

## ANEJO Nº 08.- CÁLCULOS ELÉCTRICOS



## ÍNDICE

<b>1 LEGISLACIÓN APLICABLE</b>	<b>1</b>
<b>2 RESUMEN DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS</b>	<b>2</b>
<b>3 INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN</b>	<b>3</b>
3.1 Potencia absorbida por el nuevo cuadro de baja tensión	3
3.2 Cuadros eléctricos	3
3.2.1 Introducción	3
3.2.2 Cálculo de los interruptores	6
3.3 Corrección del factor de potencia	7
3.3.1 Introducción	7
3.3.2 Esquema de cálculo	7
3.3.3 Métodos de compensación	8
3.3.4 Instalación propuesta	9
3.4 Conductores y canalizaciones de fuerza y maniobra	10
3.4.1 Justificación teórica del cálculo eléctrico de las secciones de los conductores en líneas de baja tensión	10
3.4.2 Cálculo de las conducciones eléctricas en baja tensión	13
3.5 Coordinación de protecciones	18
3.5.1 Protecciones contra sobreintensidad	18
3.5.2 Protección contra sobrecargas	19
3.5.3 Protección contra cortocircuitos	19
3.5.4 Protecciones contra sobretensión	19
3.5.5 Protecciones contra contactos directos e indirectos	19
3.5.6 Coordinación de protecciones. Selectividad	19
3.6 Red general de puesta a tierra	20
3.6.1 Justificación teórica de los cálculos	20
3.6.2 Cálculo de la red general de tierras	23
3.6.3 Resultados obtenidos	24
3.7 Protección contra el rayo	25
3.7.1 Instalación existente	25
3.8 Instalación de alumbrado	26
3.8.1 Alumbrado interior	26
3.8.2 Alumbrado exterior	29

## ANEXO I. CÁLCULO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS Y LISTADO DE RECEPTORES ELECTROMECÁNICOS



## ANEXO II. ESTUDIO DE ALUMBRADO INTERIOR



## 1 LEGISLACIÓN APLICABLE

En la redacción del presente anejo se ha tenido en cuenta el Pliego de Prescripciones Técnicas y las Especificaciones Técnicas de Canal de Isabel II, además de los siguientes reglamentos y normas:

### Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Real Decreto 842/2002 del 2 de Agosto de 2002, publicado en el B.O.E. nº 224 de 18 de Septiembre de 2002).
- Todas las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-BT) adjuntas a dicho Reglamento.
- Todas las Normas UNE definidas como “Normas de Referencia” en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-02 del mencionado Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en sus revisiones vigentes.

### Seguridad y Salud:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre de 1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril de 1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril de 1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio de 1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo de 1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- En general, cuantas Reglamentaciones vigentes afecten a este tipo de actividad, así como las normas de uso general que se han estimado oportunas.

## 2 RESUMEN DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS

Se resumen a continuación las actuaciones previstas sobre las instalaciones eléctricas:

- Instalación de un nuevo cuadro de baja tensión tipo CCM para alimentar los equipos de la nueva caseta de válvulas.
- Modificación del “Cuadro de Cabecera” existente para conectar la acometida para el nuevo cuadro de baja tensión de la caseta de válvulas, que alimentará los nuevos equipos y la nueva remota.
- Instalación completa de baja tensión incluyendo caseta de válvulas, cuadro de baja tensión, alumbrado, red de tierras, servicios auxiliares y tendido de conducciones y cables desde el nuevo cuadro de baja tensión hasta la totalidad de los nuevos receptores.
- Reubicación de 4 farolas debido a las obras de demolición y construcción.

Estas actuaciones se detallan en los siguientes apartados.



### 3 INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN

#### 3.1 Potencia absorbida por el nuevo cuadro de baja tensión

En primer lugar, conviene indicar la **potencia instalada** total (incluyendo la correspondiente a los equipos en reserva), que en la situación de diseño alcanzará los **12,42 kW**. Se prevé la instalación a futuro de un grupo de presión de tres bombas de 5,5 kW en la nueva caseta de válvulas, es decir, un máximo de 16,5 kW. Para prever la instalación a futuro, en el nuevo cuadro se equipa una salida al futuro cuadro del grupo de presión. Por tanto, en la situación a futuro, la potencia instalada será de **28,92 kW**.

Para justificar la capacidad de los interruptores necesarios, se debe partir de la **potencia efectiva**, que equivale a la potencia total instalada, pero sin contar los equipos en reserva. En este caso, los valores resultantes quedan en **11,42 kW** para la situación de diseño, y **27,92 kW** para la situación futura.

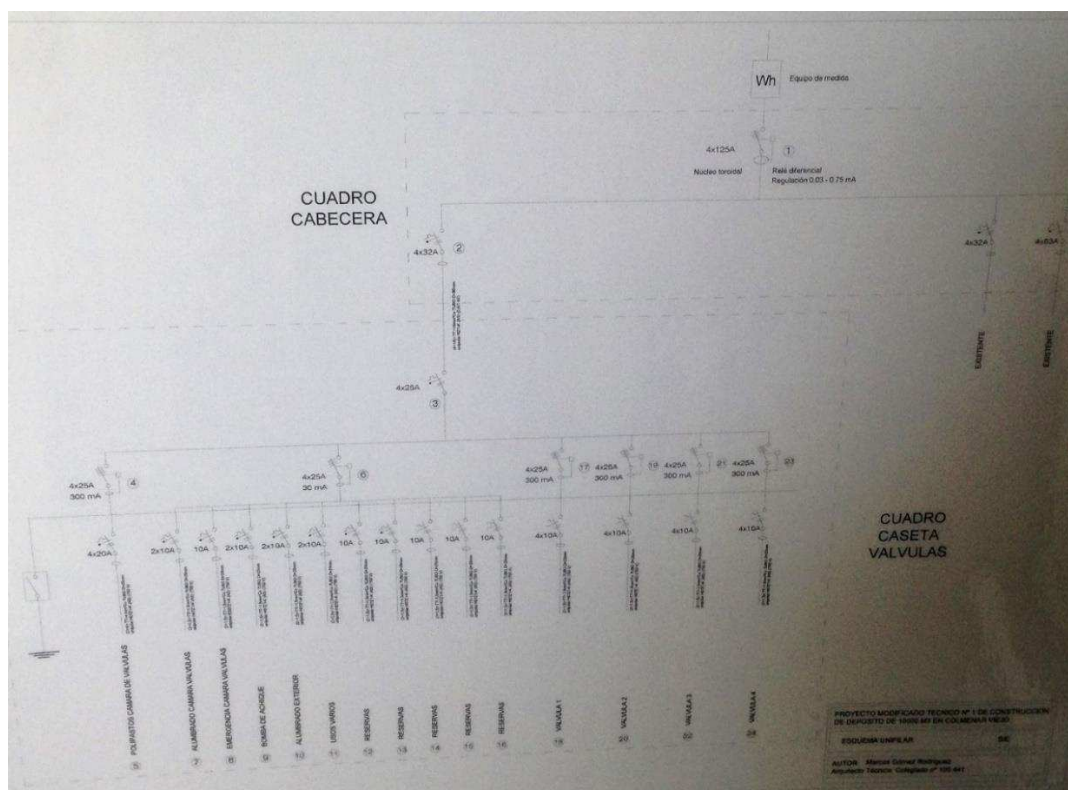
Por último, la potencia necesaria se evalúa a partir de la **potencia simultánea**, la cual se obtiene a partir de la potencia efectiva, aplicando para cada motor el factor de carga y el rendimiento en la situación de trabajo prevista, así como un factor de simultaneidad global a la instalación, de la que resulta una potencia de **11,17 kW** en la situación de diseño, y **27,66 kW** a futuro.

