (cv)	Tensión en QG(V)	Tensión en CC (V)
CCU1	30	150	80	20		432,22	431,05
			80	20	100	409,29	401,54
			180	20		429,94	427,53
CCU2	50	2x95	80	20		432,22	430,84
			80	20	100	409,29	401,36
			180	20		429,94	427,11
CCU3	70	2x240	80	20		432,22	431,22
			80	20	100	409,29	401,58
			180	20		429,94	427,88
CCG	30	2x120	250	100		432,22	429,84
			250	100	50	409,29	405,09
			300	100		429,94	427,19
CCTA	80	95	20	20		Nota	Nota
			20	20	15	Nota	Nota
			35	20		429,94	427,58
CCVT	150	120	17,5	20		Nota	Nota
			17,5	20	7,5	Nota	Nota
			25	20		429,94	426,98
CCSE	150	70	5	20		Nota	Nota
			5	20	5	Nota	Nota
			10	20		429,94	427,02
Nota: valores no calculados							

Con dos transformadores que alimentan toda la carga, con 12.834V en el primario:

Valores para Tensión Primaria del Transformador 12.834V							
Centro de Carga	l(m)	Sección (mm ²)	Carga Constante (kVA)	Carga Variable (kVA)	Maíor Motor (cv)	Tensión en QG(V)	Tensión en CC (V)
CCU1	30	150	80	20		440,53	439,37
			80	20	100	417,57	409,70
			180	20		438,38	436,01
CCU2	50	2x95	80	20		440,53	439,17
			80	20	100	417,57	409,53
			180	20		438,38	435,59
CCU3	70	2x240	80	20		440,53	439,54
			80	20	100	417,57	409,74
			180	20		438,38	436,36
CCG	30	2x120	250	100		440,53	438,18
			250	100	50	417,57	413,36
			300	100		438,38	435,67
CCTA	80	95	20	20		Nota	Nota
			20	20	15	Nota	Nota
			35	20		438,38	436,04
CCVT	150	120	17,5	20		Nota	Nota
			17,5	20	7,5	Nota	Nota
			25	20		438,38	435,43
CCSE	150	70	5	20		Nota	Nota
			5	20	5	Nota	Nota
			10	20		438,38	435,45
Nota: valores no calculados							

Con un transformador que alimenta toda la carga, con 12.420V en el primario:

Valores para Tensión Primaria del Transformador 12.420V							
Centro de Carga	l(m)	Sección (mm ²)	Tensión en QG(V)	Tensión en CC (V)	Biggest Motor (cv)	QG Voltage	CC Voltage (V)
CCU1	30	150	80	20		417,46	416,26
			80	20	100	395,26	387,70
			180	20		415,09	412,61
CCU2	50	2x95	80	20		417,46	416,05
			80	20	100	395,26	387,52
			180	20		415,09	412,17
CCU3	70	2x240	80	20		417,46	416,44
			80	20	100	395,26	387,75
			180	20		415,09	412,97
CCG	30	2x120	250	100		417,46	415,04
			250	100	50	395,26	391,07
			300	100		415,09	412,29
CCTA	80	95	20	20		Nota	Nota
			20	20	15	Nota	Nota
			35	20		415,09	412,75
CCVT	150	120	17,5	20		Nota	Nota
			17,5	20	7,5	Nota	Nota
			25	20		415,09	413,11
CCSE	150	70	5	20		Nota	Nota
			5	20	5	Nota	Nota
			10	20		415,09	412,19
Nota: Valores no calculados							

Con dos transformadores que alimentan toda la carga, con 12.420V en el primario:

Valores para Tensión Primaria del Transformador 12.420V							
Centro de Carga	l(m)	Sección (mm ²)	Tensión en QG(V)	Tensión en CC (V)	Mayor Motor (cv)	Tensão no QG(V)	Tensão no CC (V)
CCU1	30	150	80	20		426,00	424,82
			80	20	100	403,79	396,11
			180	20		423,78	421,34
CCU2	50	2x95	80	20		426,00	424,61
			80	20	100	403,79	395,93
			180	20		423,78	420,91
CCU3	70	2x240	80	20		426,00	424,99
			80	20	100	403,79	396,16
			180	20		423,78	421,70
CCG	30	2x120	250	100		426,00	423,91
			250	100	50	403,79	399,60
			300	100		423,78	421,01
CCTA	80	95	20	20		Nota	Nota
			20	20	15	Nota	Nota
			35	20		423,78	421,41
CCVT	150	120	17,5	20		Nota	Nota
			17,5	20	7,5	Nota	Nota
			25	20		423,80	420,83
CCSE	150	70	5	20		Nota	Nota
			5	20	5	Nota	Nota
			10	20		423,78	420,87
Nota: valores não calculados							

Nota: Los valores de las tensiones en los centros de carga CCTA, CCVT y CCSE solo se calcularon para el régimen de operación permanente porque los cálculos correspondientes de caída de tensión en los transformadores no se realizaron para las condiciones de carga que deberían considerarse. Sin embargo, como los valores de tensión para el régimen permanente son prácticamente los mismos que los centros de carga de la casa de máquinas, que tienen las cargas más pesadas, no se deben encontrar problemas.

5.4.2.6. Centros de Cargas

Al igual que en los centros de cargas principales (QG1/QG2), en función de la selección de la derivación del devanado primario (tap 13800V), la tensión máxima posible en el secundario será de 504V. Por lo tanto, los cálculos de caídas de tensión consideraron solo los valores de tensión más bajos en los centros de cargas principales (QG1/QG2), que ocurre para las tensiones primarias de 12,834V y 12,420V, con un solo transformador que alimenta toda la carga de la instalación.

Cuando las caídas de tensión calculadas con los valores de resistencia y reactancia de los cables, calculados según los criterios de capacidad de conducción de corriente no fueron como se esperaba, las secciones de los cables se incrementaron para mejorar los valores. Las secciones modificadas se resaltan en azul.

Los cálculos se realizaron con la ayuda de la planilla de cálculo PE.EL.SA.CA.04 (Alimentadores - Cálculo de Tensión en la Carga). Para los cálculos de las tensiones en las cargas, se consideró que 1hp=1cv=1kVA con un factor de potencia de 0,85 para todas las cargas, excepto para las resistencias de calefacción de los generadores, donde se consideró un factor de potencia igual a 1.

En los cálculos de las tensiones en los centros de carga de las unidades (CCU), se consideró la tensión en los centros de cargas principales (QG1/QG2) con el motor de 100hp arrancando y, en los cálculos de las tensiones en el centro de cargas general (CCG), se consideró la tensión en los centros de cargas principales (QG1/QG2) con el arranque del motor de 50hp.

Para los cálculos de las tensiones en los centros de carga de la toma de agua (CCTA), aliviadero (CCVT) y subestación (CCSE), sólo se calculó la tensión en régimen permanente. Los valores de tensión en todos los centros de carga (CC), para las alternativas consideradas, se obtuvieron a partir de los cálculos ya realizados para las tensiones en los centros de cargas principales (QG1/QG2).

En las siguientes tablas se indican los datos y resultados de los cálculos de las caídas de tensión, desde los centros de carga hasta las cargas, considerando uno o dos transformadores que alimentan toda la carga de la planta.

Con un transformador que alimenta toda la carga y 12.834V en el primario:

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DE LOS CCU'S	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCU2	Carga
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70	401,36	391,00
								427,11	424,49
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	4	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,32
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	4	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,18
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	6	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,31
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,94
Resistencias de Calefacción del Generador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	6	427,11	424,58
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5	Nota 1	Nota 1
								427,11	426,80
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								427,11	426,18
Cubículo de Excitación del Generador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	4	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,32
Auxiliares de los Transformadores de Elevadores	30 kVA	ATE	50	40	320	50	25	427,11	424,29
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								427,11	426,18

Nota 1 - Valores no calculados.

