

**TRANSFORMADORES DE POTENCIA Y GRUPOS  
ELECTRÓGENOS DIESEL DE EMERGENCIA**

**Dimensionamiento**

ÍNDICE .....	PÁG.
<b>1 OBJETIVO.....</b>	<b>6</b>
<b>2 DOCUMENTOS DE REFERENCIA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Informativos Técnicos.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Planillas .....</b>	<b>6</b>
<b>3 CONSIDERACIONES INICIALES .....</b>	<b>6</b>
<b>4 CARGAS ELÉCTRICAS .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1 Definición de las Cargas de la Instalación .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Potencias Estimadas .....</b>	<b>9</b>
4.2.1 Bombas.....	9
4.2.2 Compresores .....	9
4.2.3 Equipos de Elevación y Manejo de Cargas .....	10
<b>5 CARGAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....</b>	<b>10</b>
<b>5.1 Unidades Generadoras.....</b>	<b>10</b>
5.1.1 Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina .....	10
5.1.2 Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador .....	10
5.1.3 Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina.....	10
5.1.4 Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje.....	11
5.1.5 Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina .....	11
5.1.6 Resistencias de Calefacción del Generador.....	11
5.1.7 Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina .....	11
5.1.8 Bombas o Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad.....	11
5.1.9 Cubículo de Excitación del Generador.....	11
5.1.10 Auxiliares de los Transformadores de Elevadores.....	11
5.1.11 Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración.....	11
<b>5.2 Casa de Máquinas.....</b>	<b>12</b>
5.2.1 Bombas de Drenaje .....	12
5.2.2 Compresores de Aire de Regulación de Velocidad.....	12
5.2.3 Sistema de Ventilación y Extracción .....	12
5.2.4 Sistema de Aire Acondicionado .....	12
5.2.5 Compresores de Aire de Servicio .....	12
5.2.6 Sistema de Telecomunicaciones .....	12
5.2.7 Cargadores de Baterías.....	12
5.2.8 Transformadores de Iluminación y Calefacción .....	13
5.2.9 Ascensor de Personas.....	13
5.2.10 Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia.....	13
5.2.11 Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor.....	13
5.2.12 Bombas de Agotamiento.....	13
5.2.13 Bombas Contra Incendios.....	13
5.2.14 Puente Grúa de la Casa de Máquinas.....	13
5.2.15 Tomas de Fuerza.....	13

5.2.16	Sistemas Móviles de Tratamiento de Aceites Aislantes y Lubricantes.....	13
5.2.17	Pórtico Rodante Aguas Abajo .....	14
<b>5.3</b>	<b>Toma de Agua .....</b>	<b>14</b>
5.3.1	Pórtico Rodante de la Toma de Agua .....	14
5.3.2	Central Hidráulica de las Compuertas de Toma de Agua .....	14
<b>5.4</b>	<b>Vertedero .....</b>	<b>14</b>
5.4.1	Pórtico Rodante del Vertedero.....	14
5.4.2	Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero .....	14
<b>5.5</b>	<b>Subestación AT .....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>DEFINICIÓN DE las CARGAS.....</b>	<b>15</b>
<b>6.1</b>	<b>Unidades generadoras .....</b>	<b>15</b>
6.1.1	Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina .....	15
6.1.2	Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador .....	15
6.1.3	Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina.....	15
6.1.4	Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje.....	15
6.1.5	Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina .....	15
6.1.6	Resistencias de Calefacción del Generador .....	15
6.1.7	Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina .....	15
6.1.8	Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad.....	15
6.1.9	Cubículo de Excitación del Generador.....	16
6.1.10	Auxiliares de los Transformadores de Elevadores.....	16
6.1.11	Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración .....	16
<b>6.2</b>	<b>Casa de Máquinas.....</b>	<b>16</b>
6.2.1	Bombas de Drenaje .....	16
6.2.2	Compresores de Aire de Regulación de Velocidad.....	16
6.2.3	Sistema de Ventilación y Extracción .....	16
6.2.4	Sistema de Aire Acondicionado .....	16
6.2.5	Compresores de Aire de Servicio .....	16
6.2.6	Sistema de Telecomunicaciones .....	16
6.2.7	Cargadores de Baterías.....	16
6.2.8	Transformadores de Iluminación y Calefacción .....	16
6.2.9	Ascensor de Personas.....	16
6.2.10	Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia.....	16
6.2.11	Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor.....	16
6.2.12	Bombas de Agotamiento.....	17
6.2.13	Bombas Contra Incendios.....	17
6.2.14	Puente Grúa de la Casa de Máquinas .....	17
6.2.15	Tomas de Fuerza.....	17
6.2.16	Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante .....	17
6.2.17	Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante .....	17
6.2.18	Pórtico Rodante Aguas Abajo .....	17

<b>6.3</b>	<b>Toma de Agua</b> .....	<b>17</b>
6.3.1	Transformador de iluminación y calefacción.....	17
6.3.2	Tomas de fuerza .....	17
6.3.3	Pórtico Rodante Aguas Arriba .....	18
6.3.4	Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua .....	18
<b>6.4</b>	<b>Vertedero</b> .....	<b>18</b>
6.4.1	Transformador de iluminación y calefacción.....	18
6.4.2	Tomas de fuerza .....	18
6.4.3	Pórtico Rodante del Vertedero.....	18
6.4.4	Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero .....	18
<b>6.5</b>	<b>Subestación AT</b> .....	<b>18</b>
6.5.1	Transformador de Iluminación y Calefacción .....	18
6.5.2	Tomas de fuerza .....	18
6.5.3	Interruptores y disyuntores .....	18
<b>7</b>	<b>CÁLCULO DE LOS CONSUMOS</b> .....	<b>18</b>
7.1	<b>Cargas de las Unidades</b> .....	<b>19</b>
7.2	<b>Cargas de la Casa de Máquinas</b> .....	<b>19</b>
7.3	<b>Cargas de la Toma de Agua</b> .....	<b>20</b>
7.4	<b>Cargas del Vertedero</b> .....	<b>21</b>
7.5	<b>Cargas de la Subestación de AT</b> .....	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>TRANSFORMADORES</b> .....	<b>22</b>
8.1	<b>Análisis dos Datos</b> .....	<b>23</b>
8.2	<b>Operación Normal</b> .....	<b>23</b>
8.2.1	Carga de las Unidades .....	23
8.2.2	Cargas de la Casa de Máquinas.....	25
8.2.3	Cargas de la Toma de Agua .....	25
8.2.4	Cargas del Vertedero.....	26
8.2.5	Cargas de la Subestación de AT .....	26
8.2.6	Resumen .....	26
<b>8.3</b>	<b>Mantenimiento</b> .....	<b>26</b>
8.3.1	Carga de las Unidades .....	27
8.3.2	Cargas de la Casa de Máquinas.....	28
8.3.3	Cargas de la Toma de Agua .....	28
8.3.4	Cargas del Vertedero.....	29
8.3.5	Cargas de la Subestación de AT .....	29
8.3.6	Resumen .....	29
<b>8.4</b>	<b>Potencia Nominal de los Transformadores</b> .....	<b>29</b>
<b>8.5</b>	<b>Tensiones en el Secundario del Transformador</b> .....	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>GRUPO ELECTRÓGENO DIÉSEL DE EMERGENCIA</b> .....	<b>32</b>
9.1	<b>Análisis de Datos</b> .....	<b>32</b>

9.1.1	Carga de las Unidades .....	32
9.1.2	Cargas de la Casa de Máquinas.....	32
9.1.3	Cargas de la Toma de Agua .....	33
9.1.4	Cargas del Vertedero.....	33
9.1.5	Cargas de la Subestación de AT .....	34
9.1.6	Resumen .....	34
<b>9.2</b>	<b>Potencia Nominal del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia .....</b>	<b>34</b>
<b>9.3</b>	<b>Alternador.....</b>	<b>35</b>
9.3.1	Tensión de Operación del Alternador .....	35
9.3.2	Variaciones de Tensión .....	35
9.3.3	Reactancia Transitoria X'd.....	36
9.3.4	Elección del alternador .....	38
9.3.5	Cálculo de las Tensiones Mínimas .....	39
9.3.6	Definición del Alternador.....	42
<b>9.4</b>	<b>Motor Diésel .....</b>	<b>42</b>
9.4.1	Cálculo de la Potencia Activa Solicitada .....	42
<b>9.5</b>	<b>Conclusión .....</b>	<b>42</b>
9.5.1	Potencia Nominal del Grupo .....	43
9.5.2	Alternador .....	43
9.5.3	Motor Diésel.....	43
<b>9.6</b>	<b>Utilización del Conjunto .....</b>	<b>43</b>

## **1 OBJETIVO**

El objetivo de este informativo es definir criterios para dimensionamiento de transformadores de potencia y grupos electrógenos diésel de emergencia, de centrales hidroeléctricas, para atender los sistemas auxiliares eléctricos.

Este texto está escrito, específicamente, para aplicación en servicios auxiliares de centrales hidroeléctricas, con unidades generadoras verticales accionadas por turbinas Francis, pero se puede aplicar a otro tipo de instalaciones de centrales eléctricas, u otro tipo de instalaciones, siempre que se realicen adaptaciones al tipo de aplicación considerada.

## **2 DOCUMENTOS DE REFERENCIA**

### **2.1 Informativos Técnicos**

IT.EL.SA.CA.01.R1 Tensiones Nominales y Variaciones de Tensión

### **2.2 Planillas**

PL.EL.SA.AC.01.R1 TRANSFORMADORES DE POTENCIA Cálculo de la Tensión en los Terminales

PL.EL.SA.CA.02.R1 GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL - Cálculo de la Reactancia Transitoria

PL.EL.SA.CA.03.R1 GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL - Cálculo de la Tensión en los Terminales

## **3 CONSIDERACIONES INICIALES**

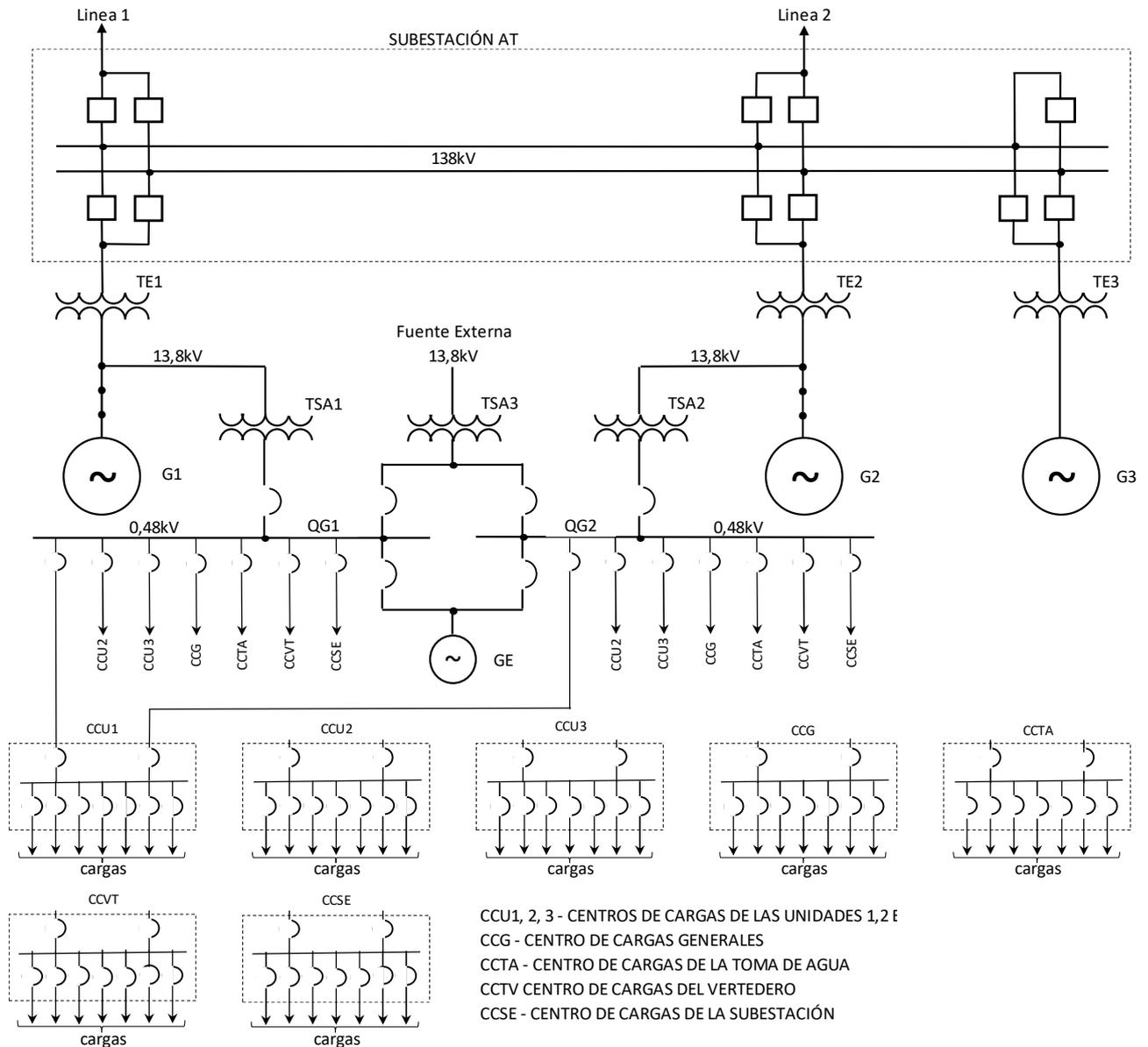
La definición de las potencias eléctricas nominales y características de los equipos (transformadores, grupos electrógenos, centros de carga, cuadros eléctricos, etc.) depende del conocimiento que se tenga de las cargas de la instalación y de sus condiciones de funcionamiento. Por lo tanto, el profesional que pretende definir estas potencias debe tener estos conocimientos y, si es necesario, contar con el apoyo de profesionales de otras áreas para realizar esta tarea.