#### 3.2 Cuadros eléctricos

##### 3.2.1 Introducción

Los cuadros eléctricos de baja tensión se han proyectado conforme a las especificaciones técnicas eléctricas de Canal de Isabel II. En los siguientes apartados se justifican los esquemas de cálculo utilizados para determinar las principales características de estos cuadros.

Se ejecutará un cuadro de baja tensión en la nueva caseta de válvulas que recibe la acometida principal desde el “Cuadro de Cabecera” existente.



**Figura 1:** Esquema unifilar del Cuadro de Cabecera y Cuadro de la caseta de válvulas existente



**Figura 2:** Caseta que aloja el Cuadro de Cabecera



**Figura 3:** “Cuadro caseta válvulas” existente

El “Cuadro de Cabecera” existente alimenta en la actualidad a los cuadros del Edificio C.P. El Soto, del Edificio Concentrador y de la caseta de válvulas existente.

El cuadro de la Caseta de válvulas existente alimenta a los equipos de la caseta: polipasto, bomba de achique, al alumbrado y fuerza de la caseta, y a las válvulas V1, V2 V3 y V4. Se trata de un cuadro mural de chapa con puerta ciega de ejecución fija y consta de un interruptor automático tetrapolar de cabecera de caja moldeada de 32 A, del que se ramifican los distintos circuitos trifásicos. El cuadro dispone de 5 salidas monofásicas de reserva de 10 A.

Debido a las obras, se aprovechará una salida del “Cuadro de Cabecera” para instalar un interruptor automático tetrapolar de **63 A** y una protección diferencial de **63 A** de intensidad nominal y **300 mA** de sensibilidad, de salida al cuadro de la nueva caseta de válvulas.

Este cuadro de la nueva caseta de válvulas será tipo CCM y alimentará al total de receptores de la caseta, su ejecución está prevista al principio de la obra. Será un cuadro abierto, de ejecución fija, aunque en el resto de características seguirá la especificación técnica E.T.-3311. Los cuadros que se instalan en la sala de válvulas serán IP 54 y se ubicarán en zona no inundable.

En apartados anteriores se ha justificado la potencia eléctrica máxima prevista, según la cual basta con adaptar el “Cuadro de Cabecera” existente para alimentar el nuevo cuadro. No se efectuará ampliación de potencia.

### 3.2.2 Cálculo de los interruptores

#### 3.2.2.1 Esquemas de cálculo

El valor de la intensidad nominal de cada **interruptor de acometida** se obtiene a través de la potencia máxima simultánea demandada, correspondiente mediante la expresión:

$$I_N = \frac{P_a}{\sqrt{3} \cdot U}$$

donde:

- $P_a$ : potencia nominal (VA)
- $U$ : tensión nominal (V) en baja tensión
- $I_N$ : intensidad nominal (A)

Para el cálculo del poder de corte, se tomará igual a **10 kA** al no tener datos sobre su valor.

El valor de la intensidad nominal de cada **interruptor de salida** se obtiene a través de la potencia aparente total de las cargas aguas debajo de cada salida mediante la expresión:

$$I_N = \frac{P_a}{\sqrt{3} \cdot U}$$

donde:

- $P_a$ : potencia total de las cargas alimentadas (VA)
- $U$ : tensión nominal (V) en baja tensión
- $I_N$ : intensidad nominal (A)

En cuanto al poder de corte, se usará la impedancia equivalente,

Seguidamente, la potencia de cortocircuito se calcula como:

$$P_{CCBT} = P_{cc} / Z_{eq}$$

Y el valor eficaz de la intensidad de cortocircuito en baja tensión resultará:

$$I_{cc} = P_{CCBT} / (\sqrt{3} \times U), \text{ que se expresa en kA}$$

#### 3.2.2.2 Instalación propuesta

Para el cálculo de cortocircuito de los interruptores de los cuadros principales, hay que tener en cuenta todas las impedancias acumuladas desde el cuadro general de baja tensión existente hasta los interruptores de salida. Como no se dispone de datos, se supone un valor de 16 kA. Se prevé para la situación futura, incluyendo el futuro grupo de bombeo.



INTERRUPTORES DEL CUADRO CASETA DE VÁLVULAS	
EMBARRADO	
Nº de cuadros	1 ud
Potencia absorbida	33 KVA
Tensión de red	400 V
Interruptores de acometida	
Intensidad nominal	47,47 A
Nº de interruptores de acometida a instalar	1 ud
Tipo de interruptor	Caja moldeada
Intensidad nominal del interruptor	63 A
Poder de corte del interruptor	16 kA

### 3.3 Corrección del factor de potencia

#### 3.3.1 Introducción

Los sistemas de corrección del factor de potencia se han proyectado conforme a lo exigido según los criterios de diseño del Pliego y las especificaciones técnicas de Canal de Isabel II. A continuación, se resumen los esquemas de cálculo utilizados para determinar las características principales.