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCG	Carga
Bombas de Drenaje	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6	Nota 3	Nota 3
								427,19	422,69
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								427,19	423,10
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Nota 1	120	50	427,19	423,43
Sistema de Aire Acondicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								427,19	420,32
Compresores de Aire de Servicio	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4	Nota 3	Nota 3
								427,19	422,15
Sistema de Telecomunicaciones	10 kVA	TELE	50	12	-	14	6	427,19	423,45
Cargadores de Baterías	15 kVA	CBT	50	21	-	24	10	427,19	423,79
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	10	427,19	423,56
Ascensor de Personas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	4	Nota 3	Nota 3
								427,19	423,00
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5	427,19	426,13

Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.

Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

Nota 3- Valores no calculados.

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCG	Carga
Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5	Nota 3 427,19	Nota 3 422,91
Bombas de Agotamiento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10	Nota 3 427,19	Nota 3 423,10
Bombas Contra Incendios	50 cv	MBI	30	65	520	81	25	405,09 427,19	396,38 424,37
Puente Grúa de la Casa de Máquinas	75 cv	PRCF	50	96	Nota 2	120	50	427,19	423,43
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	25	427,19	422,65
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	50	427,19	422,36
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante	30 kVA	SMTOL	80	36	320	41	25	427,19	422,65
Pórtico Rodante Aguas Abajo	15 kVA	PRJ	50	18	Nota 2	21	10	427,19	423,79

Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.

Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

Nota 3- Valores no calculados.

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCTA	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCTA	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	4	427,58	425,36
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	25	427,58	398,83
Pórtico Rodante Aguas Arriba	20 cv	PRTA	50	27	Nota 1	31	10	427,58	423,04
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4	Nota 2 427,58	Nota 2 424,24

Nota 1- El pórtico rodante es accionado por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

Nota 2- Valores no calculados

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCVT	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCVT	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	4	426,98	424,75
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	25	426,98	424,16
Pórtico Rodante del Vertedero	15 cv	PRVT	50	21	Nota 1	24	10	426,98	423,58
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5	Nota 2 426,98	Nota 2 424,32

Nota 1- O pórtico rodante é accionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.

Nota 2- Valores no calculados

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCSE	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCSE	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	6	427,07	425,58
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	25	427,02	424,25
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	6	Nota 1 427,07	Nota 1 424,08

Nota 1- Valores no calculados

Nota 1- Se consideró que del conjunto de interruptores-seccionadores y motores de compresores de disyuntores, solo opera un motor a la vez.

Con dos transformadores que alimentan toda la carga y 12.834V en el primario:

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DE LOS CCU'S	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCU2	Carga
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70	409,53	398,96
								435,59	433,02
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	4	Nota 1	Nota 1
								435,59	432,86
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	4	Nota 1	Nota 1
								435,59	432,72
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	6	Nota 1	Nota 1
								435,59	432,85
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5	Nota 1	Nota 1
								435,59	433,46
Resistencias de Calefacción del Generador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	6	435,59	433,01
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5	Nota 1	Nota 1
								435,59	435,29
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								435,59	434,68
Cubículo de Excitación del Generador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	4	Nota 1	Nota 1
								435,59	432,86
Auxiliares de los Transformadores de Elevadores	30 kVA	ATE	50	40	320	50	25	435,59	432,82
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								435,59	434,68
Nota 1 - Valores no calculados.									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCG	Carga
Bombas de Drenaje	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6	Nota 3	Nota 3
								435,67	431,26
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								435,67	431,66
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Nota 1	120	50	435,67	431,98
Sistema de Aire Acondicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								435,67	428,94
Compresores de Aire de Servicio	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4	Nota 3	Nota 3
								435,67	430,73
Sistema de Telecomunicaciones	10 kVA	TELE	50	12	-	14	6	435,67	432,00
Cargadores de Baterías	15 kVA	CBT	50	21	-	24	10	Nota 3	432,34
								435,67	
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	10	435,67	432,11
Ascensor de Personas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	4	Nota 3	Nota 3
								435,67	431,56
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5	435,67	434,63
Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5	Nota 3	Nota 3
								435,67	431,48
Bombas de Agotamiento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								435,67	431,66
Bombas Contra Incendios	50 cv	MBI	30	65	520	81	25	413,36	404,47
								435,67	432,90
Puente Grúa de la Casa de Máquinas	75 cv	PROF	50	96	Nota 2	120	50	435,67	431,98

Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.

Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

Nota 3- Valores no calculados.

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCG	Carga
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	25	435,67	431,23
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	50	435,67	430,94
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante	30 kVA	SMTOL	80	36	320	41	25	435,67	431,23
Pórtico Rodante Aguas Abajo	15 kVA	PRJ	50	18	Nota 2	21	10	435,67	432,34
Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.									
Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.									
Nota 3- Valores no calculados.									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCTA	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCTA	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	4	436,04	433,86
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	25	436,04	407,94
Pórtico Rodante Aguas Arriba	20 cv	PRTA	50	27	Nota 1	31	10	436,04	431,59
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4	Nota 2	Nota 2
								436,04	432,76
Nota 1- El pórtico rodante es accionado por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.									
Nota 2- Valores no calculados									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCVT	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCTV	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	4	435,43	433,25
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	25	435,43	432,66
Pórtico Rodante del Vertedero	15 cv	PRVT	50	21	Nota 1	24	10	435,43	432,10
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5	Nota 2	Nota 2
								435,43	432,82
Nota 1- El pórtico rodante es accionado por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.									
Nota 2- Valores no calculados									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.834V									
CARGAS DEL CCSE	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCSE	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	6	435,45	433,99
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	25	435,45	432,68
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	6	Nota 1	Nota 1
								435,45	432,52
Nota 1- Valores no calculados									
Nota 1- Se consideró que del conjunto de interruptores-seccionadores y motores de compresores de disyuntores, solo opera un motor a la vez.									

Con un transformador que alimenta toda la carga y 12.420V en el primario:

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DE LOS CCU'S	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCU2	Carga
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70	387,52	377,52
								412,17	409,46
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	4	Nota 1	Nota 1
								412,17	409,28
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	4	Nota 1	Nota 1
								412,17	409,14
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	6	Nota 1	Nota 1
								412,17	409,27
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5	Nota 1	Nota 1
								412,17	409,92
Resistencias de Calefacción del Generador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	6	412,17	409,73
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5	Nota 1	Nota 1
								412,17	411,85
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								412,17	411,21
Cubículo de Excitación del Generador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	4	Nota 1	Nota 1
								412,17	409,28
Auxiliares de los Transformadores de Elevadores	30 kVA	ATE	50	40	320	50	25	412,17	409,24
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								412,17	411,21
Nota 1 - Valores no calculados.									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCG	Carga
Bombas de Drenaje	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6	Nota 3	Nota 3
								412,29	407,62
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								412,29	408,05
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Nota 1	120	50	412,29	408,39
Sistema de Aire Acondicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								412,29	405,17
Compresores de Aire de Servicio	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4	Nota 3	Nota 3
								412,29	407,06
Sistema de Telecomunicaciones	10 kVA	TELE	50	12	-	14	6	412,29	408,41
Cargadores de Baterías	15 kVA	CBT	50	21	-	24	10	412,29	408,76
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIA CF	80	12	-	14	10	412,29	408,53
Ascensor de Personas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	4	Nota 3	Nota 3
								412,29	407,94
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5	412,29	411,19
Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5	Nota 3	Nota 3
								412,29	407,85
Bombas de Agotamiento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								412,29	408,05
Bombas Contra Incendios	50 cv	MBI	30	65	520	81	25	400,88	392,26
								412,29	409,36
Puente Grúa de la Casa de Máquinas	75 cv	PRCF	50	96	Nota 2	120	50	412,29	408,39
Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.									
Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.									
Nota 3- Valores no calculados.									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCG	Carga
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	25	412,29	407,59
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	50	412,29	407,28
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante	30 kVA	SMTOL	80	36	320	41	25	412,29	407,59
Pórtico Rodante Aguas Abajo	15 kVA	PRJ	50	18	Nota 2	21	10	412,29	408,76
Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.									
Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.									
Nota 3- Valores no calculados.									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCTA	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCTA	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	4	412,75	410,45
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	25	412,75	382,76
Pórtico Rodante Aguas Arriba	20 cv	PRTA	50	27	Nota 1	31	10	412,75	408,04
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4	Nota 2	Nota 2
								412,75	409,28
Nota 1- El pórtico rodante es accionado por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.									
Nota 2- Valores no calculados									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCVT	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/1TSA	
								CCVT	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	4	413,11	410,81
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	25	413,11	410,19
Pórtico Rodante del Vertedero	15 cv	PRVT	50	21	Nota 1	24	10	413,11	409,59
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5	Nota 2	Nota 2
								413,11	410,36
Nota 1- El pórtico rodante es accionado por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.									
Nota 2- Valores no calculados									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCSE	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCSE	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	6	412,19	410,65
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	25	412,19	409,26
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	6	Nota 1	Nota 1
								412,19	409,09
Nota 1- Valores no calculados									
Nota 1- Se consideró que del conjunto de interruptores-seccionadores y motores de compresores de disyuntores, solo opera un motor a la vez.									

