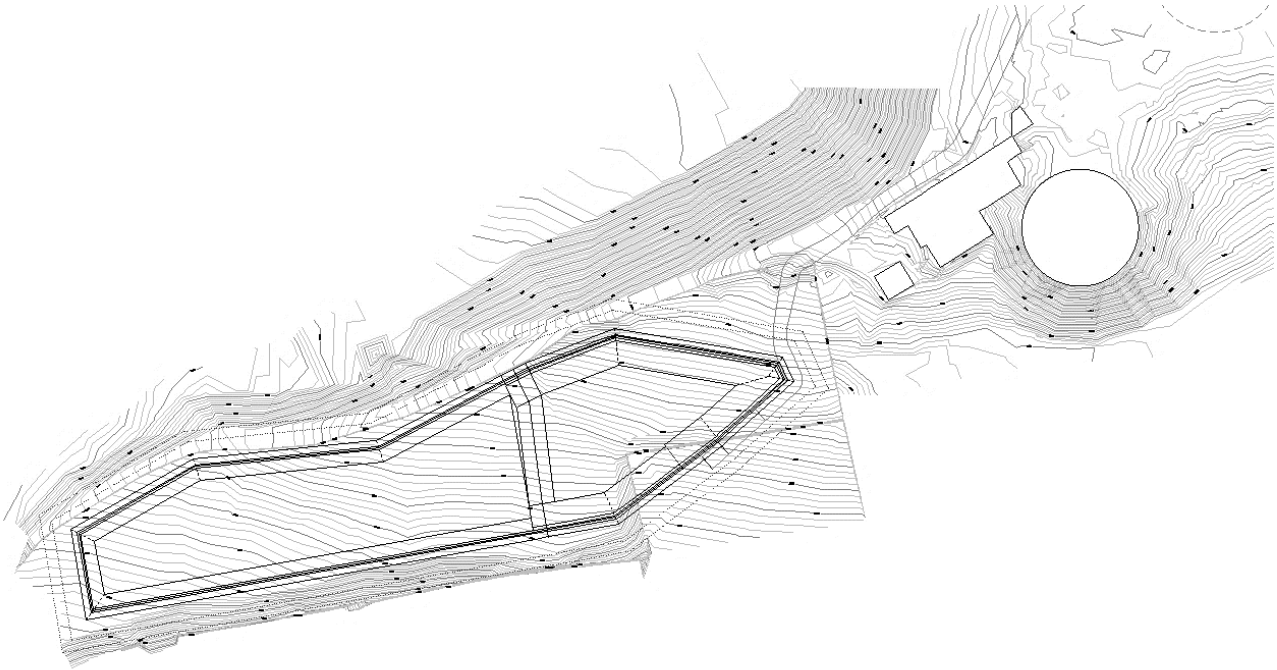
Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS
seiasa



# ANEJO Nº13 CÁLCULOS ELÉCTRICOS

## PROYECTO DE DEPÓSITO REGULADOR DE LAS AGUAS REGENERADAS DE LA EDAR DE BARRANCO SECO EN EL FONDILLO, T.M. LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

| | |
|---|---|
| FECHA | Diciembre de 2022 |
| PROMOTOR | Sociedad Mercantil Estatal de Infraestructuras Agrarias, S.A. (SEIASA) |
| AUTORES | Felipe Sánchez Rivero |

**ÍNDICE:**

1. INTRODUCCIÓN ..... 1
2. NORMATIVA DE APLICACIÓN ..... 1
3. DISTRIBUCIÓN EN ALTA TENSIÓN A EQUIPOS DE BOMBEO ..... 1
3.1. Intensidad en embarrado ..... 2
3.2. Intensidad de cortocircuito ..... 3
3.3. Cálculo batería de condensadores ..... 3
4. SELECCIÓN DE CELDAS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ..... 6
4.1. Celdas de entrada de transformador ..... 7
4.2. Módulo de medida en barras ..... 8
4.3. Celdas de protección de motores ..... 8
4.4. Celdas de protección de condensadores ..... 9
5. ELECTRÓNICA DE POTENCIA ..... 10
6. LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN ..... 12
6.1. A armarios de arrancadores ..... 12
6.2. De arrancador a grupo de bombeo ..... 15
6.3. A batería de condensadores ..... 17
7. PUESTA A TIERRA ..... 19
8. DISTANCIAS DE SEGURIDAD ..... 19
9. INSTALACIONES EN BAJA TENSIÓN ASOCIADAS ..... 20
10. AUTOMATIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES ..... 20

## 1. INTRODUCCIÓN

Se redacta el presente anejo con el fin de definir los elementos a sustituir o añadir al equipo de bombeo y su método de arranque para mejorar la instalación eléctrica de la Estación de Bombeo de Barranco Seco.

La instalación eléctrica proyectada contempla el accionamiento de dos grupos de bombeo, accionados mediante arrancador estático. La disposición del equipamiento eléctrico se proyecta teniendo en cuenta una reserva de espacio para la futura instalación de un tercer grupo de bombeo de las mismas características, por lo que se reservará el espacio necesario para una celda de protección y arrancador estático para este tercer grupo motobomba que no forma parte de este proyecto.
En todo caso, el funcionamiento previsto de la estación de bombeo siempre será en régimen 2+1, operando ese futuro tercer grupo como reserva, por lo que, en términos de dimensionado, la instalación futura de este tercer equipo no tiene impacto con el diseño establecido en este proyecto.

## 2. NORMATIVA DE APLICACIÓN

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.

- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.