#### 3.3.2 Esquema de cálculo

Cuando se conecta una carga a una línea en tensión, absorbe una corriente que depende de las características eléctricas de dicha carga. El producto de esta corriente por la tensión aplicada se denomina potencia aparente.

La potencia aparente está compuesta por la potencia activa, que es la que la carga puede suministrar al exterior (en forma de energía mecánica o calor), y por la potencia reactiva, que es necesaria para generar campos magnéticos imprescindibles para el funcionamiento de determinados tipos de cargas. Se denomina como factor de potencia a la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, y su valor puede variar entre 0 y 1. Aunque la energía reactiva requerida por las cargas inductivas no se transforma en trabajo útil, debe ser generada, transportada y distribuida por la red eléctrica. Esto obliga al sobredimensionamiento de transformadores, generadores y líneas, e implica la existencia de pérdidas y caídas de tensión. Por esta razón, las Compañías Eléctricas penalizan el consumo de energía reactiva, aplicando recargos.

En el caso de que existan, se ha considerado para las cargas gobernadas por variador de frecuencia un factor de potencia igual a 0,95, valor conservador ya que la mayoría de fabricantes garantizan valores más cercanos a 1. Para el resto de motores se ha considerado un valor normalizado en función de su potencia, o particularizado en el caso de las bombas según los valores especificados por los suministradores seleccionados.

Los condensadores eléctricos instalados en la proximidad de las cargas inductivas producen la energía reactiva requerida por éstas. Su conexión a una red eléctrica se denomina compensación o mejora del

factor de potencia, y constituye el método más económico, rápido y seguro de proporcionar la energía reactiva requerida.

Las ventajas obtenidas con la mejora del factor de potencia son las siguientes:

- Supresión de recargos en la factura de energía eléctrica.
- Disminución de las pérdidas de energía activa en los cables.
- Reducción de las caídas de tensión (elevación de tensión en los finales de línea).

### 3.3.3 Métodos de compensación

#### 3.3.3.1 Compensación individual

Este tipo de compensación se aplica a motores, transformadores y en general a cargas de alta potencia con un elevado número de horas de funcionamiento. Los condensadores necesarios se conectan directamente en paralelo a los bornes de las cargas.

Las ventajas de este método de compensación son las siguientes:

- Elimina recargos de energía reactiva en la factura de la energía eléctrica.
- Economía resultante al prescindir de dispositivos para la conexión y desconexión de los condensadores.
- Reducción al mínimo de la corriente que circula por las líneas, lo que supone la posibilidad de emplear líneas y aparellaje de dimensiones más reducidas o en instalaciones existentes un aumento de la potencia máxima que pueden distribuir.

Sin embargo, el principal inconveniente resulta en que es un sistema costoso, especialmente si las cargas trabajan lejos del 100 % del tiempo, pues entonces una parte de los condensadores queda fuera de operación.

Por otra parte, para evitar el peligro de autoexcitación es necesario limitar la potencia del condensador al 90 % de la potencia reactiva del motor sin carga:

$$Q_C = 0,9 \cdot I_0 \cdot U_N \cdot \sqrt{3}$$

donde:

- $Q_C$ : potencia del condensador (VAr)
- $I_0$ : corriente en vacío del motor (A)
- $U_N$ : tensión entre fases (V)

#### 3.3.3.2 Compensación centralizada

Cuando existe un número importante de cargas inductivas en la instalación, la compensación individual puede llegar a ser antieconómica, y la compensación centralizada por medio de una batería de condensadores con regulación automática ofrece la solución más simple y a la vez más económica.

La potencia total de la batería está subdividida en un número de escalones con condensadores conectables de forma independiente. Un regulador de energía reactiva mide en todo momento las necesidades de la instalación y conecta o desconecta condensadores hasta alcanzar un factor de

potencia prefijado de antemano. Las principales ventajas de este método de compensación son las siguientes:

- Elimina recargos en la factura de energía eléctrica.
- Potencia total de condensadores inferior a la requerida en compensación individual.
- Costes de instalación reducidos.

### 3.3.4 Instalación propuesta

Dadas las características de la instalación objeto de este proyecto, se opta por una compensación de tipo centralizada.

En el cálculo de la capacidad de la batería automática de condensadores, se parte de un factor de potencia inicial de 0,80, según se exige en la E.T.-3322 correspondiente a dicho equipo. Este factor es inferior al teórico, en el escenario actual (0,82), con lo que el dimensionamiento de la batería resulta conservador. Y el factor de potencia final objeto de la compensación debe ser 1,0, también según se exige en la mencionada E.T.-3322.

Siguiendo estos criterios, a continuación, se justifica la batería de condensadores a instalar para un coeficiente de simultaneidad de 1:

BATERÍA AUTOMÁTICA DE CONDENSADORES	DISEÑO	FUTURO	UD
Potencia eléctrica total absorbida según simultaneidad	11,17	27,66	kW
Factor de potencia inicial teórico de la instalación	0,817	0,842	
Factor de potencia inicial adoptado para la instalación	0,80	0,80	
Factor de potencia final de la instalación	1,00	1,00	
Tensión nominal de cálculo	400	400	V
<b>Potencia reactiva demandada por la instalación</b>	<b>8,22</b>	<b>20,35</b>	<b>kVAr</b>
Nº de baterías de condensadores a instalar	1	1	ud
Regulación automática de potencia	Sí	Sí	
Filtros de armónicos incluidos	Sí	Sí	
Tensión de servicio de la batería de condensadores	440	440,00	V
<b>Potencia adoptada para la batería de condensadores (a 440 V)</b>	<b>10,0</b>	<b>25,00</b>	<b>kVAr</b>
<b>Potencia útil de la batería de condensadores (a 400 V)</b>	<b>8,26</b>	<b>20,66</b>	<b>kVAr</b>
Comprobación de la validez de la batería propuesta	<b>OK</b>	<b>OK</b>	

Se selecciona una batería automática de condensadores de **25 kVAr** a 440 V (20,66kVAr a 400 V), compuesta por seis escalones estructurados en 2x2,5+4x5, con una regulación 1:1:2, preparada para la situación de diseño y para la ampliación futura.