La configuración del sistema eléctrico de una central hidroeléctrica, así como de las instalaciones industriales, suele ser una definición que depende de una serie de factores como, por ejemplo, los estándares del cliente, el propósito y tamaño de la instalación, el sistema eléctrico interconectado, etc. A los efectos de este informativo, se considerará la configuración del diagrama a seguir, ya que permite comprender la necesidad de tener los conocimientos suficientes para aplicarlo en otras configuraciones, incluso en instalaciones industriales, con las respectivas adaptaciones.

Hay plantas hidroeléctricas con unidades accionadas principalmente por turbinas Francis, Pelton y Kaplan. Sin embargo, como se mencionó al principio, este trabajo se limitará a unidades verticales impulsadas por turbinas Francis.

Para dimensionar los transformadores de servicios auxiliares y el grupo electrógeno diésel de emergencia, es necesario conocer las cargas, finalidades, condiciones de operación y potencias.

La configuración del siguiente diagrama, que servirá para el desarrollo del razonamiento de este informativo, consta de tres unidades generadoras (G1, G2 y G3), que suministran potencia al sistema de alta tensión, a través de los transformadores elevadores (TE1, TE2 y TE3) y la Subestación AT en 138kV (en este caso, doble barra).



Los servicios eléctricos auxiliares son alimentados por dos unidades, G1 y G2, a través de los transformadores de servicios auxiliares (TSA1 y TSA2), en condiciones de emergencia por el grupo electrógeno diésel de emergencia (GE) y, ocasionalmente, por la fuente externa, a través del transformador TSA3. La fuente externa podría haberse omitido, porque el sistema de servicios auxiliares también puede ser alimentado, durante largos períodos de falta de energía, por las unidades generadoras (G1 y G2) o por el sistema de alta tensión, a través de los transformadores elevadores (TE1/TSA1 o TE2/TSA2), siempre que se instalen medios para aislar las unidades generadoras (G1 y G2).

Las cargas de la planta son alimentadas por los centros de cargas generales (QG1 y QG2), a través de los centros de carga distribuidos por la planta (CCU1, CCU2, CCU3, CCG, CCTA, CCVT y CCSE).

#### 4 CARGAS ELÉCTRICAS

Las cargas eléctricas de una instalación tienen la finalidad de atender equipos e instalaciones que, por su importancia, disponen de equipos redundantes para evitar la parada de la(s) unidad(es) por fallas o mantenimiento. Las cargas de la planta se pueden clasificar en continuas, intermitentes y esporádicas.

**Continuas:** Estas son las cargas que operan ininterrumpidamente para atender las necesidades de la instalación. Por ejemplo, bombas de circulación de aceite de cojinetes

de generadores, bombas de circulación de aceite de cojinetes de turbinas, sistemas de ventilación y escape de la Casa de Máquinas, sistemas de agua de refrigeración de unidades, etc.

**Intermitentes:** son las cargas que operan durante periodos limitados, dependiendo de las necesidades de la instalación. Por ejemplo, compresores de aire de servicio, bombas de drenaje, etc.

**Esporádicos:** son las cargas que operan en determinadas situaciones específicas de la instalación. Por ejemplo, bombas contra incendios, puente grúa, bombas de agotamiento, sistema de tratamiento de aceite, etc.

La clasificación de cargas se puede hacer con facilidad cuando se conocen las instalaciones, equipos y sus condiciones de operación.

En las centrales hidroeléctricas, las condiciones de operación a considerar son:

**Normal:** Esta condición considera todas las unidades generadoras en operación. En esta condición, además de las cargas permanentes, se deben considerar cargas que se pueden usar con todas las unidades en operación, tales como:

- El Sistema de Tratamiento de Aceite Aislante de Transformadores de Elevadores, que dependiendo de los criterios de operación y mantenimiento puede eventualmente ser utilizado en el transformador elevador de reserva, cuando exista e incluso en transformadores que estén en funcionamiento.
- Equipos de elevación y manipulación de cargas, como puente grúa, pórticos eléctricos, etc., que también se pueden utilizar durante el funcionamiento de todas las unidades porque, incluso sin utilizar las máximas capacidades de elevación y traslación, se utilizan para servicios de rutina.

**Mantenimiento:** esta condición generalmente considera una unidad en mantenimiento y las otras en operación. En esta condición, además de las cargas de las unidades que permanecen en operación, se deben considerar las cargas que operan específicamente en esta situación, tales como:

- Bombas de agotamiento de tubos de succión.
- El sistema de tratamiento de aceite lubricante.
- Resistencias de calentamiento de pozo del generador.
- Puente grúa y pórticos.

**Emergencia:** esta condición ocurre con la falta de energía de las fuentes de TSA1, TSA2 y TSA3, asociada a la parada de las unidades generadoras. En esta etapa, el grupo diésel de emergencia entra en funcionamiento, manteniendo los sistemas importantes en funcionamiento. El funcionamiento degradado de la instalación es seguido por la puesta en marcha de una de las unidades generadoras, para restaurar el estado normal del sistema. El restablecimiento se lleva a cabo mediante el grupo electrógeno diésel de emergencia, que se encargará de alimentar las cargas de los sistemas auxiliares eléctricos.

#### **4.1 Definición de las Cargas de la Instalación**

Para dimensionar los componentes del sistema es necesario relacionar las cargas eléctricas, definir sus potencias y condiciones de funcionamiento. Los datos de las cargas deben ser definidos por los expertos de cada equipo o instalación, basándose en la información del diseño y/o de los fabricantes de equipos.

Para el caso de las centrales hidroeléctricas, que se consideran en este documento, las cargas y sus potencias también dependen del porte de la instalación.

## 4.2 Potencias Estimadas

Las potencias de las cargas son definidas por los responsables de cada equipo o instalación. Sin embargo, cuando esta información aún no está definida por los fabricantes, es necesario estimarla, en función de los datos del proyecto.

A seguir se proporcionan algunos criterios prácticos para estimar las potencias de algunos de los equipos más comunes:

### 4.2.1 Bombas

La potencia del motor de una bomba se puede estimar teniendo en cuenta que el dimensionamiento de la bomba se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$P_{(kW)} = \frac{Q \cdot h \cdot \rho}{3,67 \times \eta}$$

Dónde:

$P_{(kW)}$ - Potencia absorbida por la bomba (kW)

Q – Caudal de la bomba (m<sup>3</sup>/h)

h- Altura manométrica (mca)

$\rho$ - Densidad del líquido (para agua igual a 1,0)

$\eta$  – Rendimiento de la bomba (%)

Dado que, normalmente, sólo se conoce el caudal y la altura del manómetro, adoptar  $\eta=80\%$ .

De acuerdo con las recomendaciones de API 610, el motor debe elegirse de acuerdo con la siguiente tabla:

**Table 12 — Power ratings for motor drives**

Motor nameplate rating		Percentage of rated pump power
kW	hp	%
< 22	< 30	125
22 to 55	30 to 75	115
> 55	> 75	110

O sea,

Para una bomba con un caudal de 75m<sup>3</sup>/h de agua y una altura manométrica de 60m, la potencia absorbida por la bomba será:

$$P_{(kW)} = \frac{75 \times 60 \times 1,0}{3,67 \times 80} = 15,33kW$$

Por lo tanto, considerando el porcentaje del API 610, la potencia nominal del motor debe ser el 125% de la potencia absorbida por la bomba, es decir:

$$P_{motor(kW)} = 15,33 \times 1,25 = 19,16kW$$

El motor que se considerará será el motor con la potencia estandarizada más alta, es decir, 22kW (30 hp).

### 4.2.2 Compresores

Los compresores de aire de servicio suelen ser equipos estandarizados por los fabricantes y la mejor solución es utilizar los datos de los catálogos disponibles, en base a la información de las necesidades de la instalación.

Los compresores específicos, como los compresores reguladores de velocidad de la turbina, son definidos por el fabricante de la turbina y, cuando su potencia no está disponible, deben ser estimados por el especialista del equipo o instalación.

#### 4.2.3 Equipos de Elevación y Manejo de Cargas

Los equipos de elevación y manejo de cargas solo pueden operarse con un movimiento a la vez, es decir, traslación, dirección o elevación. Sin embargo, como la mayor carga es la de elevación, podemos considerar que la fórmula a utilizar es:

$$Potencia(cv) = \frac{C \times v \times 100}{75\eta} f_s$$

Dónde:

- $C$  Carga a levantar (kg)
- $v$  Velocidad de elevación (m/s)
- $\eta$  Rendimiento del equipo (%)
- $f_s$  Factor de seguridad

En ausencia de datos, considere el rendimiento del equipo en un 80% y adopte un factor de seguridad de 1.2.

Un puente grúa para levantar una carga de 90t a una velocidad máxima de 3 m/min (0,05 m/s) tendrá una potencia aproximada de:

$$Potencia(cv) = \frac{C \times v \times 100}{75\eta} f_s = \frac{90000 \times 0,05 \times 100}{75.80} 1,2 = 90 cv$$

El motor que se considerará será el motor con la potencia estandarizada más alta, es decir, 100 hp.

## 5 CARGAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

A continuación, se detallan las cargas que normalmente se encuentran en las centrales hidroeléctricas, con vistas al dimensionamiento de los transformadores de servicios auxiliares y del grupo electrógeno diésel de emergencia.

Dependiendo de la cantidad y potencia de las unidades generadoras, puede haber un aumento, reducción o variaciones en las potencias y cantidad de cargas, que deben estar sujetas a ajuste, pero no cambian el propósito de este documento. La definición de las cargas, tipo y condiciones de operación, se describen con el fin de caracterizar la necesidad e importancia del conocimiento que debe tener el responsable del dimensionamiento de las instalaciones, para dimensionar correctamente los transformadores de servicios auxiliares y grupo electrógeno diésel de emergencia.

### 5.1 Unidades Generadoras

Cada unidad generadora suele tener las siguientes cargas:

#### 5.1.1 Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina

Estas bombas forman parte del sistema de accionamiento del regulador de velocidad de la turbina. Por lo general, hay al menos dos bombas, una principal, que funciona continuamente, y la otra de reserva.