## 3. DISTRIBUCIÓN EN ALTA TENSIÓN A EQUIPOS DE BOMBEO

La estación de bombeo de Barranco Seco dispone actualmente de dos transformadores de 1250 KVAs, conectados en paralelo, con una relación de transformación 20/6 kV. Los transformadores,

así como sus celdas de protección y medida, datan del año 1992 pero se encuentran aparentemente en un estado adecuado de conservación, por lo que su sustitución no forma parte del presente proyecto.

Desde estos transformadores se pretende abastecer simultáneamente un total de dos grupos de bombeo que se pretenden sustituir en el presente proyecto y que son accionados mediante arrancador estático. Dichos grupos de bombeo podrán funcionar simultaneamente, por lo que la potencia máxima será la correspondiente a los dos grupos de bombeo activos. La demanda de potencia de los motores de estos grupos será, en el peor de los casos, de 630 kW, correspondiente a la potencia nominal de dichos motores. Los transformadores existentes, al estar conectados en paralelo pueden proporcionar la potencia requerida. Para los cálculos del presente anejo se empleará la potencia prevista de 630 kW, teniendo en cuenta que podrá ajustarse a la baja en función de los equipos de bombeo que se seleccionen, de acuerdo con el punto de funcionamiento de la instalación y el rendimiento de los equipos seleccionados.

Se calcularán y presentarán a continuación los elementos a sustituir o añadir al bombeo al sustituir las bombas existentes y su método de arranque.

### 3.1. Intensidad en embarrado

En un transformador trifásico la intensidad del circuito secundario Is viene dada por la expresión:

$$Is = (S \cdot 1000) / (1{,}732 \cdot Us); \quad \text{siendo:}$$

S = Potencia del transformador en kVA.
Us = Tensión compuesta secundaria en V.
Is = Intensidad secundaria en A.

Sustituyendo valores:

| Transformador | Potencia (kVA) | Us (kV) | Is (A) |
|---|---|---|---|
| Trafo potencia 1 | 1250 | 6 | 114.5 |
| Trafo potencia 2 | 1250 | 6 | 114.5 |

Por lo que el embarrado de las celdas deberá soportar una intensidad de 229 A.

### 3.2. Intensidad de cortocircuito

Para el cálculo de las intensidades que origina un cortocircuito, se va a considerar que la potencia de cortocircuito disponible es la teórica de los transformadores, siendo por ello más conservadores que en las consideraciones reales.

Intensidad secundaria para cortocircuito (despreciando la impedancia de la red de Alta Tensión):

$$Iccs = (100 \cdot S) / (1{,}732 \cdot Ucc\ (\%) \cdot Us); \quad \text{siendo:}$$

S = Potencia del transformador en kVA.

Ucc (%) = Tensión de cortocircuito en % del transformador.

Us = Tensión compuesta en carga en el secundario en V.

Iccs = Intensidad de cortocircuito secundaria en kA.

No se dispone del dato de tensión de corto circuito (Ucc) para los transformadores existentes, por lo que se asumirá un valor del 6% para los cálculos de las celdas de protección.

| **Transformador** | **Potencia** (kVA) | **Us** (KV) | **Ucc** (%) | **Iccs** (kA) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1250 | 6 | 6 | 2 |
| 2 | 1250 | 6 | 6 | 2 |

Por lo que, al encontrarse estos transformadores conectados en paralelo, la intensidad de cortocircuito que deberán soportar las celdas de protección será de 4 kA.

### 3.3. Cálculo batería de condensadores

Para corregir el factor de potencia de los motores principales se dispondrá una batería de condensadores a 6 kV.

La compensación de energía reactiva se analizará para la potencia nominal del motor de corriente alterna trifásico asíncrono, así como para la potencia activa prevista en función del punto de funcionamiento hidráulico de la instalación. El obtivo es aproximar el Cos φ a 0.96 o un valor superior.

**Cálculo del sistema de compensación reactiva**

El dimensionado se realiza en primer lugar para la potencia nominal del motor/es a compensar. Los datos de partida son los siguientes:

Potencia nominal 630 kW

| | |
|---|---|
| Cos φ | 0,85 |
| Cos φ' (corregido) | 0.96 |

Para el cálculo de la potencia reactiva a compensar se emplea la siguiente ecuación:

$$Q = P\ (tg\varphi - tg\varphi')$$

Siendo:

Q= Potencia reactiva en kVAr

P= Potencia activa en kW

φ= Ángulo de desfase inicial

φ= Ángulo de desfase corregido

Sustituyendo valores se obtiene que por cada motor se requiere una potencia reactiva de 206.7 kVAr, lo que se traduce en condensadores de calibre comercial de 211 kVAr, permitiendo mejorar el factor de potencia fijado como objetivo. Para facilitar la rotación de los motores y asegurar en todo momento la correcta compensación de la energía reactiva se proyecta el empleo de una batería de compensación automática con dos escalones fijos. Se opta por esta solución ya que permitirá la inclusión del equipo de reserva, al no requerir un enclavamiento directo entre grupos de bombeo y condensadores, de forma que la inclusión del nuevo grupo de bombeo no requiera cambios en el sistema de compensación proyectado.

Teniendo en cuenta que, en la hipótesis más desfavorable, el número de bombas funcionando simultáneamente es de dos bombas, la batería de condensadores para compensar los dos motores tendrá dos escalones de 211 kVAr, o en su defecto otra combinación de escalones que permitan cubrir los requerimientos de potencia reactiva de los motores activos, independientemente de cuales sean los que estén activos en cada momento.