Debido a la probable presencia de armónicos, a causa de los variadores de frecuencia que tiene previsto el futuro grupo de bombeo, la batería será de dieléctrico reforzado a una tensión de servicio de 440 V.

### 3.4 Conductores y canalizaciones de fuerza y maniobra

#### 3.4.1 Justificación teórica del cálculo eléctrico de las secciones de los conductores en líneas de baja tensión

##### 3.4.1.1 Esquema de cálculo

Los métodos de cálculo empleados en la determinación de los conductores, se han aplicado conforme a los valores determinados en cada caso por las Instrucciones Técnicas Complementarias del REBT correspondientes:

- Cálculo según la corriente máxima admitida
- Cálculo según la caída de tensión máxima permitida
- Cálculo según las corrientes de cortocircuito

##### Cálculo según la corriente máxima admitida

La densidad de corriente en el conductor debe ser limitada para disminuir el calentamiento producido al circular la corriente eléctrica.

##### Determinación de la corriente máxima admisible

Al circular una corriente por un conductor se produce una pérdida por efecto Joule que va elevando la temperatura del mismo hasta que se llega a un equilibrio entre el calor desarrollado y el calor emitido por radiación. En los cables aislados las máximas temperaturas admisibles dependen de los materiales aislantes.

La energía calorífica desarrollada vendrá expresada por:

$$Calor\_desarrollado = 0,24 * R * I^2 * t = 0,24 * \rho \frac{L}{S} I^2 * t = 0,24 * \rho \frac{4 * L}{\pi * d^2} I^2 * t$$

Siendo:

- R: Resistencia de línea en ohmios.
- I: Corriente de línea en amperios.
- t: Tiempo en segundos.
- $\rho$ : Resistividad en  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .
- L: Longitud del conductor en metros.
- S: Sección del conductor en  $\text{mm}^2$ .
- d: Diámetro del conductor en mm.

La cantidad de calor emitida será:

$$Calor\_emitido = M * \pi * d * L * t * (\theta_c - \theta_a)$$

Siendo:



- M: Coeficiente de radiación del conductor en Cal/mm<sup>2</sup> °C s.
- $\theta_c$ : Temperatura del conductor en grados centígrados.
- $\theta_a$ : Temperatura ambiente en grados centígrados.

Se llegará a un equilibrio cuando las dos expresiones anteriores se igualen, es decir, se deberá cumplir:

$$0,24 * \rho * \frac{4 * L}{\pi * d^2} I^2 * t = M * \pi * d * L * t * (\theta_c - \theta_a)$$

de donde se deduce que:

$$0,96 * \rho * I^2 = M * \pi^2 * d^3 * (\theta_c - \theta_a)$$

En consecuencia, una vez fijada la diferencia de temperaturas, se podrá determinar el diámetro mínimo para una corriente determinada o la corriente máxima que soportará un conductor de un diámetro conocido.

#### Intensidad de corriente admitida

El cálculo de la corriente absorbida por los distintos receptores de la planta, en función de su potencia, se basa en las siguientes fórmulas:

$$\text{Cargas trifásicas: } P = \sqrt{3} * V_l * I_l * \cos \phi$$

$$\text{Cargas monofásicas: } P = V_f * I_f * \cos \phi$$

Siendo:

- P: Potencia del receptor en W.
- $V_l$ : Tensión de línea en V.
- $I_l$ : Corriente de línea en A.
- $\cos \phi$ : Factor de potencia.
- $V_f$ : Tensión de fase en V.
- $I_f$ : Corriente de fase en A.

Con el valor de la intensidad obtenida en cada caso a partir de las expresiones anteriores, se determina la sección del conductor, teniendo en cuenta los factores de corrección establecidos en la Instrucción Técnica Complementaria del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión para conducciones subterráneas (ITC-BT-07), y que son función del tipo de instalación, material del conductor, resistividad térmica del terreno, profundidad de instalación, temperatura ambiente y agrupamiento de cables, tal como se ha detallado en el apartado anterior.

Así mismo, las potencias de cálculo se verán mayoradas por las Instrucciones Técnicas correspondientes según el tipo de receptor en cada caso (ITC-BT-40, ITC-BT-44, ITC-BT-47, ITC-BT-48).

#### Cálculo según la caída de tensión máxima admitida

La caída de tensión, que expresa la diferencia entre la tensión al principio y final de la línea, se limita para evitar el efecto que la disminución de la tensión de utilización tiene sobre el funcionamiento de

los receptores, los cuales deben estar conectados a la tensión nominal para su correcto funcionamiento.

#### Determinación de la caída de tensión

La caída de tensión se determina a partir de las siguientes expresiones:

$$\text{Líneas monofásicas: } \Delta V_{fase} = R * I * \cos \varphi + X * I * \sin \varphi$$

$$\text{Líneas trifásicas: } \Delta V_{línea} = \sqrt{3}(R * I * \cos \varphi + X * I * \sin \varphi)$$

Siendo:

- $\Delta V_{fase}$ : Caída de tensión de fase en V.
- $\Delta V_{línea}$ : Caída de tensión de línea en V.
- R: Resistencia de la línea por fase en  $\Omega$ .
- X: Reactancia de la línea por fase en  $\Omega$ .
- $\cos \varphi$ : Factor de potencia.

Y porcentualmente, la caída de tensión resultante es:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100$$

#### Caída de tensión admitida

La sección de los conductores viene impuesta por el máximo de caída de tensión admisible en la red. La sección de los conductores a utilizar se determinará de forma que la caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier punto de utilización sea menor de la indicada en cada caso por la Instrucción Técnica correspondiente (ITC-BT-19) o el Real Decreto 1955/2000 en su artículo 104. Esta caída de tensión se calculará considerando alimentados todos los aparatos susceptibles de operar en funcionamiento simultáneo.