Con dos transformadores que alimentan toda la carga y 12.420V en el primario:

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DE LOS CCU'S	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCU2	Carga
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70	395,93 420,91	385,71 418,25
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	4	Nota 1 420,91	Nota 1 418,08
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	4	Nota 1 420,91	Nota 1 417,94
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	6	Nota 1 420,91	Nota 1 418,07
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5	Nota 1 420,91	Nota 1 418,70
Resistencias de Calefacción del Generador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	6	420,91	418,41
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5	Nota 1 420,91	Nota 1 420,60
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1 420,91	Nota 1 419,97
Cubículo de Excitación del Generador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	4	Nota 1 420,91	Nota 1 418,08
Auxiliares de los Transformadores de Elevadores	30 kVA	ATE	50	40	320	50	25	420,91	418,05
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1 420,91	Nota 1 419,97
Nota 1 - Valores no calculados									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCG	Carga
Bombas de Drenaje	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6	Nota 3 421,01	Nota 3 416,44
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10	Nota 3 421,01	Nota 3 416,86
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Nota 1	120	50	421,01	417,19
Sistema de Aire Acondicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10	Nota 3 421,01	Nota 3 414,04
Compresores de Aire de Servicio	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4	Nota 3 421,01	Nota 3 415,89
Sistema de Telecomunicaciones	10 kVA	TELE	50	12	-	14	6	421,01	417,21
Cargadores de Baterías	15 kVA	CBT	50	21	-	24	10	421,01	417,56
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	10	421,01	417,33
Ascensor de Personas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	4	Nota 3 421,01	Nota 3 416,75
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5	421,01	419,93
Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5	Nota 3 421,01	Nota 3 416,67
Bombas de Agotamiento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10	Nota 3 421,01	Nota 3 416,86
Bombas Contra Incendios	50 cv	MBI	30	65	520	81	25	399,60 421,01	391,01 418,15
Puente Grúa de la Casa de Máquinas	75 cv	PRCF	50	96	Nota 2	120	50	421,01	417,19
Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.									
Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.									
Nota 3- Valores no calculados									

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCG	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	lcable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCG	Carga
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	25	421,01	416,41
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	50	421,01	416,11
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante	30 kVA	SMTOL	80	36	320	41	25	421,01	416,41
Pórtico Rodante Aguas Abajo	15 kVA	PRJ	50	18	Nota 2	21	10	421,01	417,56

Nota 1- El sistema de ventilación y extracción está compuesto por un conjunto de ventiladores y extractores de varias potencias, totalizando 75hp.

Nota 2- El puente grúa y el pórtico rodante son accionados por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

Nota 3- Valores no calculados

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCTA	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	lcable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCTA	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	4	421,41	419,15
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	25	421,41	392,16
Pórtico Rodante Aguas Arriba	20 cv	PRTA	50	27	Nota 1	31	10	421,41	416,80
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4	Nota 2 421,41	Nota 2 418,02

Nota 1- El pórtico rodante es accionado por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

Nota 2- Valores no calculados

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCVT	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	lcable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCTV	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	4	420,83	418,57
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	25	420,83	417,96
Pórtico Rodante del Vertedero	15 cv	PRVT	50	21	Nota 1	24	10	420,83	417,38
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5	Nota 2 420,83	Nota 2 418,13

Nota 1- El pórtico rodante es accionado por un sistema de control de velocidad. Por lo tanto, no tiene corriente de partida.

Nota 2- Valores no calculados

Valor para Tensión Primaria del Transformador 12.420V									
CARGAS DEL CCSE	Potencia	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	lcable (A)	S (mm2)	Tensiones c/2TSA	
								CCSE	Carga
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	6	420,87	419,36
Tomas de Fuerza	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	25	420,87	418,01
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	6	Nota 1 420,87	Nota 1 417,84

Nota 1- Valores no calculados

Nota 2- Se consideró que del conjunto de interruptores-seccionadores y motores de compresores de disyuntores, solo opera un motor a la

5.4.2.7. Evaluación de Resultados

Por los valores de tensión calculadas, se verifica que la tensión más baja en los motores de 100hp, durante el arranque, será:

- 391.00V en motores alimentados por CCU2, cuando un solo transformador de servicios auxiliares está alimentando toda la carga de la planta, y cuando la tensión primaria del transformador está con el valor mínimo de la tensión apropiada (12.834V).
- 385.71V, en motores alimentados por CCU2, cuando dos transformadores de servicios auxiliares están alimentando toda la carga de la planta, y cuando la tensión primaria del transformador está con el valor mínimo de la tensión precaria (12.420V).
- 377,52V en los motores alimentados por CCU2, cuando un solo transformador de servicios auxiliares alimenta toda la carga de la planta, y cuando la tensión primaria del transformador está con el valor mínimo de la tensión precaria (12.420V).

Por lo tanto, se concluye que, para el rango de tensión adecuada, se cumplirán las tensiones mínimas, incluso cuando un solo transformador esté alimentando toda la carga de la planta. Para el caso de un solo transformador que alimente toda la carga de la planta, con el valor mínimo de la tensión precaria en el primario, pueden ocurrir problemas transitorios durante el arranque de los motores de 100hp de los centros de cargas de las unidades y, para los motores de 50hp del Centro de Carga General, la tensión mínima en los motores durante el arranque será de 392.26V.

Los valores mencionados anteriormente se obtuvieron considerando el uso de la derivación del devanado primario del transformador, correspondiente a la tensión nominal, es decir, 13.800V.

5.4.2.8. Alternativas Aplicables

Como alternativa a los cálculos realizados en este informativo, el profesional puede adoptar otros criterios para definir los equipos y componentes, como escoger otra derivación del devanado primario del transformador de servicios auxiliares, utilizar otra derivación del devanado secundario del transformador elevador o definir otra tensión máxima del sistema, considerando que la carga de la planta nunca será cero, etc.

En este ítem se realizará una breve evaluación de la viabilidad de una alternativa diferente a la utilizada en este informativo.

En la aplicación desarrollada en este informativo se podía anticipar, en caso de tensión precaria mínima en el primario del transformador, que, en los terminales del secundario del transformador de servicios auxiliares, no se cumplirían las tensiones mínimas del equipo para todas las condiciones de carga. Por ejemplo, con la tensión de 12.420V en el primario del transformador, con un solo transformador alimentando la carga máxima de la planta y arrancando el motor más grande (100hp), la tensión en el secundario será de 395.26V, es decir, para que se cumpla la tensión mínima de arranque del motor (391V), la caída de tensión total, del transformador al motor, debe ser de 4.26V.