Con el fin de reforzar la batería de condensadores, la tensión de esta será de 6,6 kV por lo que

la potencia requerida para cada motor se incrementa hasta las 255kVAr.
La batería dispondrá además de un escalón fijo para ambos transformadores, asumiendo que ambos funcionarán simultáneamente de forma permanente. Esta compensación podrá resolverse con un único escalón fijo con la potencia reactiva adecuada para los dos transformadores en su conjunto o instalando un condensador fijo por transformador. Se opta por la segunda opción al permitir la compensación individual de los equipos y un funcionamiento de la instalación sin sobrecompensación cuando uno de estos transformadores no se encuentre operativo. Para determinar la potencia reactiva de cada transformador debe tenerse en cuenta dos componentes: su consumo en vacío y su consumo en carga. Se asume la recomendación de compensar un 5% de la potencia nominal para transformadores de uso industrial, por lo que se requerirá un condensador de 62,5kVAr a tensión nominal para compensar la energía reactiva consumida por cada transformador. La potencia de cada escalón fijo será de 62,5 kVAr. Igualmente, se podrá presentar otra combinación de escalones siempre que permitan cubrir los requerimientos de potencia reactiva de los transformadores.

Los condensadores proyectados serán reforzados, por lo que se especificarán para una tensión de 6,6 KV. Así, la batería de condensadores proporcionará una potencia de 660 kVAr a 6,6 kV a la frecuencia del sistema eléctrico, con una composición de 2x255 + 2x75 (F) kVAr. La potencia obtenida a la tensión de servicio será de 482 kVAr, y por paso 2x211 + 2x62 (F) kVAr.

**Verificación de cos Φ a potencia de funcionamiento**

Una vez seleccionados los condensadores necesarios para la potencia nominal, se analiza el Cos φ que se obtendrá a potencia activa, es decir, en las condiciones de funcionamiento real del motor. Para una potencia activa máxima prevista de 573,55 kW (según apartado 5 del presente anejo), una batería de 211 kVAr a 6kV, permite alcanzar un Cos φ de 0,969. Para la potencia activa mínima prevista de 522 kW, de acuerdo con los puntos de funcionamiento indicados en el apartado 5, la compensación proyectada permite alcanzar un Cos φ de 0,977. Dicho valor supera y mejora el valor objetivo empleado para el dimensionamiento de la batería de condensadores.

La batería automática se compondrá de:

- Envolvente en chapa de acero, con una IP mínima de 43. La envolvente dispondrá de servicios auxiliares (ventilación forzada y resistencia calefactora) accionados mediante termostato. Las dimensiones aproximadas del equipo serán de 2000 x 3300 x 2200 mm (alto x ancho x profundo).

- Unidad de control con transformadores de intensidad alimentada a 230 VAc, con display para configuración del funcionamiento de la batería y, al menos, 6 relés de salida para accionamiento de escalones. Permitirá la monitorización de factor de potencia, tensiones, intensidad, potencia activa, potencia aparente y potencia reactiva, así como de la tasa de distorsión armónica. Dispondrá de puerto de comunicaciones RS-485 y soportará protocolo MODBUS RTU para su integración en un sistema de control.
- Seccionador tripolar de puesta a tierra de 400A y tensión nominal de 7,2 kV, con accionamiento manual y enclavamiento mediante cerradura para la apertura de la envolvente.
- Dos condensadores trifásicos reforzados (uno por transformador) con potencia nominal de 75 kVAr (6,6 kV) y un nivel de aislamiento de 20/60 kV. Cada escalón fijo se protegerá con un fusible APR de 16A y dispondrá de una reactancia de choque limitadora de corriente por fase, con una intensidad nominal de 50A.
- Dos condensadores trifásicos (uno por motobomba) con potencia nominal de 255 kVAr reforzados (6,6 kV) y un nivel de aislamiento de 20/60 kV. A cada condensador se le asociará un contactor de vacío de corriente nominal 400A y tensión nominal de 7,2 kV, accionado por el controlador de la batería de condensadores. Cada escalón se protegerá con un fusible APR de 40/50A y dispondrá de una reactancia de choque limitadora de corriente por fase, con una intensidad nominal de 50A.

## 4. SELECCIÓN DE CELDAS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

Para asegurar el correcto funcionamiento de los nuevos equipos de bombeo proyectados, se pretende sustituir toda la instalación a 6KV aguas abajo de los transformadores, sin incluir el cableado de potencia de los mismos. Esto supone que no se realizarán modificaciones en el centro de transformación ni en la línea que lo conecta con la estación de bombeo, asumiendo que los conductores fueron en su momento dimensionados correctamente para la potencia en el secundario de dichos transformadores. Así, se proyecta exclusivamente la sustitución de la instalación eléctrica en la estación de bombeo que funciona a una tensión nominal de 6KV. Esta instalación consistirá, en celdas modulares, conectadas a través de su propio embarrado y que serán de los siguientes tipos:

- Celdas de entrada y protección general. Estas celdas conectarán los transformadores con la instalación de la estación de bombeo. Existirá una celda por cada transformador.

- Celdas de protección de motores. Conectadas a las celdas de entrada, proporcionan

energía a las líneas de motor. Cada motor dispondrá de una protección basada en interruptor automático con relé de protección ajustado a sus parámetros de funcionamiento. Existirá una celda por cada grupo de bombeo.

- Celda de protección de la batería automática para compensación de energía reactiva. Conectada al resto de celdas a través de su embarrado protegerá, mediante interruptor con fusibles la batería automática de condensadores que se proyecta. Existirá una única celda para el conjunto de la instalación.

- Las celdas descritas requieren de un módulo de medidas en barras para la correcta ejecución de sus funciones de seguridad y monitorización de los parámetros eléctricos de la instalación.

### 4.1. Celdas de entrada de transformador

Como punto de conexión de las líneas que abastecen la estación de bombeo, una por cada transformador de 1250kVA, se proyecta el empleo de una celda que conecte el secundario del transformador con la instalación eléctrica del bombeo.