#### 5.1.2 Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador

Estas bombas tienen la función de mantener lubricado el cojinete combinado, de empuje y guía, del generador. Estas bombas funcionan durante todo el proceso de puesta en marcha de la unidad generadora hasta la parada completa. Existen dos bombas, una principal y una de reserva.

#### 5.1.3 Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina

Estas bombas tienen la función de mantener lubricado el cojinete guía de la turbina. Estas bombas funcionan durante todo el proceso de puesta en marcha de la unidad generadora hasta la parada completa. Existen dos bombas, una principal y una de reserva.

#### 5.1.4 Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje

Esta bomba tiene la función de crear una película de aceite, en el cojinete de empuje, para permitir la puesta en marcha del generador. Esta bomba funciona solo al inicio de la partida y al final de la parada de la unidad, pero excepcionalmente, por ejemplo, en caso de una falta de energía, la unidad debe poder parar sin necesidad de esta bomba.

Algunas unidades más antiguas no tienen el sistema de inyección de aceite. Sin embargo, cuando paran durante un cierto tiempo, la creación de la película de aceite en el cojinete de empuje, para la puesta en marcha, se realiza levantando el rotor con el uso del sistema de frenado, a través de la bomba de levantamiento del rotor.

#### 5.1.5 Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina

Estas bombas tienen la función de drenar el agua que se filtra a través del sello del eje de la turbina. Estas bombas funcionan de forma intermitente. Por lo general, hay dos bombas, una principal y una de reserva.

#### 5.1.6 Resistencias de Calefacción del Generador

Las resistencias de calefacción del generador tienen la función de evitar la humedad en los devanados del generador. Estas resistencias funcionan solo cuando la unidad está parada o en mantenimiento.

#### 5.1.7 Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina

Este extractor tiene la finalidad de retirar del ambiente del pozo de la turbina, el vapor de liberado por los cojinetes del generador. Estos extractores funcionan continuamente.

#### 5.1.8 Bombas o Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad

Dependiendo de la presión del conducto forzado, a veces es más conveniente realizar el enfriamiento en los intercambiadores de calor aire-agua del estator del generador y en los intercambiadores de calor aceite-agua de los sistemas de lubricación de los cojinetes de las unidades, utilizando el agua de aguas abajo de la planta. Este enfriamiento se realiza mediante bombas que operan durante todo el período de funcionamiento de las unidades generadoras. Dependiendo de la definición, un sistema de bombeo puede servir a más de una unidad generadora.

Cuando el agua de refrigeración se obtiene directamente del conducto forzado de las unidades, la circulación del agua se realiza mediante la apertura de una válvula, generalmente motorizada. La apertura de la válvula se realiza para establecer el sistema de enfriamiento y permitir la puesta en marcha de la unidad generadora. Su cierre se realiza después de la parada total de la unidad generadora.

#### 5.1.9 Cubículo de Excitación del Generador

La carga del cubículo de excitación del generador, que forma parte de la carga a considerar en el dimensionamiento de los transformadores de servicios auxiliares y del grupo electrógeno diésel de emergencia, consiste en la alimentación del transformador de excitación inicial del generador (Field Flash). Esta carga solo funciona al final de la puesta en marcha de la unidad y dura solo unos segundos.

#### 5.1.10 Auxiliares de los Transformadores de Elevadores

Las cargas auxiliares de los transformadores elevadores, que pueden formar parte de los sistemas de refrigeración forzada son, dependiendo del tamaño de los transformadores: ventilación forzada, circulación forzada de aceite aislante, circulación forzada de agua u otras cargas similares que se requieran. Estas cargas funcionan durante todo el período de funcionamiento de las unidades generadoras y, después de la parada, hasta que la temperatura de los sistemas atendidos permita su apagado.

#### 5.1.11 Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración

El motor del filtro autolimpiante funciona intermitentemente, siempre que el presostato diferencial detecta que el filtro está sucio.

## **5.2 Casa de Máquinas**

Las cargas comunes a todas las unidades de la Casa de Máquinas son:

### **5.2.1 Bombas de Drenaje**

El sistema de drenaje es atendido por dos o más bombas, diseñadas para bombear las aguas de percolación y el agua de servicio utilizada en la Casa de Máquinas al canal de escape. En este sistema se utilizan dos bombas, una principal y otra reserva. La bomba principal funciona de forma intermitente y la bomba de reserva generalmente solo en casos excepcionales, como en caso de incendio.

### **5.2.2 Compresores de Aire de Regulación de Velocidad**

El sistema de aire comprimido de los reguladores de velocidad generalmente se compone de un conjunto de dos compresores y un depósito de aire de alta presión, que alimentan los sistemas de regulación de velocidad de las tres turbinas. Los compresores funcionan de forma intermitente, uno principal y el otro de reserva.

### **5.2.3 Sistema de Ventilación y Extracción**

El sistema de ventilación y escape tiene la función de mantener la temperatura en los ambientes de la Casa de Máquinas, dentro de los valores definidos en el proyecto, garantizando el confort térmico, la salud y la seguridad de las personas. La cantidad de ventiladores y extractores del sistema depende del tamaño y la disposición física de la Casa de Máquinas. El funcionamiento de los ventiladores y extractores del sistema es continuo y pocos equipos tienen reservas, como los sistemas de ventilación y extracción de salas de baterías. En las salas de baterías, con baterías del tipo ventilado, la ventilación y la extracción tienen el propósito de diluir la concentración de hidrógeno producida por las baterías para evitar el riesgo de explosión.

### **5.2.4 Sistema de Aire Acondicionado**

El sistema de aire acondicionado tiene la función de dar confort térmico a las personas que trabajan en ambientes confinados y mantener la temperatura en ambientes que cuentan con equipos que requieren aire acondicionado. En las centrales hidroeléctricas estos ambientes son las salas de control, salas de baterías selladas y oficinas. La cantidad de equipo depende del número y tamaño de los ambientes que requieren aire acondicionado. El funcionamiento de los sistemas es continuo y cuentan con equipos principales y reservas.

### **5.2.5 Compresores de Aire de Servicio**

El sistema de aire de servicio de la planta está compuesto por dos compresores, que acumulan aire en un depósito que suministra aire a toda la instalación, incluidos los depósitos individuales del sistema de frenado de las unidades generadoras. Los compresores funcionan intermitentemente, uno es el compresor principal y el otro un compresor de respaldo.

### **5.2.6 Sistema de Telecomunicaciones**

La carga del sistema de telecomunicaciones consiste en cargadores de baterías del sistema de telecomunicaciones. Esta carga es una carga constante y tiene redundancia, de la misma manera que el sistema de corriente continua Casa de Máquinas.

### **5.2.7 Cargadores de Baterías**

Los cargadores de baterías tienen la función de cargar y mantener cargadas las baterías de los sistemas de corriente continua de la planta. Dependiendo de la importancia de los sistemas, hay al menos dos conjuntos de cargadores y baterías. Los dos cargadores funcionan continuamente en régimen flotante, es decir, mantienen las baterías cargadas y alimentan el consumo de corriente continua de la planta. Cuando se descargan las baterías, los cargadores comienzan a cargar las baterías y están dimensionados para, simultáneamente, alimentar las cargas de corriente continua de la planta.

### 5.2.8 Transformadores de Iluminación y Calefacción

Los transformadores de iluminación y calefacción tienen la función de atender las cargas de las instalaciones de iluminación y calefacción de la planta. La cantidad y potencia de estos transformadores depende del tamaño y configuración de la instalación. Estos transformadores funcionan continuamente con carga que se puede reducir por la noche.

### 5.2.9 Ascensor de Personas

Dependiendo de la disposición de la Casa de Máquinas, puede ser necesario instalar un ascensor para transportar personas.

### 5.2.10 Auxiliares del Grupo Electrógeno Diésel de Emergencia

La carga de los auxiliares del grupo eléctrico diésel de emergencia consiste en el conjunto de accesorios necesarios para mantener el grupo listo para partir. Estas cargas son, transformador de control, precalentador de motor y bomba de transferencia de combustible.

### 5.2.11 Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor

El sistema de frenado y levantamiento del rotor consiste en un sistema de aire y aceite. El aire se obtiene del sistema de aire de servicio de la Casa de Máquinas, que se almacena en el tanque de la unidad, específico para el sistema de frenado. El aceite para levantar el rotor es bombeado por la bomba del sistema de frenos. La carga del sistema de frenado y levantamiento, a efectos de cargas eléctricas, consiste únicamente en la bomba de aceite. Por lo general, hay un sistema de elevación de rotor único que sirve a todas las unidades. Este sistema se utiliza, cuando es necesario, durante los servicios de mantenimiento de las unidades.

### 5.2.12 Bombas de Agotamiento

El sistema de agotamiento consiste en bombas diseñadas para agotar el agua del conducto forzado, la caja espiral de la turbina y el tubo de succión de la unidad generadora. Este sistema solo funciona cuando es necesario realizar servicios de mantenimiento en la turbina y generalmente consta de dos bombas, que pueden funcionar simultáneamente, para reducir el tiempo de agotamiento.

### 5.2.13 Bombas Contra Incendios

El sistema contra incendios consta de dos bombas diseñadas para combatir el fuego en las instalaciones. Este sistema generalmente está provisto de dos bombas, una principal y otra de respaldo. En algunas instalaciones, la bomba de respaldo es accionada por un motor diésel.

### 5.2.14 Puente Grúa de la Casa de Máquinas

El puente grúa de la Casa de Máquinas tiene el propósito de mover todos los equipos y cargas, siendo dimensionada para levantar la carga más pesada de la planta, que es el rotor del generador. Aunque está dimensionado para levantar el rotor del generador con la máxima velocidad, es mucho más utilizado para mover cargas más pequeñas. Las cargas de un puente grúa son elevación, dirección y traslación.

### 5.2.15 Tomas de Fuerza

Las tomas de fuerza se distribuyen por toda la instalación, con el fin de satisfacer las cargas necesarias para realizar servicios con equipos más pesados como máquinas de soldar, compresores, sistemas móviles de tratamiento de aceites, etc.

### 5.2.16 Sistemas Móviles de Tratamiento de Aceites Aislantes y Lubricantes

El aceite aislante y los sistemas de tratamiento de aceite lubricante suelen ser unidades portátiles que están conectadas a tomas de fuerza cerca del equipo que se reparará.

### 5.2.17 Pórtico Rodante Aguas Abajo

Las cargas del pórtico rodante aguas abajo son las necesarias para realizar los servicios de mantenimiento, colocación y retirada de los stop logs y compuertas de los tubos de succión de las unidades, que permiten el agotamiento del conducto forzado, caja espiral y tubo de aspiración de la unidad en la que se va a realizar el mantenimiento. Estas cargas son la grúa de elevación, la dirección y la traslación del pórtico.

## **5.3 Toma de Agua**

Las cargas de la toma de agua consisten, además de algunas tomas de fuerza y paneles de iluminación, de las siguientes cargas relevantes:

### 5.3.1 Pórtico Rodante de la Toma de Agua

Las cargas de la toma de agua son las requeridas para los servicios de mantenimiento de los stop logs y compuertas de la toma de agua de las unidades generadoras. Estas cargas son la elevación, dirección y traslación del pórtico y, en algunos casos, la máquina limpia rejas.

### 5.3.2 Central Hidráulica de las Compuertas de Toma de Agua

Las compuertas de la toma de agua mantienen el flujo de agua de las unidades generadoras. Estas compuertas se abren para permitir la puesta en marcha de la unidad y se mantienen abiertas, incluso cuando las unidades están paradas. Cada unidad generadora tiene su propia compuerta o conjunto de compuertas, que se cierran en caso de emergencia o por mantenimiento.

Las compuertas son accionadas por un sistema hidráulico, que puede servir a varias unidades. El sistema cuenta con una central hidráulica, equipada con dos bombas de aceite, una principal y otra reserva. Una de las bombas funciona cuando es necesario abrir una puerta o cuando es necesario reponer la posición de la puerta. La reposición de la compuerta es una operación esporádica, que ocurre debido a pequeñas fugas en el sistema hidráulico, lo que provoca la actuación del sensor de posición de la compuerta.