Con los cálculos realizados, la tensión en el motor de 100hp, al arranque, será de 377.52V con una caída de tensión total de 17.74V, es decir, 82% de la tensión nominal del motor en lugar de 85%. Con la tensión de 377.52V el motor se arrancará, principalmente porque es el motor de una bomba. Sin embargo, no se cumplirá el requisito de tensión mínima.

Aprovechando la estimativa rápida que se realizó se encontró que, para cumplir con el valor de la tensión mínima durante el arranque del motor de 100 CV, la tensión en el secundario del transformador debe ser de 409,87V, en lugar de los 395,26V calculados para el transformador de 1000kVA, con la tensión de 12.420 V en el primario.

Considerando las mismas condiciones, la tensión en los terminales secundarios de un transformador de 1500kVA, con una impedancia del 6%, será de 407,39V.

DATOS DEL SISTEMA			
Transformador	V_{Pn}	Tensión Primaria Nominal del Transformador (kV)	13,8
	V_{Sn}	Tensión Secundaria Nominal del Transformador (V)	480
	P_{TFn}	Potencia Nominal del Transformador (kVA)	1500
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	6
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	V_P	Tensión en el Primario del Transformador (kV)	12,42
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Primario (pu)	1
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	550
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	150
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FP_{C_v}	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	$V_{M_{pn}}$	Tensión Nominal de Motor(es) (V)	460
	$I_{M_{pn}}$	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	1054
	FP_{M_p}	Factor de Potencia de Motor(es) en el Arranque	0,3

V_{T_s}	Tensión en los terminales del secundario del transformador (V)	407,39
-----------	--	--------

Como el valor está muy cerca de lo que se necesita, haremos un cambio en las secciones de los alimentadores involucrados, para compensar esta diferencia de tensión.

Haciendo los cálculos para compensar esta caída de tensión en los cables alimentadores de los motores y, recalculando la tensión en CCU2, que es el centro de cargas con menor tensión, para el alimentador con los mismos 2 cables por fase de 95mm², encontraremos la tensión de 399.49V:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	l	Longitud del Circuito (km)	0,05
	R_a	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,231
	X_a	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cables por Fase	2
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	407,39
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	80
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	20
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	480
	FP_{C_v}	Factor de Potencia de la Carga Variable	0,9
	$V_{M_{pn}}$	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	460
	$I_{M_{pn}}$	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	1054
	FP_{M_p}	Factor de Potencia del(de los) Motor(es) en el Arranque	0,3

V_{C_T}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	399,49
-----------	---	--------

Cambiando la sección del cable de alimentación del motor, de 70mm² a 120mm², la tensión en los terminales del motor, durante el arranque será de 391.45V.

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	I	Longitud del Circuito (km)	0,035
	R_a	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,183
	X_a	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cables por Fase	1
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	399,49
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	FP_{C_V}	Factor de Potencia de la Carga Variable	
	$V_{M_{Pn}}$	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	460
	$I_{M_{Pn}}$	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	1054
	FP_{M_P}	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque	0,3

V_{C_T}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	391,45
-----------	---	--------

Esta alternativa se puede evaluar ya que es factible y los costos no serían demasiado altos. Sin embargo, los cálculos deben rehacerse y debe evaluarse la necesidad de su implementación.

5.4.2.9. Conclusión

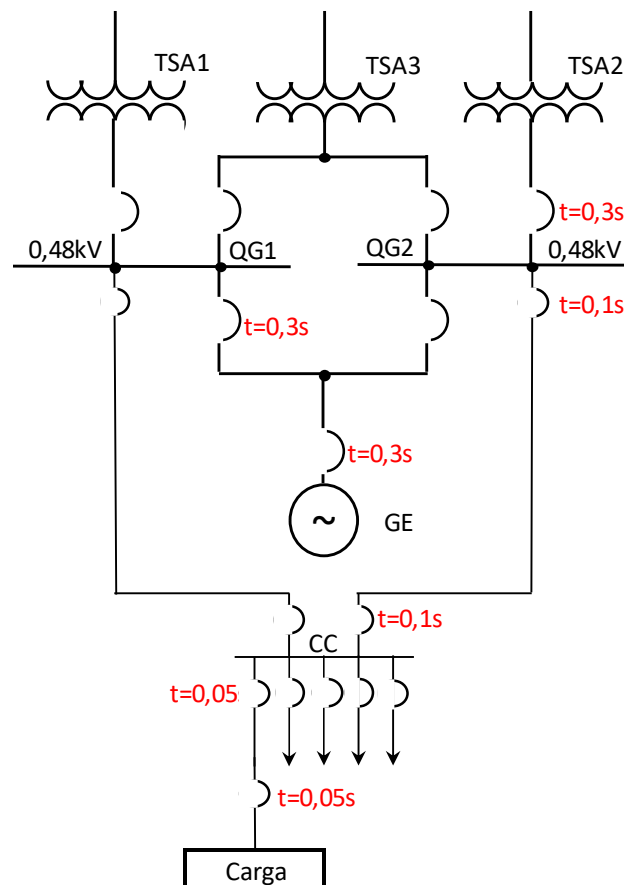
Como se puede ver, existen muchas soluciones para resolver los eventuales problemas en la definición de los sistemas auxiliares eléctricos de una central hidroeléctrica. Sin embargo, para definir lo más adecuado es necesario estar en posesión de más informaciones de los sistemas, como tensiones de la subestación de alta tensión, transformadores elevadores, criterios de funcionamiento de las instalaciones, etc.

Si se consideran las peores condiciones, como la tensión mínima de la subestación de alta tensión, poca potencia suministrada por los generadores, un solo transformador de servicios auxiliares que alimenta las instalaciones con carga máxima, etc., la única solución puede ser la recomendación de utilizar transformadores de servicios auxiliares, equipados con conmutador automático de tensión para transformadores secos, cuyo costo es muy alto, además de ocupar espacios y requerir un mantenimiento especializado.

En la definición de la solución adoptada, se deben tener en cuenta las restricciones o limitaciones de operación, definiendo las soluciones a cualquier problema que pueda surgir.

5.4.3 - Cortocircuito

Para dimensionar los circuitos según las corrientes de cortocircuito se considerarán los tiempos de actuación de las protecciones indicadas en la siguiente figura:



Los tiempos de actuación de los dispositivos de protección del mismo circuito son los mismos. Por ejemplo, si se produce un defecto en la carga, se abrirán los dos interruptores, de la carga y de la salida del centro de carga (CC); si se produce un defecto en el alimentador de salida del centro de carga (CC), solo se abrirá el disyuntor de salida del centro de carga (CC). Las protecciones de entrada de salida y carga (CC) de QG funcionarán de la misma manera.

La selección de los cables se realizará de acuerdo con los criterios definidos en el informativo TE.EL.SA.CA.05 Alimentadores – Criterios para el Dimensionamiento y planilla de cálculo PL.EL.SA. CA.06 Alimentadores – Criterios para el Dimensionamiento.

5.4.3.1. Grupo Electrógeno Diésel de Emergencia

Calculando la corriente de cortocircuito del alternador, basada en la reactancia subtransitoria de 8.41%, tenemos:

$$I_{cc} = \frac{605}{0,0841 \times 0,480 \sqrt{3}}$$

$$I_{cc} = 8.652,8A$$

Teniendo en cuenta el tiempo de actuación de la protección del disyuntor del alternador 0.3s, la sección mínima del conductor será:

$$S \geq \frac{I_{cc}}{k_{\theta}} \sqrt{t}$$

$$S \geq \frac{8652,8}{143} \sqrt{0,3}$$

$$S \geq 33,1mm^2 = 35mm^2$$

Esta sección es más pequeña que la calculada por conducción de corriente (2x120mm²).

5.4.3.2. Centros de Cargas

Dependiendo de la fuente de alimentación, la potencia de cortocircuito puede ser de 16.7 o 16.4MVA, que corresponden a las corrientes de 20.1kA y 19.7kA.