Existirán pues dos celdas de corte en vacío y aislamiento en SF6, preparadas para una eventual inmersión y de dimensiones máximas 600 mm de ancho por 2.425 mm de alto por 1.365 mm de fondo, conteniendo en su interior debidamente montado y conexionados los siguientes aparatos y materiales:

- 1 Seccionador de tres posiciones CONEXIÓN – SECCIONAMIENTO - PUESTA A TIERRA, Vn =24 kV, In = 400 A, Ith = 16 kA, mando manual con contactos auxiliares.
- 1 Interruptor automático trifásico de corte en vacío, Vn = 24 kV, In = 400A, Icc = 16 kA, mando motor a 110 Vcc, relé antibombeo, con una bobina de cierre y una bobina de disparo, contador de maniobras y contactos auxiliares libres.

<u>Compartimento de control:</u>

1 Módulo metálico adosado en la parte superior frontal de la celda, conteniendo en su interior debidamente montado y conexionados los siguientes aparatos y materiales:

- 1 Relé para protección de sobreintensidad y cortocircuito de fases y homopolar, dirección de la falta, desequilibrio de intensidad, sobreintensidad controlada por tensión, imagen térmica, mínima y máxima tensión, sobretensión homopolar, desequilibrio de tensión, mínima y máxima frecuencia , sincronismo , fallo interruptor , supervisión de los circuitos de apertura y cierre . Medida, registro oscilográfico, comunicaciones. 2 Bloques

de pruebas cortocircuitables de 4 elementos para protección de los secundarios de los transformadores de intensidad de fase.

- 2 Interruptores automáticos magnetotérmicos bipolares con contactos auxiliares (1NA+1NC), para protección de los equipos de control y mando.
- S/n Bornas de conexión, accesorios y pequeño material.

### 4.2. Módulo de medida en barras

Adicionalmente, el sistema proyectado requiere un módulo de medidas para garantizar la operatividad del resto de celdas. El módulo de medida previsto se compondrá de un conjunto de transformadores, montados sobre el embarrado general de la instalación:

- 3 Transformadores de tensión tipo enchufable, aislados y apantallados, tensión asignada 12 kV, relación de transformación según necesidades, potencias de precisión 50 VA clase 0,5 y 10 VA clase 6P.
- 3 Transformadores de intensidad toroidales, relación de transformación 400/5 A, potencia de precisión 10 VA clase 0,5S 5P30.

### 4.3. Celdas de protección de motores

Para proteger el motor de cada uno de los grupos de bombeo proyectados, se emplearán celdas de MT con protección por interruptor automático. El uso de interruptor automático permite ajustar los disparos de la celda a las condiciones de sobreintensidad que puedan darse en el circuito del motor a proteger. Se instalarán tres celdas de protección, una por cada grupo motobomba proyectado.

Se plantea el uso de una celda de corte en vacío y aislamiento en SF6, preparadas para una eventual inmersión y de dimensiones máximas 600 mm de ancho por 2.425 mm de alto por 1.365 mm de fondo, conteniendo en su interior debidamente montado y conexionados los siguientes aparatos y materiales:

- 1 Seccionador de tres posiciones CONEXIÓN – SECCIONAMIENTO - PUESTA A TIERRA, Vn = 24 kV, In = 400 A, Ith = 16 kA, mando manual con contactos auxiliares.
- 1 Interruptor automático trifásico de corte en vacío, Vn = 24 kV, In = 400 A, Icc = 16 kA, con una bobina de cierre, una bobina de disparo y bobina de mínima tensión, contador de maniobras y contactos auxiliares libres.
- 3 Transformadores de intensidad toroidales asociados a un relé protección.
- 1 Sistema de detección de presencia de tensión con señalización luminosa permanente.

- 1 Manómetro con contacto libre de potencial para indicación remota por baja presión.
- S/n Embarrado aislado preparado para conducir 400 A asignados y capaz de soportar los esfuerzos electrodinámicos correspondientes a una intensidad térmica de cortocircuito de 16 kA/1s.
- S/n Pletina de cobre para puesta a tierra de la instalación.

Compartimento de control

- 1 Módulo metálico adosado en la parte superior frontal de la celda, conteniendo en su interior debidamente montado y conexionados los siguientes aparatos y materiales:
- 1 Relé para protección de sobreintensidad y cortocircuito de fases y homopolar, dirección de la falta, desequilibrio de intensidad , sobreintensidad controlada por tensión , imagen térmica , mínima y máxima tensión , sobretensión homopolar , desequilibrio de tensión , mínima y máxima frecuencia , sincronismo , fallo interruptor , supervisión de los circuitos de apertura y cierre . Medida, registro oscilográfico, comunicaciones. 1 Bloque de pruebas cortocircuitables de 4 elementos para protección de los secundarios de los transformadores de intensidad de fase.
- 2 Interruptores automáticos magnetotérmicos bipolares con contactos auxiliares (1NA+1NC), para protección de los equipos de control y mando.
- S/n Bornas de conexión, accesorios y pequeño material.

### 4.4. Celdas de protección de condensadores

La batería automática de condensadores requerida para compensar la energía reactiva de la instalación (básicamente motores y transformadores) se protegerá con una celda con interruptor con fusibles.

Los fusibles de protección se dimensionarán para 1,6 veces la intensidad nominal de la batería en su conjunto. Para una capacidad de 547 kVAr a 6 KV, el calibre requerido para los fusibles será:

1,6x(547/(6x1.736)=84,21A, lo que supone el uso de fusibles APR de calibre comercial 90A y poder de corte de 63 kA.