#### Cálculo según las corrientes de cortocircuito

Debe limitarse la intensidad de corriente de cortocircuito pues su valor muy elevado produce un excesivo calentamiento del conductor, y puede originar que las fuerzas que tienden a separar o juntar conductores próximos recorridos por esa corriente tomen un valor excesivo. Las líneas deben poder soportar estas corrientes de cortocircuito durante intervalos de corta duración, ya que actuarán los elementos de protección al cabo de poco tiempo de producirse el cortocircuito.

En las instalaciones de interiores o receptoras de baja tensión, alejadas del centro de transformación que las alimenta, no se suele tener en cuenta este criterio para el cálculo de la sección pues se considera que la intensidad de corriente y el calentamiento producido no llegan a valores peligrosos antes de que actúen las correspondientes protecciones contra cortocircuitos.

#### Determinación de las corrientes de cortocircuito

Para un tiempo de cortocircuito del orden de 1,5 segundos, se considera la intensidad de línea en régimen permanente para cortocircuito tripolar, cuyo valor eficaz es:

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * V_L}$$

Siendo:

- $I_{cc}$ : intensidad eficaz de corriente de fase en el cortocircuito (A).
- $S_{cc}$ : potencia aparente de cortocircuito (VA).
- $V_L$ : tensión de línea (V).

La sección del conductor en función de la intensidad permanente de cortocircuito se calcula teniendo en cuenta que el cortocircuito es de muy corta duración, que la temperatura es la máxima admisible por el aislamiento, y que el calor producido se utiliza en incrementar la temperatura del conductor, sin transmitir calor alguno al exterior, con lo que resulta:

$$s = \frac{I_{cc} * \sqrt{t}}{K}$$

Siendo:

- $s$ : sección del conductor (mm<sup>2</sup>).
- $t$ : tiempo de duración del cortocircuito (s).
- $K$ : constante que depende del conductor y de las temperaturas al inicio y final del cortocircuito.

#### Corrientes de cortocircuito admitidas

El valor de  $K$ , para duraciones de cortocircuito inferiores a 5 segundos, resulta para conductores de cobre en 143 y 115 para aislamientos de XLPE-EPR y PVC respectivamente. En el caso de conductores de aluminio, estos valores serían 94 y 76 respectivamente para los mismos tipos de aislamientos.

Las Compañías Suministradoras deberán facilitar el valor máximo previsible de las intensidades de cortocircuito de sus redes de distribución, en virtud del artículo 15 del REBT.

Además, las intensidades máximas de cortocircuito en redes aéreas y subterráneas de baja tensión están indicadas en las Instrucciones Técnicas Complementarias correspondientes (ITC-BT-06 e ITC-BT-07).

### 3.4.2 Cálculo de las conducciones eléctricas en baja tensión

#### 3.4.2.1 Criterios de diseño adoptados

En este apartado se enumeran los criterios de diseño adoptados en función de lo expuesto anteriormente en este capítulo.

Los materiales de los cables se adoptarán según su tensión:

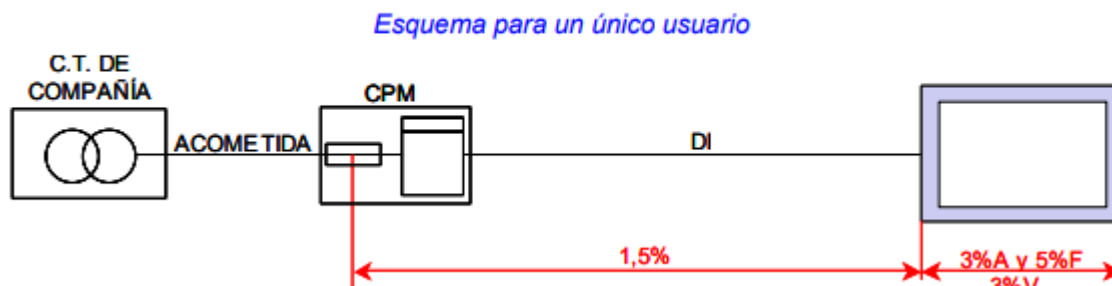
- Cables aéreos y/o subterráneos de baja tensión: cobre, con aislamiento de polietileno reticulado.

Las secciones mínimas de los conductores de baja tensión adoptados son:

- Cables de alimentación a cuadros locales de fuerza y alumbrado: 6 mm<sup>2</sup>.
- Cables de alimentación a equipos con cuadro local: 6 mm<sup>2</sup>.
- Cables de alimentación a motores: 2,5 mm<sup>2</sup>.
- Cables de alimentación a tomas de corriente: 2,5 mm<sup>2</sup>.
- Cables de alimentación a puntos de alumbrado interior: 1,5 mm<sup>2</sup>.
- Cables de alimentación a alumbrado exterior: 6 mm<sup>2</sup>.
- Cables de mando y control: 1,5 mm<sup>2</sup>.

Los cables se dimensionarán para limitar las caídas de tensión hasta los siguientes valores máximos según ITC-BT 19 del REBT, teniendo en cuenta que se trata de una instalación en baja tensión alimentada desde un centro de transformación de compañía:

**Figura A: Esquemas resumen de las caídas de tensión máximas admisibles**



**Figura 3: Caída de tensión máxima admisible**

- Cables de alimentación a receptores: **5 %** acumulado en la instalación interior, repartido en un 0,5 % del Cuadro Cabecera a los cuadros locales y auxiliares, y un restante 4,5 % a los receptores electromecánicos.
- Cable de alimentación a luminarias: **3 %** acumulado en la instalación interior, repartido en un 0,5 % del Cuadro Cabecera a los cuadros locales y auxiliares, y un restante 2,5 % a cada toma de fuerza y/o punto de luz.

Los factores de corrección globales considerados en la acometida a los receptores debido a la instalación son los siguientes:

- Cables enterrados en zanja bajo tubo, para acometidas a cuadros principales: 0,60.
- Cables al aire sobre bandejas perforadas, para acometidas a cuadros principales: 0,80.
- Cables enterrados en zanja bajo tubo, para acometidas a receptores y cuadros locales: 0,50.
- Cables al aire sobre bandejas perforadas, para acometidas a receptores y cuadros locales: 0,70.
- Si los sistemas de instalación finales fuesen distintos a los propuestos a la hora de realizar la ejecución de la obra, estos factores de corrección deberán ser revisados conforme a la instalación real.