Considerando la corriente más alta, la sección mínima de los cables de alimentación de los centros de carga, para el tiempo de actuación de protección de 0.1s debe ser:

$$S \geq \frac{20.100}{143} \sqrt{0,1}$$

$$S \geq 44,5\text{mm}^2 = 50\text{mm}^2$$

Como esta sección es inferior a las secciones de los alimentadores de los centros de carga de las unidades y generales (CCU1, CCU2, CCU3 y CCG), calculadas por el criterio de conducción de corriente y caída de tensión, se pasará la verificación de los alimentadores de los centros de carga de la toma de agua (CCTA), vertedero (CCVT) y subestación (CCSE).

Por el criterio de longitud mínima del cable protegido se verifica que, según la siguiente tabla, para alimentadores con más de 38m de longitud y tiempo máximo de acción de la protección de 0.1s, cualquier sección de conductor cumple el criterio de protección por cortocircuito. Por lo tanto, los alimentadores del centro de carga de toma de agua (CCTA) que tiene 80m, el centro de carga del vertedero (CCVT) que tiene 150m y el centro de carga de la subestación (CCSE) que tiene 150m, cumplen con los criterios de la longitud mínima del cable protegido.

CABLES AISLADOS CON EPR/XLPE						
Tensión Nominal del Sistema (Vn)					480	V
Factor de Tensión Máxima (f)					110	%
Longitud del Cable Protegido (m)						
Datos de los Cables			Tiempo de Interrupción del Defecto (s)			
S (mm ²)	R ₉₀	X _{60Hz}	0,05	0,10	0,3	0,5
2,5	8,794	0,096	27	38	66	85
4	5,496	0,096	27	38	66	85
6	3,664	0,096	27	38	66	85
10	2,198	0,096	27	38	66	85
16	1,374	0,096	27	38	66	85
25	0,879	0,096	27	38	66	85
35	0,628	0,096	27	38	65	84
50	0,440	0,096	26	37	65	83
70	0,314	0,096	26	36	63	82
95	0,231	0,096	25	35	61	79
120	0,183	0,096	24	34	58	76
150	0,147	0,096	23	32	55	71
185	0,119	0,096	21	30	51	66
240	0,092	0,096	19	26	46	59

En base a lo anterior, las secciones de la siguiente tabla, calculadas por el criterio de conducción de corriente y caída de tensión, también cumplen con los criterios de cortocircuito.

Panel	CCU1	CCU2	CCU3	CCG	CCTA	CCVT	CCSE
l(m)	30	50	70	30	80	150	150
Sección (mm ²)	150	2x95	2x240	2x120	95	120	70

5.4.3.3. Centros de Cargas

Se consideró que todas las cargas alimentadas por los Centros de Carga (CC) tienen un panel de comando y control local, porque los centros de carga no están equipados con estos dispositivos de accionamiento.

Considerando que el tiempo de actuación de la protección, de los dispositivos de las salidas de los centros de carga y paneles locales de mando y control, es de 0.05s, todos los alimentadores con más de 26m de longitud, cualquiera que sea la sección nominal, están protegidos, para cualquier potencia de cortocircuito de la fuente. De esta manera, solo es

necesario revisar los alimentadores con una longitud inferior a 26m. En esta condición se encuentran los siguientes circuitos, cuyas secciones indicadas en color azul ya cumplen con los criterios de conducción de corriente y caída de voltaje:

CARGAS DE LOS CCU'S	Potencia	TAG	l(m)	S (mm2)
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador	10 cv	MBOMC	25	4
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje	15 cv	MBIME	25	6
Resistencias de Calefacción del Generador	15 kW	RAG	25	6
Cubículo de Excitación del Generador	10 kVA	CEX	25	4
CARGAS DEL CCTA	Potencia	TAG	l(m)	S (mm2)
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIATA	20	4
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua	15 cv	MBCTA	20	4
CARGAS DEL CCVT	Potencia	TAG	l(m)	S (mm2)
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIAVT	20	4
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero	7,5 cv	MBCVT	20	2,5
CARGAS DEL CCSE	Potencia	TAG	l(m)	S (mm2)
Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIASE	20	6

Las potencias de cortocircuito en cada uno de los centros de carga se indican en la siguiente tabla, calculada con la ayuda de la planilla de cálculo PL.EL.SA.CA.06, cuya aplicación está indicada solo para el Centro de Carga de la Unidad 1 (CCU1), que tiene la mayor potencia de cortocircuito:

CABLES CON AISLAMIENTO EN EPR/XLPE					
Potencia de Corto Circuito de la Fuente (Pcc)		16,7	MVA		
Tensión Nominal del Sistema (Vn)		480	V		
Factor de Tensión Máxima (f)		110	%		
Longitud del Alimentador		30	m		
Datos de los Cables			Corriente de Corto Circuito (KA)	Tiempo Máximo de Actuación de la Protección (s)	
S	R₉₀	X_{60Hz}			
120	0,183	0,096	17,36	0,98	

La corriente de cortocircuito en CCU1 será de 17.36kA, que corresponde a una potencia de cortocircuito de:

$$P_{cc} = \sqrt{3} \times 0,48 \times 17,36 = 14,43 \text{ MVA}$$

Centro de Carga	P_{cc} de Fuente (MVA)	Longitud del Alimentador (m)	Sección del Cable (mm²)	I_{cc} (kA)	P_{cc} en CC (MVA)
CCU1	16,7	30	120	17,36	14,43
CCTA	16,7	80	25	4,14	3,44
CCVT	16,7	150	16	1,47	1,22
CCSE	16,7	150	10	1,47	1,22

Con la potencia de cortocircuito en el centro de carga, se puede calcular la corriente de cortocircuito al final del cable del circuito de la carga y el tiempo máximo de acción de la protección que garantiza la protección del cable de alimentación. Este cálculo se realizará

con la ayuda de la planilla de cálculo PL.EL.SA.CA.06, sólo para cargas procedentes de los circuitos del Centro de Carga de la Unidad 1 (CCU1):

CABLES CON AISLAMIENTO EN EPR/XLPE								
Potencia de Corto Circuito de la Fuente (Pcc)				14,43	MVA			
Tensión Nominal del Sistema (Vn)				480	V			
Factor de Tensión Máxima (f)				110	%			
Longitud del Alimentaodr				25	m			
Datos de los Cables				Corriente de Corto Circuito (KA)	Tiempo Máximo de Actuación de la Protección (s)			
S	R ₉₀	X _{60Hz}						
4	5,496	0,096				2,20	0,07	
6	3,664	0,096		3,26	0,07			

Centro de Carga	P _{cc} en CC (MVA)	Carga	Potencia	TAG	l(m)	S (mm ²)	I _{cc} en la Carga (kA)	Tiempo Máximo de Protección (s)
CCU	14,43	Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador	10 cv	MBOMC	25	4	2,20	0,07
		Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje	15 cv	MBIME	25	6	3,26	0,07
		Resistencias de Calefacción del Generador	15 kW	RAG	25	6	3,26	0,07
		Cubículo de Excitación del Generador	10 kVA	CEX	25	4	2,20	0,07
CCTA	3,44	Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIATA	20	4	1,98	0,08
		Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua	15 cv	MBCTA	20	4	1,98	0,08
CCTV	1,22	Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIATV	20	4	1,29	0,20
		Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero	7,5 cv	MBCVT	20	2,5	1,05	0,12
CCSE	1,22	Transformadores de Iluminación y Calefacción	10 kVA	TIASE	20	6	1,44	0,36

Por lo tanto, los cables seleccionados por el criterio de conducción de corriente, y alterados y/o confirmados por el criterio de caída de tensión, cumplen con los criterios de cortocircuito.