Se plantea el uso de una celda de corte en vacío y aislamiento en SF6, preparadas para una eventual inmersión y de dimensiones máximas 600 mm de ancho por 2.425 mm de alto por 1.365 mm de fondo, conteniendo en su interior debidamente montado y conexionados los siguientes

aparatos y materiales:

- 1 Seccionador de tres posiciones CONEXIÓN – SECCIONAMIENTO - PUESTA A TIERRA, Vn = 24 kV, In = 400 A, Ith = 16 kA, mando manual con contactos auxiliares.
- 1 conjunto de fusibles combinbados, Vn = 24 kV, In = 90 A.
- 1 Sistema de detección de presencia de tensión con señalización luminosa permanente.
- 1 Manómetro con contacto libre de potencial para indicación remota por baja presión.
- S/n Embarrado aislado preparado para conducir 400 A asignados y capaz de soportar los esfuerzos electrodinámicos correspondientes a una intensidad térmica de cortocircuito de 16 kA/1s.
- S/n Pletina de cobre para puesta a tierra de la instalación.

Compartimento de control:
1 Módulo metálico adosado en la parte superior frontal de la celda, conteniendo en su interior debidamente montado y conexionados los siguientes aparatos y materiales:

- 1 Bloque de pruebas cortocircuitables de 4 elementos para protección de los secundarios de los transformadores de intensidad de fase.
- S/n Bornas de conexión, accesorios y pequeño material.

## 5. ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Toda la electrónica de potencia, arrancadores estáticos y variadores de frecuencia, se especifican y definen convenientemente a partir de la intensidad nominal para la que están concebidos, según unas condiciones de trabajo específicas.

En el punto de máxima demanda de la instalación cada grupo se encontrará demandando en el eje a la salida del motor eléctrico unos 573,55 kW. En el cuadro inferior se presentan el punto nominal de funcionamiento de grupo motobomba contemplado.

| | Puntos de diseño | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Q(m3/h) | H(mca) | Rto. (%) | Pab cal (kW) |
| Grupo de bombeo | 867 | 166 | 75 | 522,00 |
| | 980 | 156,5 | 75 | 557,59 |
| | 1075 | 146 | 75 | 570,60 |
| | 1111 | 142 | 75 | 573,55 |

Pese a que el rendimiento es variable y puede ubicarse por encima del fijado en alguno de los

puntos, se opta por fijar ese rendimiento mínimo para todos los puntos, de forma que en algún caso la potencia requerida puede verse mayorada, ubicando los cálculos del lado de la seguridad. El primer punto diseño, corresponde a un funcionamiento con dos bombas activas.

Se asume como criterio de diseño atender a las condiciones nominales del motor eléctrico para el dimensionamiento de los equipos de electrónica de potencia. Esta situación permitirá absorber gamas climáticas diferentes a los 40 °C con los que se han definido los equipos, absorbiendo un cierto derating, ante otras temperaturas de trabajo, así como desplazamientos del punto de trabajo considerado. Las características técnicas del motor que deben ser tenidas en cuenta son las siguientes:

| Características técnicas del motor | APROX. |
|---|---|
| Rendimiento eléctrico (100%carga) | 95,00% |
| Factor de potencia (100% carga) | 0,85 |

El calibre de los motores previstos es de 630 kW, por lo que la carga en el punto de funcionamiento más desfavorable entre los previstos será del 91%. Así, la línea de motor demandará la potencia hidráulica necesaria:

| Línea del motor (91% carga) | |
|---|---|
| Potencia activa (kW) | 573,55 |
| Potencia reactiva (kVAr) | 211 |
| Potencia aparente (kVA) | 782,10 |

Para la tensión de funcionamiento prevista, la intensidad sería:

| | |
|---|---|
| U(V) | 6.000 |
| IL(A) a 91% de carga sin compensación | 64,64 |
| IL(A) a 100% de carga sin compensación | 71,31 |

Tal y como se recogen en los cálculos justificativos, la intensidad de línea del motor podría llegar a arrojar unas necesidades de unos 71,31A (100% carga del motor sin compensar).

Por lo tanto, prestando atención a las especificaciones técnicas del equipo seleccionado se ha adoptado la inclusión de un arrancador estático a 6 kV para la línea de motor alimentado mediante este equipo, que sea capaz de proporcionar en condiciones nominales un mínimo de 71,31A, para lo cual se dimensiona un arrancador estático con una intensidad nominal de 80A y con una capacidad de sobrecarga del 125% en continuo. Dispondrá de contactor de vacío de

bypass y otro de línea. Así, una vez adquirido el régimen nominal se conecta el contactor de bypass y se desconecta el contactor de línea. De esta forma, el modelo elegido permitirá una vez realizado el proceso de arranque bypasear los SCRs de este equipo redundando en un incremento de la eficiencia energética, mantenimiento las prestaciones de protección de motor (sobrecargas, desequilibrios y subtensiones, entre otras).

El arrancador presentará un grado de protección mínimo IP54 y dispondrá por necesidades de control, de entradas digitales/analógicas, salidas digitales y de un puerto de comunicaciones para la implementación de un bus de campo RS-485, para que adoptando Modbus-RTU como protocolo industrial, se comuniquen parámetros eléctricos, así como cualquier otra información que se considere relevante, al PLC de la instalación, en caso de que se quisiesen integrar sus señales en el sistema de control existente.

Independientemente de esta integración y para su maniobra en local, el arrancador estático debe disponer en su envolvente de un display y/o botonera que permita su accionamiento en manual, así como la configuración de sus curvas de arranque y de paro y otros parámetros de funcionamiento del mismo.

Es fundamental que, en el momento de incorporar todos los equipos de electrónica de potencia, se verifique que la intensidad que pueden proporcionar supere la intensidad declarada en la placa de características técnicas del motor.