Los valores de las potencias de cálculo adoptados en el cálculo de los cables de fuerza serán como mínimo:

- Acometida desde transformadores: 125 % de la potencia unitaria máxima suministrada por el transformador.

- Acometida a cuadros: 125 % de la potencia eléctrica absorbida por el cuadro.
- Acometida individual a motores: 125 % de su potencia unitaria.
- Acometida a baterías de condensadores: 170 % de la potencia máxima de la batería.
- Acometida a receptores de alumbrado: 180 % de la potencia total junto a un factor de potencia igual a la unidad.
- Resto de casos: 100 % de la potencia a plena carga.

Los tipos de cables adoptados en cada caso son los siguientes:

- Línea general de alimentación desde los Cuadros de Baja Tensión (CBT) del Centro de Transformación al Cuadro General de Distribución CGD-CCM: RV 0,6/1 kV, con aislamiento de polietileno reticulado, y cubierta de PVC.
- Alimentación a cuadros locales en el exterior: RV 0,6/1 kV, con aislamiento de polietileno reticulado, y cubierta de PVC.
- Alimentación a baterías de condensadores y cuadros locales ubicados en el interior de edificaciones: RZ1-K 0,6/1 kV, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de mezcla especial libre de halógenos. Reducida emisión de gases tóxicos y baja emisión de humos opacos.
- Alimentación a equipos regulados por variadores de frecuencia: RC4Z1-K 0,6/1 kV, con aislamiento de polietileno reticulado, pantalla mediante trenza de hilos de cobre desnudo con recubrimiento aproximado del 70%, y cubierta de mezcla especial libre de halógenos. Reducida emisión de gases tóxicos y baja emisión de humos opacos.
- Alimentación al resto de instalaciones de fuerza, mando y alumbrado: RZ1-K 0,6/1 kV, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de mezcla especial libre de halógenos. Reducida emisión de gases tóxicos y baja emisión de humos opacos.
- Control de instrumentación analógica: Z1C4Z1-K (AS) 0,6/1 kV (para interior), con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de mezcla especial libre de halógenos. Reducida emisión de gases tóxicos y baja emisión de humos opacos, pantalla mediante trenza de cobre sobre lámina de poliéster. VC4V-K 0,6/1 kV (para exterior), con aislamiento de PVC flexible, pantalla mediante trenza de cobre sobre lámina de poliéster, y cubierta de PVC.

En la determinación de la resistencia y reactancia de los cables se ha tenido en cuenta en cada tramo la temperatura del conductor, a partir de la temperatura ambiente, intensidad nominal, y la intensidad y temperatura máximas admitidas por el propio conductor.

#### 3.4.2.2 Cálculo de la acometida al nuevo cuadro de la caseta de válvulas

A continuación, se muestran los resultados de la acometida al nuevo cuadro. Se trata de un cable de 35 mm<sup>2</sup> de cobre por fase bajo tubo, denominación 4x(1x35) mm<sup>2</sup> con aislamiento de XLPE, de 150 m de longitud. En el **Anexo I** se incluye un listado detallado con los cálculos de la línea.

EQUIPOS						INTENSIDAD DE CÁLCULO A FUTURO				CÁLCULO DE LÍNEAS															
DESIGNACIÓN CUADRO ELÉCTRICO										TIPO DE INSTALACIÓN								SECCIONES RESULTANTES							
			FUTURO							PARÁMETROS DE DISEÑO					CÁLCULO DE LA SECCIÓN										
	Tensión	Tipo	Eléc. abs.	cosφ	Aparente	Int. teor.	Coef.	Int. cálc.	Int. Interr.	Instalación	Material	Aislam.	Nº cables	L unit.	ΔU máx.	F corr.	Sección	Mangueras	Int.adm.	Fase	Neutro	Tmax.	Tcond.	Frec.	
V	-	kW	-	kVA	A	-	A	A	-	-	-	ud	m	%	-	mm²	ud/fase	A	mm²	mm²	°C	°C	Hz		
Acometidas al nuevo Cuadro (alimentado desde el Cuadro de cabecera)																									
NUEVO CUADRO CASETA DE VÁLVULAS	400	CCM	27,66	0,84	32,85	47,41	1,25	59,27	63	Enterrada	Cobre	XLPE	3	150	2,50%	0,60	35	1	145	3x(1x35)	1x(1x35)	90	35,86	50	

COMPROBACIÓN DE RESULTADOS												
PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO												
R	X	Z	Zt	Icc	Kip	Ipk	Icw	Int. adm.	Carga	ΔU	d	
ohm	ohm	ohm	ohm	kA		kA	kA	A	%	%	A/mm²	
0,0819	0,0120	0,1614	0,1199	1,93	1,0200	2,27	1,57	87,00	68,12%	1,95%	1,69	

### 3.4.2.3 Listado de receptores electromecánicos

En el **Anexo I** se incluye un listado detallado con los cálculos de las líneas de los receptores electromecánicos de la planta, incluyendo las secciones de los diferentes cableados de fuerza, maniobra y control. Se han incluido dos escenarios, con la potencia eléctrica total máxima absorbida tanto en la situación actual de diseño como en la futura prevista cuando se amplíe el caudal de tratamiento.

En dicho anexo se incluyen también las intensidades nominales y de cortocircuito, así como las caídas de tensión y factor de carga parciales. Las principales características de la aparamenta de protección propuesta (intensidad, poder de corte y curva) se especifican en los esquemas unifilares.

En el listado se ha asociado un tag a cada equipo electromecánico para poder realizar un mejor seguimiento tanto de las mediciones del presupuesto como de los esquemas unifilares.