## **5.4 Vertedero**

Las cargas del vertedero consisten, además de algunas tomas de fuerza y paneles de iluminación, en las siguientes cargas relevantes:

### 5.4.1 Pórtico Rodante del Vertedero

Las cargas del pórtico del vertedero son las necesarias para los servicios de mantenimiento de los stop logs y compuertas del vertedero. Estas cargas son la grúa de elevación, la dirección y la traslación.

### 5.4.2 Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero

Las compuertas del vertedero sirven para drenar el exceso de agua acumulada en el embalse o para mantener el caudal mínimo del río cuando se produce un problema en la planta. Por su propósito, estas compuertas rara vez se operan, y cuando lo son, operan una a la vez para mantener una pequeña abertura para que pase el agua.

Las compuertas son accionadas por un sistema hidráulico, que puede servir a más de una unidad. El sistema cuenta con una central hidráulica, equipada con dos bombas de aceite, una principal y otra reserva. Una de las bombas funciona cuando es necesario abrir una compuerta o cuando es necesario reponer la posición de la compuerta. La reposición de la compuerta es una operación esporádica, que ocurre debido a pequeñas fugas en el sistema hidráulico, lo que provoca la actuación del sensor de posición de la compuerta.

## **5.5 Subestación AT**

La carga de una subestación consiste básicamente en tomas de fuerza, iluminación y el accionamiento de interruptores de desconexión y compresores de los disyuntores del sistema de alta tensión.

En una gran central eléctrica, las instalaciones eléctricas de baja tensión de la subestación son alimentadas por transformadores dedicados, que pueden dimensionarse en función de los mismos conceptos utilizados aquí.

## **6 DEFINICIÓN DE LAS CARGAS**

Para la definición de las potencias necesarias de los transformadores de servicios auxiliares y del grupo electrógeno diésel de emergencia es necesario, en base al conocimiento del funcionamiento, uso y condiciones de operación de las cargas, definir el consumo de las instalaciones en cada situación de operación de la planta.

Para consolidar los conceptos de este documento se considerarán las cargas de una planta, compuesta por 3 unidades generadoras y una subestación asociada de pequeño porte, tal y como se representa en el diagrama unifilar mostrado al inicio de este documento. Todas las cargas utilizadas en esta simulación son estimadas y están destinadas a ilustrar la definición de los consumos.

Para la elevación y manejo de cargas, se considerará que solo se realiza un movimiento a la vez. Por lo tanto, solo se considerarán las cargas más grandes, que son las de las grúas principales.

### **6.1 Unidades generadoras**

A seguir son indicadas las cargas específicas de las unidades generadoras de la planta y se aplican las consideraciones sobre su funcionamiento y operación. En la siguiente lista se indican las cargas que se considerarán, para cada unidad.

#### **6.1.1 Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina**

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 100 hp, una principal y otra reserva.

#### **6.1.2 Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador**

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 10 hp, una principal y otra reserva.

#### **6.1.3 Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina**

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 7,5 CV, una principal y otra reserva.

#### **6.1.4 Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje**

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 15 hp, una principal y otra reserva.

#### **6.1.5 Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina**

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 3 hp, una principal y otra reserva.

#### **6.1.6 Resistencias de Calefacción del Generador**

Se considerarán resistencias de calefacción del generador con una potencia total de 15 kW.

#### **6.1.7 Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina**

Se considerará un extractor accionado por un motor de 0,5 CV.

#### **6.1.8 Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad**

Se considerará una válvula motorizada accionada por un motor de 1,5 CV.

#### 6.1.9 Cubículo de Excitación del Generador

Se considerará un transformador de excitación inicial (Field Flash) de 10kVA.

#### 6.1.10 Auxiliares de los Transformadores de Elevadores

Se considerará un conjunto de ventiladores, accionados por motores, con una potencia total de 30kVA.

#### 6.1.11 Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración

El motor de filtro autolimpiante se considerará con una potencia de 1.5 hp.

### **6.2 Casa de Máquinas**

Las siguientes son las cargas comunes de la central eléctrica y se aplican las consideraciones sobre su funcionamiento y operación. En la siguiente lista se indican las cargas que se considerarán.

#### 6.2.1 Bombas de Drenaje

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 20 hp, una principal y otra reserva.

#### 6.2.2 Compresores de Aire de Regulación de Velocidad

Se considerarán dos compresores accionados por motores de 30 CV, uno principal y el otro de reserva.

#### 6.2.3 Sistema de Ventilación y Extracción

Se considerará un conjunto de ventiladores infladores y extractores, accionados por motores, totalizando una potencia de 75 hp.

#### 6.2.4 Sistema de Aire Acondicionado

Se considerará un conjunto de equipos de acondicionamiento, totalizando una potencia continua de 30 CV.

#### 6.2.5 Compresores de Aire de Servicio

Se considerarán dos compresores accionados por motores de 15 CV, uno principal y el otro de reserva.

#### 6.2.6 Sistema de Telecomunicaciones

Se considerará un sistema de telecomunicaciones con un consumo total continuo de 10kVA.

#### 6.2.7 Cargadores de Baterías

Se considerarán dos cargadores de baterías, cada uno con una potencia nominal de 15kVA, con un consumo permanente de 5kVA total, en régimen flotante.

#### 6.2.8 Transformadores de Iluminación y Calefacción

Se considerarán un total de 6 transformadores de iluminación y calefacción, cada uno con una potencia nominal de 10kVA, para satisfacer las cargas de la casa de máquinas. El consumo total del conjunto de transformadores será de 30kVA.

#### 6.2.9 Ascensor de Personas

Se considerará un ascensor con consumo esporádico de 7,5kVA.

#### 6.2.10 Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia

Se considerará un consumo total continuo de 1,5kVA.

#### 6.2.11 Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor

Se considerará una bomba accionada por un motor de 3 hp para levantar el rotor de una unidad.

#### 6.2.12 Bombas de Agotamiento

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 30 hp, y ambas bombas pueden funcionar simultáneamente.

#### 6.2.13 Bombas Contra Incendios

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 40 hp, una principal y otra reserva.

#### 6.2.14 Puente Grúa de la Casa de Máquinas

Solo se considerará la potencia del cabrestante principal con potencia de 75 hp, que opera a carga máxima solo durante el período de mantenimiento, para la elevación del rotor del generador de la unidad y, en otras ocasiones, con potencia arbitrada de 20kVA para mover cargas más pequeñas.

Aunque el cabrestante principal del puente grúa cumple con la mayor carga de la planta, y está dimensionado para levantar el rotor del generador con la máxima velocidad, esta operación ocurre raramente y cuando es necesario ensamblar y desmontar la unidad. Sin embargo, cuando ocurre, debido a que es una operación delicada e involucra una parte vital, difícilmente la elevación del rotor se realiza con la máxima velocidad, por el contrario, esta operación se realiza con todo cuidado, en intervalos de operación cortos (unos minutos) y bajas velocidades.

#### 6.2.15 Tomas de Fuerza

Se considerará un conjunto de 10 tomas de fuerza distribuidas por la casa de máquinas, con potencia individual de 30kVA y consumo esporádico total de 30kVA, durante el funcionamiento normal de la planta y, 60kVA, también esporádica, durante los servicios de mantenimiento de una unidad.

#### 6.2.16 Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante

El sistema móvil de tratamiento de aceite aislante será considerado como una carga esporádica de 60kVA, durante los servicios de mantenimiento de una unidad generadora o mantenimiento de un transformador de respaldo, que consideraremos que existe.

#### 6.2.17 Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante

El sistema móvil de tratamiento de aceite lubricante se considerará como una carga esporádica de 30kVA, durante los servicios de mantenimiento de una unidad generadora.

#### 6.2.18 Pórtico Rodante Aguas Abajo

Solo se considerará el cabrestante principal del pórtico rodante, con potencia esporádica de 15 hp, que puede operar en caso de mantenimiento.

### **6.3 Toma de Agua**

A seguir se relacionan las cargas específicas de la toma de agua con las consideraciones sobre su funcionamiento y operación. En la siguiente lista se indican las cargas que se considerarán.

#### 6.3.1 Transformador de iluminación y calefacción

Se considerará un transformador único de iluminación y calefacción, con una potencia nominal de 10kVA. El consumo permanente considerado será de 5kVA.

#### 6.3.2 Tomas de fuerza

Durante los servicios de mantenimiento se considerarán 2 tomas de fuerza, con una potencia individual de 30kVA y un consumo esporádico de 15kVA.

### 6.3.3 Pórtico Rodante Aguas Arriba

Solo se considerará el cabrestante principal del pórtico rodante, con potencia esporádica de 20 hp, que puede funcionar en caso de mantenimiento.

### 6.3.4 Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua

Se considerarán dos bombas accionadas por motores de 15 hp, con operación esporádica, una principal y otra reserva.

## **6.4 Vertedero**

Las siguientes son las cargas específicas del vertedero, con consideraciones sobre su funcionamiento y operación. En la siguiente lista se indican las cargas que se considerarán.

### 6.4.1 Transformador de iluminación y calefacción

Se considerará un transformador único de iluminación y calefacción, con una potencia nominal de 10kVA. El consumo permanente considerado será de 5kVA.

### 6.4.2 Tomas de fuerza

Durante los servicios de mantenimiento se considerarán 2 tomas de fuerza, con una potencia individual de 30kVA y un consumo esporádico de 15kVA.

### 6.4.3 Pórtico Rodante del Vertedero

Solo se considerará el cabrestante principal del pórtico rodante, con potencia esporádica de 15 hp, que puede operar en caso de mantenimiento.

### 6.4.4 Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero

Se considerarán dos bombas impulsadas por motores de 7,5 CV, con funcionamiento esporádico, una principal y otra reserva.

## **6.5 Subestación AT**

Las siguientes son las cargas específicas de la subestación, con consideraciones sobre su funcionamiento y operación. En la siguiente lista se indican las cargas que se considerarán.

### 6.5.1 Transformador de Iluminación y Calefacción

Se considerará un transformador único de iluminación y calefacción, con una potencia nominal de 10kVA. El consumo permanente considerado será de 5kVA.

### 6.5.2 Tomas de fuerza

Durante los servicios de mantenimiento se considerarán 2 tomas de fuerza, con una potencia individual de 30kVA y un consumo esporádico de 15kVA.

### 6.5.3 Interruptores y disyuntores

Como las cargas de una subestación se refieren a los motores de compresores de disyuntores y motores de accionamiento de seccionadores, se considerará una carga instalada de 30kVA con un consumo esporádico de 5kVA, porque los interruptores y disyuntores se activan uno a la vez.

## **7 CÁLCULO DE LOS CONSUMOS**

Para facilitar el cálculo de los consumos, las cargas se indicarán en tablas que contienen su información y condiciones de operación.

En condiciones normales, la puesta en marcha y la parada de una unidad son operaciones que toman minutos, la operación de las unidades muchos meses y el mantenimiento unos pocos días o semanas.