## 6. LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN

Se considerará el cálculo de todas las líneas de alimentación con origen en las celdas de protección proyectadas y teniendo en cuenta que se mantendrán las líneas de alimentación que conectan los transformadores con sus correspondientes celdas de protección, si incluidas en este proyecto. Dichas líneas existentes conectarán los transformadores con la instalación renovada, estableciéndose el reparto a los equipos proyectados (arrancadores estáticos y batería de condensadores) desde las barras de las celdas proyectadas.

### 6.1. A armarios de arrancadores

Discurrirá desde la celda de protección hasta el arrancador de cada circuito de motobomba. Los cables se dimensionarán para poder cubrir la demanda de potencia solicitada en la situación

más desfavorable, siendo esta potencia la correspondiente al circuito funcionando al 125% de sobrecarga, lo que equivale a 787,5kW y 75,78A por línea de bombeo. Adicionalmente, se mayorará la potencia del receptor un 25% para obtener la intensidad circulante en cada línea de alimentación, resultando un total de 94,72 A en total.

El cable seleccionado será una terna de sección 95/16 TT mm2 de sección, de aluminio y con aislamiento RHZ1-2OL para una tensión de 12/20 kV y discurrirá por bandeja perforada. La pantalla metálica del conductor, formada por hilos de cobre en hélice con cinta de cobre a contraespira, irá conectada a tierra en ambos extremos.
Las características eléctricas del conductor son:

- I. Admisible (instalación en bandeja perforada, temperatura del aire 40ºC y colocado a la sombra) = 255 A.
- Resistencia a t 20ºC = 0,125 ohm/km.
- Resistencia a t 105ºC = 0,168 ohm/km.
- Reactancia inductiva: 0,104 ohm/km.
- Capacidad = 0,1 µF/km.
- Temp. Servicio permanente = 90 °C.
- Temperatura de cortocircuito = 250 °C.

Los conductores se calcularán para cumplir con el criterio de intensidad máxima admisible, caída de tensión y según la corriente de cortocircuito.

**Criterio por intensidad máxima admisible**

La intensidad que soportará el conductor deberá ser superior a la intensidad máxima que pueda circular por la instalación.

Para una potencia de 630 kW. Para una tensión de 6 kV, y asumiendo que no existe corrección del factor de potencia (0,85), la intensidad que podrá circular por la instalación es de 71,32 A.

La intensidad que soporta el conductor es de 255 A en las condiciones de instalación indicadas anteriormente. Para condiciones diferentes, según se indica en la ITC-LAT-06, se aplicarán factores correctores para determinar la intensidad máxima admisible por el conductor. En este caso, los coeficientes a aplicar se corresponden con los siguientes:

- Temperatura del aire máx 40ºC. Según ITC-LAT-06 tabla 14, le corresponde un coeficiente de 1
- Agrupación de 1 circuito en bandeja con los conductores en contacto mutuo y con las paredes. Según ITC-LAT-06 tabla 18, le corresponde un coeficiente de 1.
- Se comprueba que la intensidad que soporta el conductor escogido es superior a la intensidad que podría circular por la instalación.
- I admisible terno de cables unipolares (aplicados los coeficientes) = 255 A.
- I máx. en instalación = 71,32 A.

**Criterio por caída de tensión**

Dado que se trata de la modificación de una instalación existente, se tendrá en cuenta la existencia de caídas de tensión aguas arriba de los circuitos descritos. Para ello, se limitará la máxima caída de tensión en las líneas de alimentación a un 5%, asumiendo pérdidas de 1,5% en los tramos aguas arriba hasta el transformador.

La caída de tensión se calcula con la ecuación siguiente:

$$Av = L \cdot I\ instalación \cdot \sqrt{3} \cdot \big((R \cdot \cos\varphi) + (X \cdot \sin\varphi)\big)$$

Donde:

- Av= Caída de tensión (V).
- L= Longitud de la línea = 0,005 km
- I instalación = Intensidad en la instalación = 71,32 A.
- R = Resistencia conductor (se ha considerado a temp. máxima de trabajo) = 0,168 ohm/km.
- φ = ángulo formado por desfase entre tensión e intensidad = 31,78 º
- X = Reactancia inductiva = 0,104 ohm/km

Sustituyendo los valores indicados en la fórmula se obtiene una caída de tensión de 0,12 V, que se corresponde con una caída de tensión del 0,0020%,valor muy inferior al máximo admisible fijado en el 5 %.

**Criterio por corriente de cortocircuito**

El conductor deberá poder soportar la corriente de cortocircuito que se pueda producir en la

instalación. La intensidad de cortocircuito es de 4 kA, correspondiente a cortocircuito franco en bornas del secundario de los transformadores operando en paralelo (1250 kVA, 6 kV, tensión de cortocircuito Ucc 6%).

La intensidad máxima que soporta el conductor, para un cortocircuito con una duración de 1 segundo,
es de 8,930 kA según datos de fabricante. Por lo que será capaz de soportar la intensidad de cortocircuito que circule por su través.

### 6.2. De arrancador a grupo de bombeo

Se realizará el cálculo de los conductores para la alimentación de uno de los motores. Siendo de aplicación los mismos conductores para el resto de conexiones a motores, así como para la conexión del arrancador estático.

Los cables se dimensionarán para poder cubrir la máxima potencia que pueda demandar el motor de 630 kW. Se asumen 15 metros de línea, entre el arrancador estático y los terminales del motor.

Estos cables discurrirán por bandeja perforada en el interior del edificio. El cable seleccionado será de una terna 95/16 mm2 TT de sección, de aluminio y con aislamiento RHZ1-2OL para una tensión de 12/20 kV, siendo esta la menor sección comercial existente para este tipo de conductor. La pantalla metálica del conductor, formada por hilos de cobre en hélice con cinta de cobre a contraespira, irá conectada a tierra en ambos extremos.