Por último, atendiendo a la nomenclatura especificada en la E.T.-3311, se indica a continuación la correspondencia entre el tipo de arranque indicado en la tabla y el desarrollado en dicha E.T.:

- A: equipo de instrumentación.
- D: Salida “AD”: Motores hasta 40 kW, un sentido de marcha, arranque directo. Variantes tipo “AD”:
  - Tipo AD-1 Arranque DIRECTO: Protección térmica con relé electrónico con regulación según potencia en KW
  - Tipo AD-2 Arranque DIRECTO + LP (limitador de par):
  - Tipo AD-3 Arranque DIRECTO + PTC:
  - Tipo AD-4 Arranque DIRECTO + PTC + SH:
- AC: Salida “FEEDER EXTRAÍBLE”: Salidas directas a cuadros locales.
- Salida “ALIMENTACION FIJA”: Aparamenta montada en el cubículo en ejecución fija, en columna de acometida. Variantes tipo “ALIMENTACIONES FIJAS”:
  - Tipo ALIMENTACIÓN FIJA-1: Alimentación hasta 16 A.
  - Tipo ALIMENTACIÓN FIJA-2: Alimentación más de 16 A.
- AE: Salida “AE”: Para motores de potencias mayores de 40kW hasta 300 kW. Con arrancador estático en cuadro aparte. Variantes tipo “AE”:
  - Tipo AE-INV: Para motores con dos sentidos de giro:
- I: Salida “INVERSOR”: Motores hasta 40 kW, dos sentidos de marcha, arranque directo.
- VF: Salida “VF”: Para motores accionados con variador de frecuencia. Con variador de frecuencia en cuadro aparte. Variantes tipo “VF”:
  - Tipo VF-1: Arranque VF simple: con Relé específico PTC.
  - Tipo VF-2: Para motores accionados con variador de frecuencia y con ventilación forzada. Arranque VF + PTC + R + AD-VENT.

### 3.4.2.4 Apéndice de cálculos eléctricos

Se resumen los cálculos expresados en el **Anexo I**.

CDT HASTA SUBCUADRO		1,95%							
Cuadro General de Mando y Protección									
Denominación		P.Cálculo	Dist. Cálculo	Sección	I,Cálculo	I,Adm,,	C,T, Parc,	C,T, Total	Dim (mm)
		(W)	(m)	(mm²)	(A)	(A)	(%)	(%)	Tubo.
Válvulas de llenado									
VÁLVULA MOTORIZADA DE LLENADO VASO A DN 500		550	10	3x2,5+TTx2,5Cu	0,99	22	0,03%	1,97%	20
VÁLVULA MOTORIZADA DE LLENADO VASO B DN 500		550	12	3x2,5+TTx2,5Cu	0,99	22	0,03%	1,98%	20
Válvulas de toma									
VÁLVULA MOTORIZADA DE TOMA VASO A DN 600		550	13	3x2,5+TTx2,5Cu	0,99	22	0,03%	1,98%	20
VÁLVULA MOTORIZADA DE TOMA VASO B DN 600		550	15	3x2,5+TTx2,5Cu	0,99	22	0,04%	1,99%	20
Futuro Bombeo de impulsión									
GRUPO DE BOMBEO (FUTURO)		16500	16	4x16+TTx10Cu	29,77	60	0,34%	2,29%	63
Servicios auxiliares									
CUADRO LOCAL DE ALUMBRADO		5000	6	4x6+TTx6Cu	9,02	44	0,08%	2,03%	32
PUENTE GRÚA 1000 kg		3220	6	3x2,5+TTx2,5Cu	5,81	25	0,10%	2,04%	20
ALIMENTACIÓN PLC/UPS		1000	6	3x2,5+TTx2,5Cu	5,43	25	0,20%	2,14%	20
ALIMENTACIÓN BY-PASS UPS		1000	6	3x2,5+TTx2,5Cu	5,43	25	0,20%	2,14%	20
BATERÍA AUTOMÁTICA DE CONDENSADORES		25000	6	3x10+TTx10Cu	61,34	106	0,13%	2,08%	32

## 3.5 Coordinación de protecciones

### 3.5.1 Protecciones contra sobreintensidad

Éstas cumplen con la ITC-BT-022, con la norma UNE-EN 60947 vigente, y con los apartados correspondientes de la norma UNE 20460-4-43 y su norma correspondiente vigente UNE 60364-4-43:2013.



### 3.5.2 Protección contra sobrecargas

La intensidad demandada por la carga, la intensidad máxima admisible de la línea y la intensidad de corte del elemento de protección cumplirán con la siguiente relación:

$$I_{\text{diseño de línea}} \leq I_{\text{asignada a dispositivo de protección}} \leq I_{\text{admisible de línea}}$$

### 3.5.3 Protección contra cortocircuitos

En el origen de todo circuito se establecerá un dispositivo de protección contra cortocircuitos cuya capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de conexión. Se admite, no obstante, que cuando se trate de circuitos derivados de uno principal, cada uno de estos circuitos derivados disponga de protección contra sobrecargas, mientras que un solo dispositivo general pueda asegurar la protección contra cortocircuitos para todos los circuitos derivados.

Para realizar la protección contra cortocircuitos se dispondrán de los interruptores automáticos con sistema de corte omnipolar y con poder de corte adecuado calculados en base a la serie normativa UNE EN 60909.

### 3.5.4 Protecciones contra sobretensión

Siguiendo las indicaciones de la ITC-BT-23, se preverá una protección contra sobretensiones combinada tipo I+II, de tipo modular, con contacto libre de tensión para enviar señal de alarma al PLC.

### 3.5.5 Protecciones contra contactos directos e indirectos

Se dimensionarán y diseñarán los cuadros y se instalarán diferenciales adecuados siguiendo medidas generales señaladas en la ITC-BT-24, normas UNE que correspondan y recomendaciones de fabricante.

En el pliego se indican las especificaciones, medidas mínimas requeridas y normativa a aplicar en la instalación, para evitar los contactos directos.

En el anexo de baja tensión y en planos de esquemas unifilares se indican las protecciones diferenciales.

### 3.5.6 Coordinación de protecciones. Selectividad

En este anejo se adjuntan distintas tablas con el cálculo de cortocircuitos máximos y mínimos, así como las protecciones adecuadas, indicándose su poder de corte para limitar cortocircuitos que puedan producirse, a la vez que se mantiene la selectividad entre protecciones, y por tanto, la fiabilidad de suministro de cuadros generales de distribución y centros de control de motores.