6 - EVALUACIONES RELEVANTES

Como vimos visto hay muchos recursos para realizar los cálculos de los componentes de los sistemas, algunos son más precisos que otros, pero siempre será posible aumentar esta precisión. Como ejemplo de esta aproximación podemos mencionar que, en la planilla de cálculo de la caída de tensión en los transformadores, como se indica en el informativo teórico que es el origen de la planilla de cálculo, en la impedancia del transformador $Z = R + jX$, El valor de resistencia se consideró 1% y la impedancia especificada del transformador como el valor de Z . El valor de reactancia X o impedancia Z se obtiene de esta relación. Por lo tanto, el cálculo que utiliza la planilla de cálculo también es una aproximación.

Los valores de las resistencias y reactancias de los cables también dependen de muchas variables y sus valores son difíciles de obtener con precisión. Las condiciones de instalación, los factores de agrupación, las temperaturas reales de funcionamiento de los cables en función de las cargas, la temperatura ambiente y otras variables dificultan la definición de los valores.

Las cargas, a su vez, también son informaciones que dependen de las valoraciones. Por ejemplo, una bomba está dimensionada para cumplir con las condiciones de funcionamiento extremas, con un rendimiento estimado y con un factor de diseño o seguridad. El motor también se selecciona con un rendimiento estimado, con potencia dentro de los valores estandarizados y, a veces, con un factor de servicio que no se considera. Por lo tanto, dependiendo de las condiciones reales de operación, los motores operan con cargas inferiores a las que se consideran en el diseño y dimensionamiento de los circuitos.

Cada profesional tiene sus experiencias y preferencias y, en base a ellas y a los requerimientos de su cliente, debe desarrollar el proyecto. Los informativos técnicos y las planillas de cálculo son las herramientas que facilitan y agilizan los estudios de las alternativas.

7 - APLICACIÓN DE CÁLCULOS APROXIMADOS

En este ítem se abordarán algunos conceptos del libro Industrial Power Systems Handbook, de Donald Beeman, que es una referencia para los profesionales del área de la ingeniería eléctrica, especialmente cuando no existían los recursos informáticos de los que se dispone en la actualidad.

7.1 - Análisis de los Cálculos Aproximados

Para realizar cálculos aproximados existen tablas, gráficos, fórmulas, etc. que proporcionan la información necesaria. Una de estas herramientas, muy utilizada es la fórmula:

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

Dónde:

ΔV Caída de tensión (V)

I Corriente da la carga (A)

R Resistencia del alimentador (Ω)

X Reactancia del alimentador (Ω)

φ Angulo de la corriente de la carga

7.1.1 - Cálculo Aproximado de la Tensión en la Carga

Usaremos el siguiente ejemplo para comparar los resultados, es decir:

Calcule la tensión en los terminales de un motor durante el arranque directo, plena tensión, cuando la tensión en la fuente es de 480V, considerando que el motor es alimentado por cables de 95mm², con una longitud de 160m.

Datos del motor:

Potencia nominal 100hp

Tensión nominal 460V

Corriente de arranque 1054A

Factor de potencia inicial 0.3

Sabiendo que, en condiciones de instalación, los valores de R_a y X_a son:

$$R_a = 0,231 \Omega / km$$

$$X_a = 0,096 \Omega / km$$

Solución:

$$R = 0,231 \times 0,16 = 0,0370 \Omega$$

$$X = 0,096 \times 0,16 = 0,0154 \Omega$$

$$\cos \varphi = 0,3$$

$$\sin \varphi = 0,953939$$

$$\sqrt{3} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = 0,0447$$

Como la tensión en la fuente es de 480V, la corriente del motor corregida para esta tensión será:

$$I = 1054 \frac{480}{460} = 1099,83$$

Por lo tanto:

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = 1099,83 \times 0,0447 = 49,16V$$

La tensión en la carga sería:

$$V_c = 480 - 49,16 = 430,84V$$

Según las indicaciones de Beeman, recalcularemos la caída de tensión corrigiendo la corriente a la tensión encontrada en la carga y obtendremos:

$$I = 1054 \frac{430,84}{460} = 987,19A$$

La nueva caída de tensión será:

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = 987,19 \times 0,447 = 44,13V$$

Finalmente, la tensión en la carga será:

$$V_C = 480 - 44,13 = 435,87V$$

En el cálculo, con la ayuda de la planilla de cálculo, la tensión encontrada fue de 432.88V.

DATOS DEL SISTEMA		
Datos de la Fuente	I	Longitud del Circuito (km)
	R_a	Resistencia del Cable (Ω/km)
	X_a	Reactancia del Cable (Ω/km)
	n	Número de Cables por Fase
	V_F	Tensión de la Fuente (V)
Datos de las Cargas	P_{C_{Kn}}	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)
	V_{C_{Kn}}	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante
	P_{C_{Vn}}	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)
	V_{C_{Vn}}	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)
	FP_{C_V}	Factor de Potencia de la Carga Variable
	V_{M_{Pn}}	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)
	I_{M_{Pn}}	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)
	FP_{M_P}	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque
V_{C_T}		Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente

Como se puede ver, el cálculo se puede hacer de forma bastante aproximada, con fórmulas simples, compatibles con recursos de cálculo limitados.

7.1.2 - Cálculo Aproximado de la tensión en la Fuente

Usaremos el siguiente ejemplo para comparar los resultados, es decir:

Calcule la tensión en la fuente para que la tensión en el motor sea de 432.88 V durante el arranque directo, a plena tensión, considerando que el motor es alimentado por cables de 95mm², con una longitud de 160m.

Datos del motor:

Potencia nominal 100hp

Tensión nominal 460V

Corriente de arranque 1054A

Factor de potencia inicial 0.3

Sabiendo que, en condiciones de instalación, los valores de R_a y X_a son:

$$R_a = 0,231\Omega/km$$

$$X_a = 0,096\Omega/km$$

Solución:

$$R = 0,231 \times 0,16 = 0,0370\Omega$$

$$X = 0,096 \times 0,16 = 0,0154\Omega$$

$$\cos \varphi = 0,3$$

$$\sin \varphi = 0,953939$$

$$\sqrt{3} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = 0,0447$$

Como la tensión en la carga es de 435.87V, la corriente del motor corregida para esta tensión será:

$$I = 1054 \frac{435,87}{460} = 998,71A$$

Así que:

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = 998,71 \times 0,0447 = 44,64V$$

La tensión en la fuente será:

$$V_F = 435,87 - 44,64 = 480,51V$$

En el cálculo, con la ayuda de la planilla de cálculo, la tensión encontrada fue de 480.00V.

DATOS DEL SISTEMA		
Datos de la Fuente	I	Longitud del Circuito (km)
	R_a	Resistencia del Cable (Ω/km)
	X_a	Reactancia del Cable (Ω/km)
	n	Número de Cables por Fase
	V_{CT}	Tensión en la Carga (V)
Datos de las Cargas	P_{CKn}	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)
	V_{CKn}	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)
	FP_{CK}	Factor de Potencia de la Carga Constante
	P_{CVn}	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)
	V_{CVn}	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)
	FP_{CV}	Factor de Potencia de la Carga Variable
	V_{MPn}	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)
	I_{MPn}	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)
	FP_{MP}	Factor de Potencia del(de los) Motor(es) al Arranque
V_F		Tensión en la fuente considerando la tensión definida en la carga

7.2 - Problema y Solución

A continuación, resolvemos un problema del libro de Donald Beeman usando las planillas de cálculo y comparamos el resultado.

El problema se presenta en los textos de las siguientes imágenes:

244 VOLTAGE—STANDARD RATINGS, VARIATIONS, CALCULATION OF DROPS

on the curve and proceed horizontally to the left. The intersection of this line with the vertical scale is the voltage drop per 100 ft for an 800-amp busway, 2.4 volts.

Line-to-line voltage drop = $2.4 \times \frac{600}{800} \times \frac{200}{100} = 3.6$ volts

Single-phase voltage drops may be obtained by multiplying the three-phase voltage drop times 1.16.