Las características eléctricas del conductor son:

- I. Admisible (instalación en bandeja perforada, temperatura del aire 40ºC y colocado a la sombra) = 255 A.
- Resistencia a t 20ºC = 0,125 ohm/km.
- Resistencia a t 105ºC = 0,168 ohm/km.
- Reactancia inductiva: 0,104 ohm/km.
- Capacidad = 0,1 µF/km.
- Temp. Servicio permanente = 90 ºC.
- Temperatura de cortocircuito = 250 ºC.

Los conductores se calcularán para cumplir con el criterio de intensidad máxima admisible, caída de tensión y según la corriente de cortocircuito.

**Criterio por intensidad máxima admisible**

La intensidad que soportará el conductor deberá ser superior a la intensidad máxima que pueda circular por la instalación. Teniendo en cuenta los datos siguientes:

- P= 630 kW.
- Sobrecarga permanente admisible 125% (89,14A).
- Sobredimensionamiento del conductor 125% (111,44A).
- Rendimiento motor= 96%.
- Cos(φ)= 0,85.
- Tensión= 6kV.

La intensidad que deberá soportar es de 111,44A.
La intensidad que soporta el conductor es de 255 A en las condiciones de instalación indicadas anteriormente. Para condiciones diferentes, según se indica en la ITC-LAT-06, se aplicarán factores correctores para determinar la intensidad máxima admisible por el conductor.

Se comprueba que la intensidad que soporta el conductor escogido, una vez aplicados los coeficientes, es superior a la intensidad que podría circular por la instalación.

- I admisible conductor (aplicados los coeficientes) = 255 A.
- I máx. en instalación = 111,44 A.

**Criterio por caída de tensión**

La caída de tensión se calcula con la misma ecuación empleada en el apartado anterior del presente anejo.

Sustituyendo los valores indicados en la fórmula se obtiene una caída de tensión de 0,36V, que se corresponde con una caída de tensión del 0,006%. Sumando este tramo al anterior, la caída de tensión acumulada prevista es 0,008%, valor muy inferior al máximo admisible fijado en el 5%.

**Criterio por corriente de cortocircuito**

El conductor deberá poder soportar la corriente de cortocircuito que se pueda producir en la instalación. Se aplica el mismo criterio de cálculo para la intensidad de cortocircuito que en el apartado anterior del presente anejo (cortocircuito en bornas del secundario del transformador). Así, la intensidad máxima que soporta el conductor en estas condiciones, para un cortocircuito con una duración de 1 segundo, es de 8,930 kA según datos de fabricante. Por lo que será capaz de soportar la intensidad de cortocircuito que circule por su través.

### 6.3. A batería de condensadores

Se realizará el cálculo de los conductores para la alimentación de la batería de condensadores. Estos cables discurrirán en bandeja metálica perforada existente, por lo que no forma parte del presente proyecto.

El cable seleccionado será de 95/16 TT mm2 de sección, de aluminio y con aislamiento RHZ1-2OL para una tensión de 12/20 kV. La pantalla metálica del conductor, formada por hilos de cobre en hélice con cinta de cobre a contraespira, irá conectada a tierra en ambos extremos. Se estima una longitud de 5 metros para la conexión de la celda de protección con la batería de condensadores.

Las características eléctricas del conductor son:

- I. Admisible (instalación en bandeja perforada, temperatura del aire 40ºC y colocado a la sombra) = 255 A.
- Resistencia a t 20ºC = 0,206 ohm/km.
- Resistencia a t 105ºC = 0,277 ohm/km.
- Reactancia inductiva: 0,117 ohm/km.
- Capacidad = 0,254 µF/km.
- Temp. Servicio permanente = 90 ºC.
- Temperatura de cortocircuito = 250 ºC.

Los conductores se calcularán para cumplir con el criterio de intensidad máxima admisible, caída de tensión y según la corriente de cortocircuito.

**Criterio por intensidad máxima admisible**

La intensidad que soportará el conductor deberá ser superior a la intensidad máxima que pueda circular por la instalación. Teniendo en cuenta los datos siguientes:

- P= 660 kVAr.
- Tensión= 6,6 kV.
- Sobredimensionamiento del cable de 1,5.

La intensidad que deberá soportar es de 86,60A.

La intensidad que soporta el conductor es de 255 A en las condiciones de instalación, temperatura, etc, indicadas anteriormente. Para condiciones diferentes, según se indica en la ITC-LAT-06, se aplicarán factores correctores para determinar la intensidad máxima admisible por el conductor. En este caso, los coeficientes a aplicar se corresponden con los siguientes:

- Temperatura del aire máx 40ºC. Según ITC-LAT-06 tabla 14, le corresponde un coeficiente de 1
- Agrupación de 1 circuito en bandeja con los conductores en contacto mutuo y con las paredes. Según ITC-LAT-06 tabla 18, le corresponde un coeficiente de 1.

Se comprueba que la intensidad que soporta el conductor escogido, una vez aplicados los coeficientes, es superior a la intensidad que podría circular por la instalación.

- I admisible conductor (aplicados los coeficientes) = 255 A.
- I máx. en instalación = 86,60 A.

**Criterio por caída de tensión**

La caída de tensión se calcula con la misma ecuación empleada en el apartado anterior del presente anejo.

Sustituyendo los valores indicados en la fórmula se obtiene una caída de tensión de 0,14 V, que se corresponde con una caída de tensión del 0,0024 %. Valor muy inferior al máximo admisible fijado en el 5%.

### Criterio por corriente de cortocircuito

El conductor deberá poder soportar la corriente de cortocircuito que se pueda producir en la instalación. Se aplica el mismo criterio de cálculo para la intensidad de cortocircuito que en el apartado anterior del presente anejo (cortocircuito en bornas del secundario del transformador).