En los cálculos se utilizará la siguiente aproximación:

$$1\text{cv} = 1\text{hp} = 1\text{kW} = 1\text{kVA}$$

Leyenda utilizada en las tablas:

Carga Continua   
 Carga Intermittente   
 Carga Esporádica 

### 7.1 Cargas de las Unidades

La siguiente tabla muestra las cargas de una unidad:

CARGAS DE UNA UNIDAD									
DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA								
	REAL	kVA							
		INSTALADA	INICIO DE PARTIDA	PARTIENDO	FINAL DE PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DE PARADA	PARADA
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina (2)	100 cv	200	100	100	100	100	100	100	
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador (2)	10 cv	20	10	10	10	10	10	10	
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina (2)	7,5 cv	15	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje (2)	15 cv	30	15	15			15	15	
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina (2)	3 cv	6	3	3	3	3	3	3	3
Resistencias de Calefacción del Generador (1)	15 kW	15							15
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina (1)	0,5 cv	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad (1)	1,5 cv	1,5	1,5					1,5	
Cubículo de Excitación del Generador (1)	10 kVA	10			10				
Auxiliares de los Transformadores de Elevadores (1)	30 kVA	30	30	30	30	30	30	30	
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración (1)	1,5 cv	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	-	-	<b>164,5</b>	<b>163,0</b>	<b>158,0</b>	<b>148,0</b>	<b>163,0</b>	<b>164,5</b>	<b>15,5</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	-	-	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	-	-	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	-	<b>329,5</b>	<b>169,0</b>	<b>167,5</b>	<b>162,5</b>	<b>152,5</b>	<b>167,5</b>	<b>169,5</b>	<b>18,5</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 7.2 Cargas de la Casa de Máquinas

A seguir están relacionadas las cargas de la casa de máquinas y se aplican las consideraciones sobre su funcionamiento y operación. La condición normal considera las tres unidades en operación, el mantenimiento considera solo una unidad en mantenimiento y, la condición de emergencia, las tres unidades paradas, sin energía en los tres transformadores de servicios auxiliares.

<b>CARGAS DE LA CASA DE MÁQUINAS</b>					
DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA				
	REAL	kVA			
		INSTALADA	OPERACIÓN NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Bombas de Drenaje (2)	20 cv	40	20	20	20
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad (2)	30 cv	60	30	30	30
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	75 cv	75	75	75	10
Sistema de Aire Acondicionado (2)	30 cv	60	30	30	15
Compresores de Aire de Servicio (2)	15 cv	30	15	15	15
Sistema de Telecomunicaciones (2)	10 kVA	20	10	10	10
Cargadores de Baterías (2)	15 kVA	30	5	5	5
Transformadores de Iluminación y Calefacción (6)	10 kVA	60	30	30	30
Ascensor de Personas (1)	7,5 kVA	7,5	7,5	7,5	7,5
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia (1)	1,5 kVA	1,5	1,5	1,5	1,5
Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor (1)	3 cv	3		3	
Bombas de Agotamiento (2)	30 cv	60		60	
Bombas Contra Incendios (2)	50 cv	100	50	50	50
Puente Grúa de la Casa de Máquinas (1)	75 cv	75	20	20	
Tomas de Fuerza (10)	30 kVA	300	30	60	
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante (1)	60 kVA	60	60	60	
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante (1)	30 kVA	30		30	
Pórtico Rodante Aguas Abajo (1)	15 kVA	15		15	
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	-	-	<b>151,5</b>	<b>151,5</b>	<b>71,5</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	-	-	<b>65,0</b>	<b>65,0</b>	<b>65,0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	-	-	<b>167,5</b>	<b>305,5</b>	<b>57,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	-	<b>1027,0</b>	<b>384,0</b>	<b>522,0</b>	<b>194,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 7.3 Cargas de la Toma de Agua

Las siguientes son las cargas de la toma de agua y aplicadas las consideraciones sobre su funcionamiento y operación.

<b>CARGAS DE LA TOMA DE AGUA</b>					
DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA				
	REAL	kVA			
		INSTALADA	OPERACIÓN NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	10 kVA	10	5	5	5
Tomas de Fuerza (2)	30 kVA	60	15	15	
Pórtico Rodante Aguas Arriba (1)	20 cv	20		20	
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua (2)	15 cv	30	15	15	15
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	-	-	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	-	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	-	-	<b>30,0</b>	<b>50,0</b>	<b>15,0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	-	<b>120,0</b>	<b>35,0</b>	<b>55,0</b>	<b>20,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

#### 7.4 Cargas del Vertedero

A continuación, se detallan las cargas del vertedero y se aplican las consideraciones sobre su funcionamiento y operación.

<b>CARGAS DEL VERTEDERO</b>					
DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA				
	REAL	kVA			
		INSTALADA	OPERACIÓN NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	10 kVA	10	5	5	5
Tomas de Fuerza (2)	30 kVA	60	15	15	
Pórtico Rodante del Vertedero (1)	15 cv	15		15	
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero (2)	7,5 cv	15	7,5	7,5	7,5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	-	-	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	-	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	-	-	<b>22,5</b>	<b>37,5</b>	<b>7,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	-	<b>100,0</b>	<b>27,5</b>	<b>42,5</b>	<b>12,5</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

#### 7.5 Cargas de la Subestación de AT

A continuación, se detallan las cargas de la subestación AT y se aplican las consideraciones sobre su funcionamiento y operación.

CARGAS DE LA SUBESTACIÓN DE AT					
DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA				
	REAL	kVA			
		INSTALADA	OPERACIÓN NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	10 kVA	10	5	5	5
Tomas de Fuerza (2)	30 kVA	60	10	10	
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	30 cv	30	5	5	5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	-	-	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	-	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	-	-	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	-	<b>100,0</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>	<b>10,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

## 8 TRANSFORMADORES

La potencia nominal mínima de un transformador deberá satisfacer el consumo continuo y el consumo del funcionamiento simultáneo de cargas intermitentes y esporádicas de la instalación, en condiciones normales de funcionamiento o mantenimiento.

La dificultad de dimensionar los transformadores consiste en definir la simultaneidad de operación de cargas intermitentes y esporádicas, así como su tiempo de operación. Algunas de estas cargas pueden funcionar durante largos períodos, como los sistemas de tratamiento de aceite; otros por periodos muy cortos, del orden de minutos, como es el caso de grúas, pórticos, ascensores y centrales hidráulicas de compuertas. Por lo tanto, la definición de las cargas que deben considerarse debe hacerse en base al conocimiento de las instalaciones.

Las cargas de los servicios auxiliares de la planta son alimentadas por los transformadores TSA1 y TSA2, y cada transformador está dimensionado para alimentar toda la instalación en cualquier condición de operación. De esta manera, cada transformador cubriría el 50% de la carga de la planta y, en caso de falla en uno de ellos, el otro transformador asume toda la carga.

Las potencias de los transformadores se definen al inicio del proyecto, es decir, todavía con datos estimados de las cargas. Dependiendo de los criterios de diseño, los requisitos del cliente, las incertidumbres de carga, la previsión de expansiones, etc., se aplican factores de seguridad en el dimensionamiento de la potencia nominal de los transformadores. Por lo tanto, los transformadores suelen funcionar al 50% de la carga real, que es menor que la carga nominal calculada.

Para instalaciones industriales y comerciales, donde el consumo de energía ocurre en ciclos de carga definidos, por períodos de 24 horas, el dimensionamiento de los transformadores se puede realizar utilizando el criterio de la carga equivalente, determinado por el valor cuadrático medio de la carga según NBR 5146, ANSI C57.96, etc., es decir:

$$\text{Carga Equivalente} = \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + S_3^2 \cdot t_3 \dots + S_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}}$$

Donde  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ , son los pasos de carga y  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  los respectivos tiempos de duración.

Sucede que, en las centrales hidroeléctricas, la operación de las cargas no es cíclica. Por lo tanto, el criterio anterior no es aplicable, aunque hay muchas memorias de cálculo utilizando este criterio, considerando un porcentaje del valor de cargas intermitentes y esporádicas y arbitrando un tiempo de su operación. A continuación, se citan brevemente algunos ejemplos, que se utilizan en estas memorias, pero su discusión no será en profundidad porque se considera no aplicable:

- Considerar que el 50% de la potencia nominal de la bomba contra incendios, funcionando 2 horas cada 24 horas, no corresponde a la realidad. Una bomba contra incendios funcionará al 100% de la potencia nominal, durante el tiempo que sea necesario, e implicará también el funcionamiento simultáneo de las bombas de drenaje de la planta, incluidas las intermitentes, que drenarán el agua bombeada por las bombas contra incendios.

- Considerar el 30% de la potencia nominal del cabrestante principal del puente grúa de la casa de máquinas, operando 1 hora cada 24 horas, tampoco es correcto. El puente grúa se utiliza cuando es necesario y generalmente por períodos cortos y con cargas pequeñas. La carga más grande de la planta es el rotor del generador, que solo se iza durante el montaje o desmontaje de la(s) unidad(es) generadora(s), lo que ocurre raramente y, debido a que es una operación delicada, no se realiza continuamente con la velocidad máxima del puente.

- Considerar el 50% de la potencia nominal de una bomba de agotamiento, operando 1 hora cada 24 horas, no corresponde a la realidad. En caso de necesidad, las dos Bombas Agotamiento funcionarán al 100% de la potencia nominal, durante todo el tiempo previsto para llevar a cabo el agotamiento de la unidad.

## 8.1 Análisis dos Datos

Para definir la potencia de los transformadores es necesario analizar e interpretar los datos de las tablas y las condiciones de operación.

El análisis más importante será con respecto a la simultaneidad de operación de las cargas. Sin embargo, una vez eliminadas las imposibilidades de la ocurrencia de simultaneidad de operación de carga, la definición de consumo, en las diversas condiciones de operación de la planta, no será difícil de definir.

## 8.2 Operación Normal

En las condiciones normales de operación de la planta se considerarán las cargas de las 3 unidades generadoras en funcionamiento.

### 8.2.1 Carga de las Unidades

La carga más alta, en las condiciones normales de operación de la planta, puede ocurrir durante la puesta en marcha o parada de una unidad generadora y con las otras dos unidades en operación. La parada simultánea de todas las unidades se produce en caso de falla de tensión en la planta y, en este caso, las unidades deben poder parar, excepcionalmente, sin los sistemas auxiliares de las unidades.

CARGAS DE UNA UNIDAD							
DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA						
	INICIO DE PARTIDA	PARTIENDO	FINAL DE PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DE PARADA	PARADA
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina (2)	100	100	100	100	100	100	
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador (2)	10	10	10	10	10	10	
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina (2)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje (2)	15	15			15	15	
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina (2)	3	3	3	3	3	3	3
Resistencias de Calefacción del Generador (1)							15
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina (1)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad (1)	1,5					1,5	
Cubículo de Excitación del Generador (1)			10				
Auxiliares do Transformador Elevador (1)	30	30	30	30	30	30	
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración (1)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>164,5</b>	<b>163,0</b>	<b>158,0</b>	<b>148,0</b>	<b>163,0</b>	<b>164,5</b>	<b>15,5</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>169,0</b>	<b>167,5</b>	<b>162,5</b>	<b>152,5</b>	<b>167,5</b>	<b>169,5</b>	<b>18,5</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

Las cargas de las tres unidades se indican en la siguiente tabla

ESCRICÃO DA CARGA		POTÊNCIA kVA					
		INICIO DE PARTIDA	PARTIENDO	FINAL DE PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DE PARADA
Unidad 1 Partiendo o Parando	TOTAL, CONTÍNUA	164,5	163,0	158,0	148,0	163,0	164,5
	TOTAL, INTERMITENTE	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	TOTAL, ESPORÁDICO	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Unidades 2 e 3 en Operación	TOTAL, CONTÍNUA	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0
	TOTAL, INTERMITENTE	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	TOTAL, ESPORÁDICO	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Total, de las 3 unidades	TOTAL, CONTÍNUA	460,5	459,0	454,0	444,0	459,0	460,5
	TOTAL, INTERMITENTE	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
	TOTAL, ESPORÁDICO	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

### 8.2.2 Cargas de la Casa de Máquinas

Las cargas de la casa de máquinas, en condiciones normales de operación, que considera las tres unidades generadoras en operación, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA
Bombas de Drenaje (2)	20
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad (2)	30
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	75
Sistema de Aire Acondicionado (2)	30
Compresores de Aire de Servicio (2)	15
Sistema de Telecomunicaciones (2)	10
Cargadores de Baterías (2)	5
Transformadores de Iluminación y Calefacción (6)	30
Ascensor de Personas (1)	7,5
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia (1)	1,5
Bombas Contra Incendios (2)	50
Puente Grúa de la Casa de Máquinas (1)	20
Tomas de Fuerza (10)	30
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante (1)	60
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>151,5</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>65,0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>167,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>384,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 8.2.3 Cargas de la Toma de Agua

Las cargas de la toma de agua en condiciones normales de operación, que considera las tres unidades generadoras en operación, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DA CARGA	POTÈNCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Tomas de Fuerza (2)	15
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua (2)	15
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>30,0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>35,0</b>

### 8.2.4 Cargas del Vertedero

Las cargas del vertedero, en condiciones normales de operación, que considera las tres unidades generadoras en operación, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Tomas de Fuerza (2)	15
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero (2)	7,5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>22,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>27,5</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 8.2.5 Cargas de la Subestación de AT

Las cargas de la subestación de AT, en condiciones normales de operación, que considera las tres unidades generadoras en operación, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DA CARGA	POTENCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Tomas de Fuerza (2)	10
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>15,0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>20,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 8.2.6 Resumen

El resumen de las cargas de la planta, en las condiciones más severas de las tres unidades en operación, se indica en la siguiente tabla:

OPERACIÓN	POTENCIA kVA					
	3 unidades	Casa de Máquinas	Tomada de Agua	Vertedero	Subestación	Total
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>460,5</b>	<b>151,5</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>627,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>9,0</b>	<b>65,0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>74,0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>4,5</b>	<b>167,5</b>	<b>30,0</b>	<b>22,5</b>	<b>15,0</b>	<b>239,5</b>

## 8.3 Mantenimiento

En la condición de mantenimiento de la planta se considerarán las cargas de 2 unidades generadoras en funcionamiento y una parada, en mantenimiento.