Figure 4.36 gives the line-to-line voltage drop in volts for a plug-in type busway. An example is given with the curves to illustrate their use.

Example of System Voltage-drop Calculation. The power system shown in Fig. 4.37 is used to illustrate the use of the foregoing charts and formulas. Using the most critical feeders from the standpoint of voltage

FIG. 4.37 System one-line diagram used as a basis for examples of system voltage-drop calculation.

VOLTAGE—STANDARD RATINGS, VARIATIONS, CALCULATION OF DROPS 245

drop, four solutions involving varying degrees of accuracy were made to determine the operating voltage at the 4160- and 480-volt utilization buses and at the load end of a 480-volt feeder.

In each solution except 4, it is assumed that the indicated load kva, power factors, and efficiency remain constant for voltage variations due to regulation. In other words, the load current varies with applied voltage to keep the kva constant.

Table 4.12 lists the operating voltages obtained by the four methods of solution used.

TABLE 4.12 Operating Voltages as Calculated by Four Methods

Solution	Equations* used	Bus A	Bus B	Secondary feeder load
1	(4.7)	3900	425	418
2	(4.3) and (4.4)	3910 / -2.2°	426 / -4.4°	419 / -4.5°
3	Charts	3925	429	422
4	Charts	3932	432	425

* See Eqs. (4.3), (4.4), and (4.7).

Solution 2 was made by using the exact formulas Eqs. (4.3) and (4.4). It shows that the phase angle of each successive voltage level is shifted to lag slightly the no-load voltage. It should be recognized that the use of this exact formula does not necessarily mean that the answer is exact, because it is necessary to use a cut-and-try process in the solution. As with any cut-and-try process, a point is reached where the added accuracy to be obtained does not justify another trial, and therefore the answer is not absolutely exact.

In solution 3, voltage-drop charts were used to determine voltage drop. The error involved in this method results from the greater margin of error in reading charts and in the arithmetical addition of voltage drops slightly out of phase.

Solution 4 involved the use of charts but neglected the cut-and-try procedure necessarily employed in the other solutions. The cut-and-try procedure was used in the other solutions because the load kva was assumed to be constant as the voltage changed and therefore the load currents changed. In this solution the current was assumed to remain constant as the load voltage varied.

Solution 1 is given below as an example.

Solution 1: Calculation by approximate Eq. (4.7).

$$V = \sqrt{3} I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

where v = line-to-line voltage drop
 I = line current, amp
 R = circuit resistance, ohms
 X = circuit reactance, ohms
 θ = load power-factor angle

Bus A Voltage. From Fig. 4.37,

Overhead line resistance = 1.97 ohms
 Overhead line reactance = 1.52 ohms

Converting transformer per cent resistance and reactance to ohms by the formula

$$\text{Ohms} = \frac{\% \text{ ohms} \times (\text{kv})^2 \times 10}{\text{kva}}$$

and using the principle that transformer impedance varies approximately as the square of the per cent voltage tap used,

$$R_T = \frac{1.0 \times (34.4)^2 \times (0.975)^2 \times 10}{10,000} = 1.12 \text{ ohms}$$

$$X_T = \frac{6.0 \times (34.4)^2 \times (0.975)^2 \times 10}{10,000} = 6.73 \text{ ohms}$$

Total ohms resistance = 1.97 + 1.12 = 3.09

Total ohms reactance = 1.52 + 6.73 = 8.25

Assuming 4160 volts at bus A and considering constant load,

$$\text{Bus A amperes} = \frac{9000 \text{ kva}}{\sqrt{3} \times 4.160} = 1250$$

$$\text{Overhead line amperes} = \frac{1250 \times 4.16}{34.4 \times 0.975} = 155$$

Substituting in the voltage-drop formula with $\cos \theta = 0.8$ and $\sin \theta = 0.6$,

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{3} \times 155(3.09 \times 0.8 + 8.25 \times 0.6) \\ &= \sqrt{3} \times 155(2.48 + 4.95) \\ &= \sqrt{3} \times 155 \times 7.43 \\ &= 1990 \text{ volts} \end{aligned}$$

Bus A volts

= (source voltage - voltage drop) $\times$ (power transformer ratio)

$$= (33,500 - 1990) \frac{4.160}{34.4 \times 0.975}$$

$$= \frac{31,510 \times 4.160}{0.975 \times 34.4} = 3910 \text{ volts}$$

Recalculating the voltage drop assuming 3910 volts on Bus A,

$$\text{Overhead line amperes} = \frac{4160}{3910} \times 155 = 165$$

$$v = \sqrt{3} \times 165 \times 7.43 = 2120 \text{ volts}$$

$$\begin{aligned} \text{Bus A voltage} &= (33,500 - 2120) \frac{4.160}{34.4 \times 0.975} \\ &= \frac{31,380 \times 4.160}{34.4 \times 0.975} = 3900 \text{ volts} \end{aligned}$$

This value is assumed to be close enough for practical purposes.

Bus B Voltage. From Fig. 4.37,

5-kv cable resistance = 0.1094 ohm

5-kv cable reactance = 0.0712 ohm

Transformer resistance = 1.0% on its own base

$$= \frac{1.0 \times (4.16)^2 \times 10}{1500} = 0.115 \text{ ohm}$$

Transformer reactance = 5.5% on its own base

$$= \frac{5.5 \times (4.16)^2 \times 10}{1500} = 0.634 \text{ ohm}$$

Total ohms resistance = 0.109 + 0.115 = 0.224 ohm

Total ohms reactance = 0.071 + 0.634 = 0.705 ohm

Assuming 450 volts on bus B,

$$\text{Bus B amperes} = \frac{1300 \text{ kva}}{\sqrt{3} \times 0.450} = 1670$$

$$\text{5-kv cable amperes} = 1670 \times \frac{480}{4160} = 193$$

$$v = \sqrt{3} I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$\cos \theta = 0.8$, $\sin \theta = 0.6$

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{3} \times 193(0.224 \times 0.8 + 0.705 \times 0.6) \\ &= \sqrt{3} \times 193(0.179 + 0.423) \\ &= \sqrt{3} \times 193 \times 0.602 = 201 \text{ volts} \end{aligned}$$

Bus B voltage = (bus A voltage - v) (transformer ratio)

$$= (3900 - 201) \frac{480}{4160}$$

$$= \frac{3699 \times 480}{4160} = 426 \text{ volts}$$

Recalculating v assuming 426 volts on bus B with same load,

$$\text{5-kv cable amperes} = 193 \times \frac{450}{426} = 204$$

$$v = \sqrt{3} \times 204 \times 0.602 = 212 \text{ volts}$$

$$\begin{aligned} \text{Bus B voltage} &= (3900 - 212) \frac{480}{4160} \\ &= \frac{3688 \times 480}{4160} = 425 \text{ volts} \end{aligned}$$

Secondary load voltage, assuming 420 volts at load,

$$\text{Load amperes} = \frac{250}{0.420 \times \sqrt{3}} = 344$$

Cable resistance = 0.0072

Cable reactance = 0.0090

$$v = \sqrt{3} \times I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$\cos \theta = 0.7$, $\sin \theta = 0.714$

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{3} \times 344(0.0072 \times 0.7 + 0.0090 \times 0.714) \\ &= \sqrt{3} \times 344(0.00504 + 0.00643) \\ &= \sqrt{3} \times 344 \times 0.01147 \\ &= 6.9 \text{ volts} \end{aligned}$$

Load voltage = 425 - 6.9 = 418.1 volts

Since the most critical feeders with respect to voltage drop have been selected, the calculated load voltages at bus A, bus B, and at the secondary-load terminals provide sufficient information to analyze the system from the standpoint of voltage drop. Actually, the 480-418 voltage spread at the secondary-load terminals indicates that the system is on the border line and should be stiffened, possibly by using a larger 5-kv feeder cable. However, this is beyond the scope of this problem, which is merely intended to outline the method of determining voltage drop.