La intensidad máxima que soporta el conductor en estas condiciones, para un cortocircuito con una duración de 1 segundo, es de 8,930 kA según datos de fabricante. Por lo que será capaz de soportar la intensidad de cortocircuito que circule por su través.

## 7. PUESTA A TIERRA

La estación de bombeo dispone actualmente de toma de tierra, por lo que en el presente proyecto se contempla su revisión y mejora. De acuerdo con los datos proporcionados por la propiedad, la resistividad de la toma de tierra medida recientemente es de 0,82 ohmios. Así pues, no se considera necesario realizar acciones correctivas sobre la misma.

Si tras la ejecución de lo proyectado se verifica que las condiciones de la toma de tierra no cumplen los requisitos establecidos por la ITC-RAT 13, se realizará un rebaje en la resistividad de la misma hasta que los valores de tensión de contacto y de paso se ajusten a lo requerido. La corrección de la puesta a tierras se realizará sin recurrir a rellenos diferentes del propio terreno.

## 8. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Serán de aplicación los criterios de distancia de seguridad entre equipos en instalaciones interiores establecidos en la ITC-RAT 14 Instalaciones Eléctricas de Interior. Se dispondrán pasillos de servicio de, al menos, 1,2 metros, previendo que puedan disponerse elementos a ambos lados del mismo. No se considera la existencia de elementos sometidos a tensión sin protección en la estación de bombeo, por lo que no se establecen requisitos de distanciamiento vertical. En todo caso, los pasillos de servicio dispondrán de una altura mínima libre de 2,3 metros.

En cuanto a distancias respecto a paredes traseras y laterales, estableciéndose una distancia lateral mínima de 100 mm y una trasera de 50 mm.

## 9. INSTALACIONES EN BAJA TENSIÓN ASOCIADAS

Desde el cuadro de baja tensión existente en la instalación, se suministrará energía a los siguientes receptores:

- controladores de electrónicos de los arrancadores estáticos y de la batería de condensadores (2 unidades).
- resistencias calefactoras de los motores para evitar fenómenos de condensación (2 unidades).

Se estima una potencia de 250W para cada uno de estos circuitos, debiendo ser alimentados a una tensión de 230Vac. Así, la intensidad circulante será de 1,08 A. Sobre esta intensidad, y de acuerdo con el método de instalación y la agrupación de circuitos se definirá la sección mínima de conductor requerida:

- Método de instalación B2.
- Agrupación de hasta cuatro circuitos en el mismo tubo, por lo que se empleará un factor de corrección del 0,7 sobre la intensidad admisible del conductor seleccionado para el método B2.

La designación prevista para cada uno de estos circuitos es RV-K 2x2,5 mm2, soportando el conductor en las condiciones señaladas 16,1 A. Para distribuir los circuitos se empleará un tubo rígido de PVC fijado superficialmente que, de acuerdo con la ITC-BT-21, tendrá un diámetro mínimo de 16 mm.

## 10. AUTOMATIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES

Los equipos de bombeo proyectados impulsarán agua hacía el depósito del El Fondillo y sólo está previsto su accionamiento manual, ya sea desde la propia electrónica de potencia o desde el SCADA de control existente.

La integración de las señales de los nuevos grupos de bombeo se realizará en el autómata programable (PLC) existente en la estación. La propiedad informa de que dispone de E/S de reserva tanto digitales como analógicas. Las actuaciones previstas incluyen la sustitución de las señales asociadas a los grupos de bombeo actuales, por lo que no se requiere nuevas entradas y salidas en el autómata.

El presente proyecto contempla las siguientes actuaciones adicionales para integración de

nuevas señales:

1. Integración de las sondas de temperatura de los motores en el sistema de control, incluyendo equipos para captura y transformación (multiplexores) de las resistencias proporcionadas por las sondas PT100 en señales analógicas normalizadas 4…20 mA. Se dispondrá de un multiplexor por grupo de bombeo para el interconexionado de todas sus sondas de temperatura. Estos equipos se montarán en el cuadro de control existente y se cablearán a alguna de las entradas analógicas disponibles en el autómata de control. A estas señales se les asociará una visualización en el SCADA donde se recojan los valores de temperatura monitorizados.
2. Ejecución de un BUS de comunicaciones entre la electrónica de potencia para accionamiento de los motores, el regulador de la batería autómatica de condensadores para integración de sus parámetros en la visualización de estado y parámetros eléctricos de los grupos de bombeo (activo/inactivo, energía consumida, potencia y alarmas) y de la propia estación (energía activa, energía reactiva, factor de potencia y estado de la batería de condensadores, entre otros).
3. Instalación de un sensor de nivel para la determinación en continuo del nivel de llenado del depósito de El Fondillo. Este sistema incluye un sensor de nivel hidrostático, alojado en el propio depósito y un autómata para registro del nivel y transmisión del mismo al autómata existente en la estación de bombeo. Este autómata se alimentará desde la red eléctrica existente en dicho depósito. Se proyecta el uso de las comunicaciones 4G, incluidas en el autómata proyectado para el depósito. Las comunicaciones entre este depósito y la estación de bombeo se realizarán mediante una VPN (virtual private network) configurada para tal fin. El protocolo a emplear entre autómatas será preferiblemente MODBUS TCP o MODBUS RTU, pudiendo emplearse cualquier otro protocolo equivalente que soporte el autómata de control existente.

En Santa Cruz de Tenerife a diciembre de 2022

El Ingeniero Industrial

Colegiado nº 471 del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Santa Cruz de Tenerife

Jorge Ramos Pérez

DNI: 54050314S