8.3.1 Carga de las Unidades

La carga más alta, en la condición de mantenimiento de la planta, ocurre con una unidad generadora parada y las otras dos unidades en operación.

<b>CARGAS DE UNA UNIDAD</b>							
DESCRIPCIÓN DA CARGA	POTENCIA KVA						
	INICIO DE PARTIDA	PARTIENDO	FINAL DE PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DE PARADA	PARADA
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina (2)	100	100	100	100	100	100	
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador (2)	10	10	10	10	10	10	
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guia de la Turbina (2)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje (2)	15	15			15	15	
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina (2)	3	3	3	3	3	3	3
Resistencias de Calefacción del Generador (1)							15
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina (1)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad (1)	1,5					1,5	
Cubículo de Excitación del Generador (1)			10				
Auxiliares del Transformador Elevador (1)	30	30	30	30	30	30	
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración (1)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>164,5</b>	<b>163,0</b>	<b>158,0</b>	<b>148,0</b>	<b>163,0</b>	<b>164,5</b>	<b>15,5</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>169,0</b>	<b>167,5</b>	<b>162,5</b>	<b>152,5</b>	<b>167,5</b>	<b>169,5</b>	<b>18,5</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

Las cargas de las tres unidades se indican en la siguiente tabla:

CONDICIÓN DE OPERACIÓN DE LAS UNIDADES	POTENCIA KVA	
Unidad 1 Parada	TOTAL, CONTÍNUA	15,5
	TOTAL, INTERMITENTE	3,0
	TOTAL, ESPORÁDICO	0
Unidades 2 y 3 em Operación	TOTAL, CONTÍNUA	296,0
	TOTAL, INTERMITENTE	6,0
	TOTAL, ESPORÁDICO	3,0
Total, de las 3 unidades	TOTAL, CONTÍNUA	311,5
	TOTAL, INTERMITENTE	9,0
	TOTAL, ESPORÁDICO	3,0

### 8.3.2 Cargas de la Casa de Máquinas

Las cargas de la casa de máquinas, en la condición de mantenimiento, que considera dos unidades generadoras en operación y una en mantenimiento, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DA CARGA	POTENCIA kVA
Bombas de Drenaje (2)	20
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad (2)	30
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	75
Sistema de Aire Acondicionado (2)	30
Compresores de Aire de Servicio (2)	15
Sistema de Telecomunicaciones (2)	10
Cargadores de Baterías (2)	5
Transformadores de Iluminación y Calefacción (6)	30
Ascensor de Personas (1)	7,5
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia (1)	1,5
Bomba del Sistema de Levantamiento del Rotor (1)	3
Bombas de Agotamiento (2)	60
Bombas Contra Incendios (2)	50
Puente Grúa de la Casa de Máquinas (1)	20
Tomas de Fuerza (10)	60
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Aislante (1)	60
Sistema Móvil de Tratamiento de Aceite Lubricante (1)	30
Pórtico Rodante Aguas Abajo (1)	15
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>151,5</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>65,0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>305,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>522,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 8.3.3 Cargas de la Toma de Agua

Las cargas de la toma de agua en la condición de mantenimiento, que considera dos unidades generadoras en operación y una en mantenimiento, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN D LA CARGA	POTENCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Tomas de Fuerza (2)	15
Pórtico Rodante de Aguas Arriba (1)	20
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua (2)	15
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>50,0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>55,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 8.3.4 Cargas del Vertedero

Las cargas del vertedero, en la condición de mantenimiento, que considera dos unidades generadoras en operación y una en mantenimiento, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Tomas de Fuerza (2)	15
Pórtico Rodante del Vertedero (1)	15
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero (2)	7,5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>37,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>42,5</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 8.3.5 Cargas de la Subestación de AT

Las cargas de la subestación de AT, en condición de mantenimiento, que considera dos unidades generadoras en operación y una en mantenimiento, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Tomas de Fuerza (2)	10
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>15,0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>20,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 8.3.6 Resumen

El resumen de las cargas de la planta, en la condición de mantenimiento, que considera dos unidades generadoras en operación y una en mantenimiento, se indica en la siguiente tabla:

OPERACIÓN	POTENCIA kVA					
	3 Unidades	Casa de Máquinas	Toma de Agua	Vertedero	Subestación	Total
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	311,5	151,5	5,0	5,0	5,0	478,0
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	9,0	65,0	0	0	0	74,0
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	3,0	305,5	50,0	37,5	15,0	411,0

## 8.4 Potencia Nominal de los Transformadores

Con base en las condiciones de operación de la planta, normales y de mantenimiento, analizadas anteriormente, las cargas consideradas se indican a continuación:

POTENCIA kVA		
OPERACIÓN	Normal	Mantenimiento
TOTAL, CONTÍNUA (kVA)	627,0	478,0
TOTAL, INTERMITENTE (kVA)	74,0	74,0
TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)	239,5	411,0
TOTAL, GENERAL	940,5	963,0

A partir de estos datos, la potencia del transformador para cumplir con la mayor carga continua de la planta, que ocurre durante la operación normal, debe ser de 627.0kVA, ya que la carga continua durante la operación de mantenimiento es de 478.0kVA.

Si además de la carga continua de 627.0kVA, durante el funcionamiento normal de la planta, consideramos el funcionamiento del sistema móvil de tratamiento de aceite aislante (60kVA) y la bomba de drenaje (20kVA) o el compresor de aire de regulación (30kVA), totalizando una carga adicional de 80 o 90kVA, la potencia nominal mínima del transformador debe ser de 707.0kVA o 717.0kVA.

Si además de la carga continua de 478.0kVA, durante la operación de mantenimiento de la planta, consideramos la operación del sistema móvil de tratamiento de aceite aislante (60kVA), la bomba de drenaje (20kVA), o el compresor de aire regulador (30kVA) y las Bombas Agotamiento (2x30kVA), totalizando una carga adicional de 170kVA, la potencia mínima del transformador debe ser de 648.0.0kVA.

Para satisfacer ambas situaciones, la potencia nominal mínima de los transformadores debe ser de 717,0kVA. Para cumplir con esta carga, las potencias nominales estandarizadas de los transformadores, disponibles en el mercado, son 750 y 1000KVA. Para cumplir con los factores de seguridad de diseño y la incertidumbre de la información de diseño inicial, la potencia nominal de los transformadores de servicio auxiliar de la planta debe ser de 1000kVA.

Los transformadores instalados dentro de la casa de máquinas son del tipo seco, cuya impedancia de cortocircuito suele ser del 6%. La impedancia de los transformadores de aceite suele ser del 5%. El valor de la impedancia de cortocircuito, así como las derivaciones del devanado primario, deben definirse en la especificación correspondiente, dependiendo de los datos de carga y el estudio de las variaciones de voltaje en los diversos puntos del sistema.

### **8.5 Tensiones en el Secundario del Transformador**

Para hacer una verificación rápida de los valores de la tensión en el secundario de los transformadores, consideraremos la información del informativo IT.EL.SA.CA.01.R1 Tensiones Nominales y Variaciones de Tensión, donde se define que la tensión en el primario puede variar en el rango de 93 a 105% de la tensión nominal.

Usando la planilla de cálculo PL.EL.SA. AC.01.R1 TRANSFORMADORES DE POTENCIA - Cálculo de la Tensión en los Terminales y considerando la tensión primaria en el transformador al valor nominal, uso de la derivación nominal, carga máxima de potencia constante de 617kVA ( $\cong 717\text{kVA}-100\text{hp}$ ), 460V, factor de potencia 0.85, que después del arranque del motor de 100hp, totalizará los 717kVA estimados, y el arranque de un motor con los siguientes datos:

Potencia nominal: 100hp

Tensión nominal: 460V

Corriente de arranque: 1054A

Factor de potencia al inicio: 0.3

En estas condiciones, la tensión en el secundario del transformador será de 442.87V.

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)	13,8
	$k$	Tensión de la Derivación Utilizada del Primario (pu)	1
Datos de las Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potencia Nominal de la Carga Constante (kVA)	617
	$V_{C_{Kn}}$	Tensión Nominal de la Carga Constante (V)	460
	$FP_{C_K}$	Factor de Potencia de la Carga Constante	0,85
	$P_{C_{V_n}}$	Potencia Nominal de la Carga Variable (kVA)	
	$V_{C_{V_n}}$	Tensión Nominal de la Carga Variable (V)	
	$FPC_v$	Fcator de Potencia de la Carga Variable	
	$VM_{p_n}$	Tensión Nominal de Motor(es) (V)	460
	$IM_{p_n}$	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

$VT_s$ Tensión en los terminales del secundario del transformador (V)	442,87
---	--------

Realizando algunas simulaciones, cambiando el valor de la tensión en el primario del transformador (13.8KV, -7%, +5%), la derivación utilizada (0.95-1.0-1.05), la potencia de la carga constante 900kVA ( $\cong$ 1000kVA-100hp) y 617kVA ( $\cong$ 717kVA-100hp), considerando el arranque del motor de 100hp como la última carga a aplicar, podemos preparar la siguiente tabla:

$VP$ (kV)	$k$	$P_{C_{Kn}}$ (kVA)	$VT_s$ (V)
12,834	0,95	900	430,20
	1		403,32
	1,05		377,41
	0,95	617	436,55
	1		406,97
	1,05		385,38
13,8	0,95	900	466,03
	1		436,80
	1,05		409,57
	0,95	617	416,80
	1		442,87
	1,05		416,80
14,49	0,95	900	490,93
	1		460,55
	1,05		432,34
	0,95	617	495,73
	1		466,27
	1,05		439,13

Otras simulaciones pueden ser exploradas por el usuario para definir su aplicación a las condiciones específicas de su instalación y condiciones de operación.

**9 GRUPO ELECTRÓGENO DIÉSEL DE EMERGENCIA**

La potencia del grupo electrógeno diésel de emergencia de la planta debe satisfacer, en condiciones permanentes y transitorias, el consumo de cargas continuas y, simultáneamente, el consumo del funcionamiento de cargas intermitentes y esporádicas de la instalación, durante la operación de emergencia.

**9.1 Análisis de Datos**

Para definir la potencia del grupo electrógeno diésel de emergencia de la planta es necesario analizar e interpretar los datos de las tablas y las condiciones de operación.