Para calcular la caída de tensión en el alimentador de 33,5kV del transformador de 10.000kVA, haremos las conversiones de millas a kilómetros. Por lo tanto, dado que 2 millas equivalen a 3218.69m, los valores de resistencia y reactancia del cable, en Ω/km serán:

$$R = \frac{1,97}{3,21869} = 0,612\Omega/\text{km}$$

$$X = \frac{1,52}{3,21869} = 0,472\Omega/\text{km}$$

Usando la planilla de cálculo PL.EL.SA.CA.04 Alimentadores - Cálculo de Tensión en la Carga, tenemos:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	I	Longitud del Circuito (km)	3,21869
	R_a	Resistencia del Cable (Ω /km)	0,612
	X_a	Reactancia del Cable (Ω /km)	0,472
	n	Número de Cables por Fase	1
	V_F	Tensión de la Fuente (V)	33500
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	9000
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	4160
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,8
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	FP_{C_V}	Factor de Potencia de la Carga Variable	
	$V_{M_{Pn}}$	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Factor de Potencia del(de los) Motor(es) en el Arranque	

V_{C_T}	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	32817,85
-----------------------------	---	----------

Con la tensión de 32,817.85V en el primario del transformador, la tensión en el secundario, considerando el uso de la derivación 0.975, se calculará utilizando la planilla de cálculo PL.EL.SA.AC.01 Transformadores de Potencia - Cálculo de la Tensión en los Terminales para:

$$Z = 1 + j6 = 6,083\%$$

DATOS DEL SISTEMA			
Transformador	V_{P_n}	Tensión Primaria Nominal del Transformador (kV)	34,4
	V_{S_n}	Tensión Secundaria Nominal del Transformador (V)	4160
	P_{TF_n}	Potencia Nominal del Transformador (kVA)	10000
	Z_n	Impedancia Nominal del Transformador (%)	6,083
	R_n	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	V_P	Tensión en el Primario del Transformador (kV)	32,81785
	k	Tensión de la Derivación Utilizada del Primario (pu)	0,975
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	9000
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	4160
	FP_{C_K}	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,8
	$P_{C_{Vn}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	$V_{C_{Vn}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	FP_{C_V}	Factor de Potencia de la Carga Variable	
	$V_{M_{Pn}}$	Tensión Nominal de Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Factor de Potencia de Motor(es) en el Arranque	

V_{T_s}	Tensión en los terminales del secundario del transformador (V)	3900,27
-----------------------------	--	---------

Para calcular la caída de tensión en el alimentador de 4,16kV del transformador de 1.500kVA, haremos las conversiones de pies a km. Por lo tanto, como 2000 pies equivalen a 609.6m, los valores de resistencia y reactancia del cable, en Ω /km serán:

$$R = \frac{0,1094}{0,6096} = 0,1975 \Omega/\text{km}$$

$$X = \frac{0,0712}{0,6096} = 0,1168 \Omega/\text{km}$$

La tensión en el primario del transformador de 1500kVA será de 3856.37V:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	<i>I</i>	Longitud del Circuito (km)	0,6096
	<i>R_a</i>	Resistencia del Cable (Ω/km)	0,1794
	<i>X_a</i>	Reactancia del Cable (Ω/km)	0,1168
	<i>n</i>	Número de Cables por Fase	1
	<i>V_F</i>	Tensión de la Fuente (V)	3900,27
Datos de las Cargas	<i>P_{C_{Kn}}</i>	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	1300
	<i>V_{C_{Kn}}</i>	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	480
	<i>FP_{C_K}</i>	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,8
	<i>P_{C_{Vn}}</i>	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	<i>V_{C_{Vn}}</i>	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	<i>FP_{C_V}</i>	Factor de Potencia de la Carga Variable	
	<i>V_{M_{pn}}</i>	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	
	<i>I_{M_{pn}}</i>	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	<i>FP_{M_p}</i>	Factor de Potência del(de los) Motor(es) em el Arranque	

<i>V_{C_T}</i>	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	3856,37
---	---	---------

La impedancia del transformador de 1500kVA será:

$$Z = 1 + j5,5 = 5,59\%$$

La tensión en el secundario del transformador de 1500kVA será de 425.36V:

DATOS DEL SISTEMA			
Transformador	<i>V_{P_n}</i>	Tensión Primária Nominal del Transformador (kV)	4,16
	<i>V_{S_n}</i>	Tensión Secundária Nominal del Transformador (V)	480
	<i>P_{TF_n}</i>	Potencia Nominal del Transformador (kVA)	1500
	<i>Z_n</i>	Impedancia Nominal del Transformador (%)	5,59
	<i>R_n</i>	Resistencia Nominal del Transformador (%)	1
	<i>V_P</i>	Tensión em el Primário del Transformador (kV)	3,85637
	<i>k</i>	Tensión de la Derivación Utilizada del Primário (pu)	1
Datos de las Cargas	<i>P_{C_{Kn}}</i>	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	1300
	<i>V_{C_{Kn}}</i>	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	80
	<i>FP_{C_K}</i>	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,8
	<i>P_{C_{Vn}}</i>	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	<i>V_{C_{Vn}}</i>	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	<i>FP_{C_V}</i>	Fcator de Potencia de la Carga Variable	
	<i>V_{M_{pn}}</i>	Tensión Nominal de Motor(es) (V)	
	<i>I_{M_{pn}}</i>	Corriente de Arranque de Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	<i>FP_{M_p}</i>	Factor de Potencia de Motor(es) en el Arranque	

<i>V_{T_s}</i>	Tensión el los terminales del secundário del transformador (V)	425,36
---	--	--------

Para calcular la tensión en la carga de 480V, haciendo las conversiones de pies a km. Por lo tanto, como 200 pies equivalen a 60.96m, los valores de resistencia y reactancia del cable, en Ω/km serán:

$$R = \frac{0,0072}{0,06096} = 0,1181 \Omega/\text{km}$$

$$X = \frac{0,009}{0,06096} = 0,1476 \Omega/\text{km}$$

La tensión en la carga será de 418.51V:

DATOS DEL SISTEMA			
Datos de la Fuente	<i>I</i>	Longitud del Circuito (km)	0,06096
	<i>R_a</i>	Resistencia del Cable (Ω/km)	0,1181
	<i>X_a</i>	Reactancia del Cable (Ω/km)	0,1476
	<i>n</i>	Número de Cables por Fase	1
	<i>V_F</i>	Tensión de la Fuente (V)	425,36
Datos de las Cargas	<i>P_{C_{Kn}}</i>	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	250
	<i>V_{C_{Kn}}</i>	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	440
	<i>FP_{C_K}</i>	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,7
	<i>P_{C_{Vn}}</i>	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	<i>V_{C_{Vn}}</i>	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	<i>FP_{C_V}</i>	Factor de Potencia de la Carga Variable	
	<i>V_{M_{Pn}}</i>	Tensión Nominal del(de los) Motor(es) (V)	
	<i>I_{M_{Pn}}</i>	Corriente de Arranque del(de los) Motor(es) a Tensión Nominal (A)	
	<i>FP_{M_P}</i>	Factor de Potencia del(de los) Motor(es) en el Arranque	

<i>V_{CT}</i>	Tensión en la carga considerando la tensión definida en la fuente	418,51
------------------------------	---	--------

Es decir, el valor coincide con los valores calculados por los métodos aproximados y el valor exacto:

Comparación de Resultados Obtenidos (V)					
Local	Solución				
	1	2	3	4	Aquí
Barra A	3900	3910	3925	3932	3900,27
Barra B	425	426	429	432	425,36
Carga	418	419	422	425	418,51

Los valores de la tabla demuestran la aplicabilidad de las planillas de cálculo para realizar los cálculos.