**9.1.1 Carga de las Unidades**

La condición de operación de emergencia de la planta ocurre cuando las fuentes de corriente alternada de la planta fallan, lo que hace que las unidades generadoras paren. La parada de las unidades debe ocurrir, excepcionalmente, sin necesidad de la operación de sus sistemas auxiliares. El grupo electrógeno diésel de emergencia debe partir automáticamente y alimentar las cargas esenciales de la instalación y, para restablecer las condiciones normales de funcionamiento de la instalación, debe alimentar los sistemas auxiliares de la primera unidad durante su puesta en marcha. Antes de restablecer el estado normal del sistema, se pueden alimentar cargas no esenciales siempre que el grupo electrógeno diésel de emergencia tenga la capacidad de hacerlo.

DESCRIPCIÓN DA CARGA	POTENCIA KVA					
	INÍCIO DE PARTIDA	PARTIENDO	FINAL DE PARTIDA	OPERANDO	PARANDO	FINAL DE PARADA
Bombas de Aceite del Regulador de Velocidad de la Turbina (2)	100	100	100	100	100	100
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado del Generador (2)	10	10	10	10	10	10
Bombas de Circulación de Aceite del Cojinete Guía de la Turbina (2)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Bombas de Inyección de Aceite del Cojinete de Empuje (2)	15	15			15	15
Bombas de Drenaje de la Tapa de la Turbina (2)	3	3	3	3	3	3
Resistencias de Calefacción del Generador (1)						
Extractor de Vapor de Aceite de Pozo de la Turbina (1)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Válvula del Sistema de Agua de Refrigeración de la Unidad (1)	1,5					1,5
Cubículo de Excitación del Generador (1)			10			
Auxiliares del Transformador Elevador (1)	30	30	30	30	30	30
Filtro Autolimpiante del Sistema de Agua de Refrigeración (1)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>164,5</b>	<b>163,0</b>	<b>158,0</b>	<b>148,0</b>	<b>163,0</b>	<b>164,5</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>169,0</b>	<b>167,5</b>	<b>162,5</b>	<b>152,5</b>	<b>167,5</b>	<b>169,5</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

**9.1.2 Cargas de la Casa de Máquinas**

Las cargas de la casa de máquinas, en condiciones de funcionamiento de emergencia, son las siguientes:

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA
Bombas de Drenaje (2)	20
Compresores de Aire de Regulación de Velocidad (2)	30
Sistema de Ventilación y Extracción (1 conj.)	10
Sistema de Aire Acondicionado (2)	15
Compresores de Aire de Servicio (2)	15
Sistema de Telecomunicaciones (2)	10
Cargadores de Baterías (2)	5
Transformadores de Iluminación y Calefacción (6)	30
Ascensor de Personas (1)	7,5
Auxiliares del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia	1,5
Bombas Contra Incendios (2)	50
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>71,5</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>65,0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>57,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>194,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 9.1.3 Cargas de la Toma de Agua

Las cargas de la toma de agua, en condiciones de funcionamiento de emergencia, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas de la Toma de Agua (2)	15
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>15,0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>20,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 9.1.4 Cargas del Vertedero

Las cargas del vertedero, en condiciones de funcionamiento de emergencia, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Bombas de la Central Hidráulica de las Compuertas del Vertedero (2)	7,5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>7,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>12,5</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 9.1.5 Cargas de la Subestación de AT

Las cargas de la subestación AT, en condiciones de operación de emergencia, se indican a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	POTENCIA kVA
Transformadores de Iluminación y Calefacción (1)	5
Motores de Interruptores y compresores de disyuntores de AT (1 conj.)	5
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>5,0</b>
<b>TOTAL, GENERAL (kVA)</b>	<b>10,0</b>

NOTA: Los números entre paréntesis junto a la descripción de la carga indican la cantidad.

### 9.1.6 Resumen

El resumen de las cargas de la planta, en las condiciones de operación de emergencia, se indica en la siguiente tabla:

POTENCIA kVA						
OPERACIÓN	1ª Unidad	Casa de Máquinas	Toma de Agua	Vertedero	Subestación	Total
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>164,5</b>	<b>71,5</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>251,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>3</b>	<b>65,0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>68,0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>1,5</b>	<b>57,5</b>	<b>15,0</b>	<b>7,5</b>	<b>5,0</b>	<b>86,5</b>

## 9.2 Potencia Nominal del Grupo Electrónico Diésel de Emergencia

Con base en las condiciones de operación de la planta en emergencia, analizadas anteriormente, las cargas consideradas se indican a continuación:

POTENCIA kVA	
OPERACIÓN	Emergencia
<b>TOTAL, CONTÍNUA (kVA)</b>	<b>251,0</b>
<b>TOTAL, INTERMITENTE (kVA)</b>	<b>68,0</b>
<b>TOTAL, ESPORÁDICA (kVA)</b>	<b>86,5</b>
<b>TOTAL, GENERAL</b>	<b>405,5</b>

De acuerdo con los datos obtenidos, la potencia del grupo electrónico diésel de emergencia para cumplir con la mayor carga continua de la planta, que ocurre durante la operación de emergencia, debe ser de 251.0kVA.

Si además de la carga continua de 251.0kVA, durante la operación de emergencia de la planta, consideramos como continua la operación de la bomba de drenaje (20kVA) y el compresor de aire regulador (30kVA), totalizando una carga adicional de 50kVA, la potencia nominal mínima continua (prime) del grupo electrónico diésel de emergencia debe ser de 301.0kVA.

Adoptando un factor del 20% para atender la variación de las potencias estimadas y futuras adiciones, la potencia continua (prime) del grupo electrónico diésel de emergencia debe ser de 360kVA.

Los grupos se especifican para el funcionamiento con potencia aparente continua (prime) y factor de potencia 0,8. Esta potencia es la potencia suministrada en los terminales del

alternador, es decir, para un grupo con una potencia nominal continua (prime) de 360kVA, el alternador proporciona una potencia activa continua (prime) de 288kW y, en emergencia (stand by), una potencia aparente de 396kVA y una potencia activa de 316.8kW. Sin embargo, la elección de un grupo electrógeno diésel de emergencia no es una tarea tan sencilla, ya que se deben tener en cuenta las condiciones transitorias de funcionamiento de las cargas y las variaciones de tensión en el sistema.

Los conjuntos diésel se suministran para diversos fines, como el funcionamiento continuo y la emergencia. Los grupos para operación continua deben especificarse para operar a baja velocidad (típicamente 1200 rpm) y los grupos de emergencia a alta velocidad (típicamente 1800 rpm). La potencia nominal del mismo motor diésel es mayor cuando funciona a 1800 rpm (60Hz) en lugar de 1500 rpm (50Hz). Los valores de estas potencias son reportados por los fabricantes y suelen ser directamente proporcionales a la rotación.

Los grupos electrógenos diésel de emergencia pueden funcionar a una sobrecarga del 10% por encima de la potencia nominal (continua o cebada) durante 1 hora cada 12 horas de funcionamiento. Esta potencia se denomina energía de emergencia (stand by).

En la definición de grupos diésel, debe tenerse en cuenta el uso de grupos híbridos cuando la potencia nominal del motor diésel no se corresponde con la potencia nominal del alternador.

### **9.3 Alternador**

El alternador debe estar dimensionado para atender las potencias activas y aparentes y, su regulador de tensión debe mantener la tensión de los terminales en el valor ajustado.

La elección del alternador del grupo electrógeno diésel de emergencia dependerá de las condiciones de funcionamiento y las características de las cargas, las variaciones de tensión admisibles de los componentes de la instalación y las características de los grupos electrógenos diésel disponibles en el mercado. No hay una fórmula estándar a considerar. Lo que se debe hacer es calcular el consumo de las cargas, permanentes y transitorias, y considerar la peor condición.

#### **9.3.1 Tensión de Operación del Alternador**

La tensión del alternador del grupo se mantiene constante en el valor de tensión de funcionamiento ajustado. Por lo tanto, el valor de la tensión de funcionamiento de un alternador, con tensión nominal de 480V, se puede ajustar a un valor mayor, por ejemplo, 506V (460V + 10%), que respeta los límites de tensión de los equipos de 460V y 480V. Este ajuste permite que, durante los períodos transitorios de funcionamiento (arranque de motores y aplicación de cargas), la tensión en las cargas se mantenga dentro de los límites mínimos aceptables y, en los períodos de funcionamiento normal, no supere los límites máximos soportables por los componentes.

La tensión de funcionamiento del alternador, fijada en 506V, implicará que la tensión máxima en el secundario de los transformadores 480-120V (relación 4:1) será de 126,5V (115V+10%), es decir, dentro del límite de tensión máxima admisible para bobinas de los relés y contactores de tensión nominal 115V.

#### **9.3.2 Variaciones de Tensión**

Las variaciones de tensión normalmente permitidas en el equipo son de 480V±10% (432V a 528V) para las cargas en general; 460V, -5%, +10% (437V a 506V) para motores durante el funcionamiento normal y, teniendo en cuenta que el arranque de los motores es directo a plena tensión, 460V-10% (414V) durante el arranque.

Cuando los controles del motor se alimentan en corriente continua, no hay preocupación por la caída de tensión en los motores durante el arranque.

Como la tensión mínima en las bobinas de los contactores de los motores debe ser, por regla general, el 85% de la tensión nominal, este valor mínimo será de 97,75V para contactores de 115V. Si los controles del motor son alimentados por transformadores de control de relación 480-120V (4:1), y estos controles están cerca de los motores (caso más desfavorable), para la tensión de 414V en los motores, la tensión en el control será de 103,5V, es decir, el 90% de la tensión nominal de los contactores con bobinas nominales de 115V.

La tensión mínima en los terminales de los motores, durante el arranque, podría admitirse a 391V (460V, -15%), especialmente en el caso de motores que accionan bombas y compresores, que son la mayoría de las cargas de una planta. Tenga en cuenta que hay fabricantes de contactores que aseguran que los contactores permanezcan cerrados con tensiones de hasta menos del 70% de la tensión nominal.

Las cargas vitales de la planta como, por ejemplo, cargadores de baterías, los sistemas de comunicación y los sistemas digitales de supervisión y control (SDSC) pueden funcionar con caídas de tensión del 15%, es decir, 408 V (480 V-15 %). Sin embargo, estas y otras cargas como sistemas de calefacción, manejo de carga e iluminación, en caso de caídas de tensión superiores al 15% no sufren discontinuidad en su funcionamiento, pues en cuanto desaparece el problema transitorio, vuelven a funcionar normalmente. Por lo tanto, excepcionalmente, esta condición de operación de emergencia puede ser admitida.

Por lo anterior, la tensión de funcionamiento del alternador se puede ajustar en 506V y el voltaje transitorio mínimo permitido puede ser de 414V y puede alcanzar hasta 391V.

### 9.3.3 Reactancia Transitoria X'd

La reactancia transitoria del alternador se define en función de la caída de tensión máxima admisible en sus terminales durante los períodos transitorios de funcionamiento del grupo diésel de emergencia, especialmente durante el arranque de motores y/o la aplicación de un conjunto de carga.

Para reducir la caída de tensión en el alternador durante los períodos transitorios, la reactancia transitoria del alternador debe calcularse para limitar sus valores.

Como la potencia establecida para el alternador de grupo electrógeno diésel de emergencia es de 360kVA, y la peor condición transitoria será cuando la última carga a ser aplicada sea el arranque del motor de una de las bombas de aceite del regulador de velocidad de la turbina (100hp≈100kVA), es decir, cuando el grupo está alimentando una carga inicial de 260kVA (360kVA-100kVA).

La tensión en los terminales del alternador depende de la tensión considerada en los terminales de los motores y la caída de voltaje en el circuito de suministro. Sin embargo, podemos garantizar que la tensión en los terminales del alternador será más alta que la tensión en los terminales del motor debido a la caída de voltaje. Por lo tanto, como la corriente de arranque de los motores es proporcional al valor de la tensión, a los efectos de calcular la reactancia transitoria del alternador, podemos considerar que la tensión admitida en los terminales del motor es la tensión en los terminales del alternador.

#### 9.3.3.1 Cargas Consideradas

Para el cálculo de la reactancia transitoria del alternador, se tendrán en cuenta las siguientes cargas estimadas:

a) Carga Inicial de Potencia Constante:

Potencia Nominal: 210kVA

Tensión Nominal: 460V

Factor de Potencia: 0.85

b) Carga Inicial de Potencia Variable

Potencia Nominal: 50kVA

Tensión Nominal: 480V

Factor de Potencia: 0.9

c) Arranque del Motor;

Potencia Nominal: 100hp

Tensión Nominal: 460V

Corriente de arranque: 1054A

Factor de potencia al arranque: 0.3

### 9.3.3.2 Cálculo de la Reactancia Transitoria

Usando la planilla de cálculo PL.EL.SA.CA.02.R1 GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL - Cálculo de la Reactancia Transitoria, la reactancia transitoria del alternador se calculará considerando las cargas informadas, tensión nominal del alternador 480V, valor ajustado de la tensión en 506V, potencia nominal de 360kVA.

Para la tensión en los terminales de alternador: 391V:

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)	360	
	$VG_T$	Tensión en los Terminales del Alternador (V)	391	
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		

Reactancia transitoria del alternador	$X'G_n$ (%)	11,31
---------------------------------------	-------------	-------

Para la tensión en los terminales de alternador: 414V

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)	360	
	$VG_T$	Tensión em los Terminales del Alternador (V)	414	
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		

Reactancia transitoria del alternador	$X' G_n$ (%)	8,71
---------------------------------------	--------------	------

Entonces tenemos las reactancias máximas de 11.31% y 8.71%, en caso de que consideremos las tensiones mínimas en el motor 391V y 414V, respectivamente.

### 9.3.4 Elección del alternador

La potencia nominal del alternador se define en función de las potencias activas y aparentes solicitadas por las cargas durante los regímenes de funcionamiento permanente y transitorio, el valor de la tensión nominal del alternador, su tensión de funcionamiento, la reactancia transitoria del alternador y las variaciones admisibles de las tensiones en las cargas y en el sistema.

Resulta que no hay generador con potencia de 360kVA y reactancias de 11,31% y 8,71%. Por lo tanto, tendremos que elegir, dentro de los alternadores disponibles en el mercado, un alternador que sea equivalente al definido.

Basándonos en la información de alternadores del catálogo WEG, verificamos que existen dos alternadores que cumplen con los valores calculados anteriormente, son los modelos 280MI30AI y 280MI40A, cuyos datos se indican a continuación:

Modelo	480 V - Y / 240 V - YY					
	$\Delta T$	80 °C	105 °C	125 °C	150 °C	163 °C
280MI30AI	kVA	456	510	570	600	650
	kW	365	408	456	480	520
280MI40AI	kVA	484	565	605	650	691
	kW	387	452	484	520	553
315MI10AI	kVA	520	596	650	700	750
	kW	416	477	520	560	600
315MI15AI	kVA	570	650	710	780	825
	kW	456	520	568	624	660
315MI20AI	kVA	642	736	803	875	906
	kW	514	589	642	700	725
315MI30AI	kVA	740	850	925	1010	1056
	kW	592	680	740	808	845

Modelo	$X_d'$ (%) Saturada
	220/440 V
250SI10AI	17,43
250SI20AI	18,39
250MI00AI	18,40
250MI10AI	16,58
250MI20AI	16,40
280MI20AI	16,53
280MI30AI	19,70
280MI40AI	13,80

Como las reactancias transitorias se refieren a la tensión de 440V, los valores referidos a la tensión de 480V y la potencia de 360kVA, tenemos:

Para el modelo 280MI30AI (570kVA).

$$Z_{G(480)} = 19,7 \frac{440^2}{480^2} \frac{360}{570} = 10,45\%$$

Para el modelo 280MI40AI (605kVA).

$$Z_{G(480)} = 13,8 \frac{440^2}{480^2} \frac{360}{605} = 6,90\%$$

El alternador modelo 280MI30AI (570kVA) cumple solo la condición de la tensión mínima de 391V y el 280MI40AI (605kVA) cumple ambas condiciones (391V y 414V).

Otra forma de comprobar si se cumplirá esta equivalencia es analizar la condición:

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} \geq \frac{P_{Gc}}{X'_{Gc}}$$

Dónde:

$P_{Gn}$  Potencia Nominal Equivalente del Alternador (kVA)

$P_{Gc}$  Potencia Nominal Calculada del Alternador (kVA)

$X'_{Gn}$  Reactancia Transitoria del Alternador Equivalente (%)

$X'_{Gc}$  Reactancia Transitoria del Alternador Calculado (%)

Considerando la tensión mínima de 391V en los terminales del alternador,

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} \geq \frac{360}{11,31} = 31,83$$

Considerando la tensión mínima de 414V en los terminales del alternador,

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} \geq \frac{360}{8,71} = 41,33$$

Como las reactancias transitorias se refieren a la tensión 440V, los valores referidos a la tensión 480V serán:

$$Z_{G(480)} = Z_{G(440)} \frac{440^2}{480^2}$$

Para el alternador 280MI30AI, cuya reactancia transitoria, a 440V y 570kVA es del 19,7%.

$$Z_{G(480)} = 19,7 \frac{440^2}{480^2} = 16,55\%$$

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} = \frac{570}{16,55} = 34,44 \geq 31,83$$

Para el alternador 280MI40AI, cuya reactancia transitoria, a 440V y 605kVA es del 13,8%.

$$Z_{G(480)} = 13,8 \frac{440^2}{480^2} = 11,60\%$$

$$\frac{P_{Gn}}{X'_{Gn}} = \frac{605}{11,6} = 52,16 \geq 31,83 \text{ e } 41,33$$

El alternador modelo 280MI30AI (570kVA) cumple solo la condición de la tensión mínima de 391V y el 280MI40AI (605kVA) cumple ambas condiciones (391V y 414V).

### 9.3.5 Cálculo de las Tensiones Mínimas

Usando la planilla de cálculo PL.EL.SA. CA.03.R1 GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL - Cálculo de la Tensión en los Terminales, para el modelo 280MI40AI (605kVA), considerando los datos referidos a la potencia 360kVA, 480V, 6.90%, la tensión mínima será de 431,03V:

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)	360	
	$Z'G_n$	Reactancia Transitoria Nominal del Alternador (%)	6,90	
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)	$V_{GT}$ (%)	431,03
--	--------------	--------

Los siguientes cálculos para potencia 605kVA, 440V, 13,80% y potencia 605kVA, 480V, 11.60%. Los resultados son los mismos, porque las diferencias de tensión encontradas en el segundo decimal se deben al redondeo de los valores introducidos en la planilla de cálculo.

DATOS DEL SISTEMA				
Alternador	$VG_n$	Tensión Nominal del Alternador (V)	440	
	$VG_A$	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 (%)	13,80	
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)	$V_{GT}$ (%)	431,03
--	--------------	--------

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 (%)	11,60	
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
--	--------------	--------

Para el modelo 280MI30AI (570kVA), 440V, 19,70%, la tensión mínima será de 398,40V. Las tensiones no se calcularán para otros valores de potencia, tensión y reactancia porque, como hemos visto, las tensiones serán iguales.

DATOS DEL SISTEMA				
Alternador	$VG_n$	Tensión Nominal del Alternador (V)	440	
	$VG_A$	Tensión de Operación Ajustada en el Alternador (V)	506	
	$PG_n$	Potencia Nominal del Alternador (kVA)	570	
	$Z'G_n$	Reactancia Transitoria Nominal del Alternador (%)	19,70	
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)	$V_{GT}$ (%)	398,40
--	--------------	--------

### 9.3.6 Definición del Alternador

En el análisis de los datos y cálculos realizados, se comprueba que el alternador modelo 280MI40AI, de 605kVA, con 35kVA más potencia que el modelo 280MI30AI, tiene una tensión mínima muy superior, lo que justifica su elección. Por lo tanto, con los resultados encontrados se puede definir que el modelo de alternador será el 280MI40AI con una potencia nominal continua de 605kVA.

## 9.4 Motor Diésel

El motor diésel debe estar dimensionado para accionar el conjunto y proporcionar la potencia activa requerida por el alternador, y su regulador de velocidad debe mantener la rotación del conjunto en el valor establecido. Los datos del motor diésel deben acordarse con el fabricante del conjunto, de modo que el motor diésel active el alternador en las condiciones de carga definidas, teniendo en cuenta también las condiciones del sitio de instalación y otros requisitos definidos por el Cliente, como el factor de sobrecarga y otros. Por lo tanto, los datos de las cargas, requisitos y condiciones de operación deben proporcionarse al proveedor del grupo.

### 9.4.1 Cálculo de la Potencia Activa Solicitada

El motor diésel debe ser capaz de accionar el alternador en cualquier condición de funcionamiento de las cargas. Por lo tanto, debe ser capaz de cumplir, como mínimo, la potencia activa solicitada por la carga al alternador.

$$P_{solicitada\ al\ alternador}(kW) = P_{carga\ inicial}(kW) + P_{arranque\ motor\ 100h}(kW)$$

A efectos de estimar la potencia del motor diésel, como la peor condición considerada fue con la carga inicial de 260kVA y arranque del motor de 100hp, la potencia activa solicitada por las cargas al alternador, utilizando el criterio de aproximación  $1cv=1hp=1kW=1kVA$ , será:

$$P_{carga\ inicial}(kW) = 260kVA = 260kW$$

Teniendo en cuenta los datos nominales del motor:

$$P_{arranque\ motor\ 100h}(kW) = P(kW) = \sqrt{3} \times 0,46 \times 1054 \times 0,3 = 252kW$$

$$P_{solicitada\ al\ alternador}(kW) = 260 + 252 = 512kW$$

La potencia solicitada por el alternador al motor diésel dependerá de su rendimiento para la potencia solicitada.

Suponiendo que el rendimiento para esta potencia solicitada es del 90%, la potencia neta suministrada por el motor diésel al alternador será:

$$P_{minima\ del\ motor\ diésel}(kW) = \frac{512}{0,9} = 569kW$$

## 9.5 Conclusión

El grupo electrógeno diésel de emergencia puede ser un conjunto híbrido, ya que aunque el alternador tiene una potencia continua (prime) de 605kVA (484kW), lo que implicaría una potencia de stand by de 665kVA (532kW), el motor diésel no necesariamente debe cumplir con estas potencias. Por lo tanto, para definir los componentes del grupo, las condiciones de operación y los datos de las cargas deben ser claramente informados al proveedor, quien definirá la mejor composición que satisfaga técnica y comercialmente las necesidades de la instalación.

### 9.5.1 Potencia Nominal del Grupo

Los datos del grupo electrógeno diésel de emergencia pueden ser:

Potencia Continua (Prime): 360kVA

Potencia de Emergencia (Stand By): 396kVA

Factor de Potencia: 0,8

Tensión Nominal: 480V

Frecuencia Nominal: 60Hz

### 9.5.2 Alternador

Fabricante: WEG

Modelo: 280MI40AI

Potencia Nominal: 605kVA

Tensión Nominal: 480V

Frecuencia Nominal: 60Hz

Tensión de Operación: 506V

Reactancia Transitoria en 480V: 11,60%

Nota: Otro modelo de alternador puede ser definido por el proveedor del grupo, pero debe atender con la equivalencia para cumplir con la instalación.

### 9.5.3 Motor Diésel

La potencia neta mínima proporcionada por el motor diesel del alternador será de 569 kW. Dependiendo de la aplicación del motor, y teniendo en cuenta que la frecuencia del sistema es de 60Hz, la rotación nominal debe ser de 1800rpm.

## 9.6 Utilización del Conjunto

El grupo puede suministrarse con una placa con los datos nominales especificados para el grupo, pero las placas de datos del alternador y del motor deben ser las realmente proporcionadas para permitir al usuario, dependiendo de sus necesidades eventuales, utilizar el grupo dentro de las limitaciones del equipo. Aunque el grupo ha sido dimensionado con una potencia nominal de 360kVA, el usuario puede utilizar el grupo en otras condiciones de funcionamiento, diferentes a las previstas, pero dentro de las capacidades de los componentes del grupo suministrado y las limitaciones de la instalación.