Para ello, el Contratista instalará interruptores magnetotérmicos con características tiempo/intensidad adecuados, quedando la de los interruptores situados aguas arriba de varios en serie por encima de la característica tiempo/intensidad del interruptor magnetotérmico situado aguas abajo, para que la energía limitada de paso del interruptor/es aguas abajo no sea suficiente para desconectar el interruptor que se encuentra aguas arriba.

En el Anexo IV *Estudio de coordinación de protecciones eléctricas para instalaciones conectadas a tensión de red hasta 20 kV* se describen los criterios que el Contratista deberá seguir para realizar la coordinación de protecciones eléctricas. Este estudio deberá ser realizado por el Contratista al finalizar la obra, y deberá ser aprobado mediante informe de OCA a elegir por la Dirección de Obra entre una terna propuesta por el Contratista, quien deberá ajustar convenientemente las protecciones correspondientes según las conclusiones de dicho estudio.

### 3.6 Red general de puesta a tierra

#### 3.6.1 Justificación teórica de los cálculos

Se establecerá un sistema de puesta a tierra según el esquema TT, en el que cada alimentación se conectará a tierra mediante un conductor de protección; además, cada masa receptora dispondrá de una toma de tierra separada, diseñándose según las prescripciones de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-18 “Instalaciones de puesta a tierra” del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

En general, las puestas a tierra se establecen con objeto de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados. Por ello, todas las masas de los aparatos eléctricos de la instalación deberán estar eléctricamente unidas entre ellas. Los circuitos equipotenciales de las masas así constituidos se unirán al sistema de tierras de la planta.

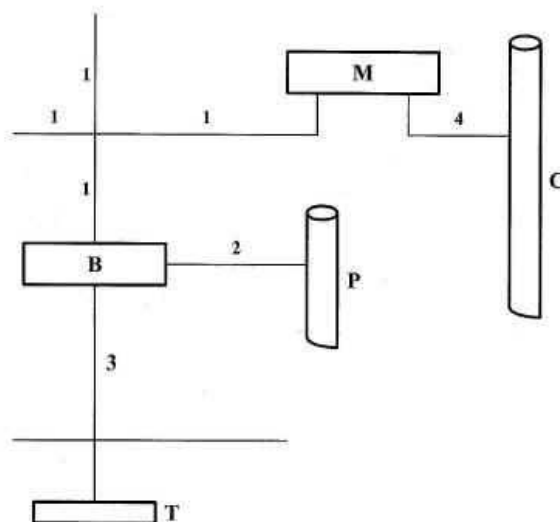
Igualmente, se realizará una red equipotencial de masas metálicas no eléctricas, como tuberías, bancadas, pasarelas, barandillas, cercas, etc., con el fin de evitar accidentes por corriente de fugas.

La denominación “puesta a tierra” comprende toda la ligazón metálica directa sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falta o la de descarga de origen atmosférico.

La red de tierras se diseña bajo los siguientes requisitos:

- *Puesta a tierra por razones de seguridad personal:* los elementos metálicos de todas las estructuras y edificios que alberguen o soporten equipos eléctricos y todas las partes metálicas del equipo eléctrico, tales como motores, cubas de transformadores, cuadros, etc., que normalmente no están sometidos a tensión, se conectarán a la red de tierra.
- *Protección contra electricidad estática:* todos los equipos de las unidades y las estructuras capaces de cargarse electrostáticamente se conectarán a tierra a menos que ya estén en contacto íntimo con ella.

La representación esquemática de una instalación de puesta a tierra se muestra en el siguiente esquema:



#### Leyenda

- 1 Conductor de protección.
- 2 Conductor de unión equipotencial principal.
- 3 Conductor de tierra o línea de enlace con el electrodo de puesta a tierra.
- 4 Conductor de equipotencialidad suplementaria.
- B Borne principal de tierra.
- M Masa.
- C Elemento conductor.
- P Canalización metálica principal de agua.
- T Toma de tierra.

Seguidamente se pasa a describir brevemente cada uno de los componentes de esta instalación.

#### Tomas de tierra

Están formadas por electrodos, que son masas metálicas en contacto con el terreno. Si están colocados para otros fines se llaman naturales, y si están colocados exclusivamente para toma de tierra, se llaman artificiales. Habitualmente se utilizan artificiales, aunque los electrodos naturales que existan en una zona se pueden utilizar bien solos, bien en conjunto con electrodos artificiales.

Los electrodos pueden estar formados por:

- Electrodos simples constituidos por barras, tubos, placas, cables, pletinas u otros perfiles.
- Anillos o mallas metálicas constituidas por elementos indicados anteriormente o por combinación de ellos.
- Armaduras de hormigón enterradas, salvo que estén pretensadas, u otras estructuras enterradas que se demuestre que son apropiadas.
- En ningún caso se podrán utilizar las canalizaciones metálicas de otros servicios (agua, líquidos o gases inflamables, calefacción central, etc).

El tipo y profundidad de enterramiento de las tomas de tierra deben ser tales que la posible pérdida de humedad del suelo, la presencia de hielo u otros efectos climáticos, no aumenten la resistencia de la toma de tierra por encima del valor previsto. La profundidad nunca será inferior a 0,50 metros.

Los conductores de cobre utilizados como electrodos serán de construcción y resistencia eléctrica según la clase 2 de la norma UNE 21.022.

#### Conductores de tierra

Los conductores de tierra son los que partirán del punto de puesta a tierra y a las que estarán conectadas las derivaciones necesarias para la puesta a tierra de las masas, generalmente a través de los conductores de protección, y que une solidariamente a todos los electrodos con la barra de tierra de los cuadros, haciendo entrada y salida en cada uno de ellos.

Sus secciones mínimas no deben ser inferiores a las exigidas para los conductores de protección, y cuando estén enterrados, deberán cumplir con los valores de la siguiente tabla:

TIPO	PROTEGIDO MECÁNICAMENTE	NO PROTEGIDO MECÁNICAMENTE
- <b>Protegido contra la corrosión*</b>	- Según tabla Conductores de protección	- 16 mm <sup>2</sup> Cobre 16 mm <sup>2</sup> Acero Galvanizado
- <b>No protegido contra la corrosión</b>	- 25 mm <sup>2</sup> Cobre 50 mm <sup>2</sup> Hierro	
- *	La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante una envoltura	

#### Bornes de puesta a tierra

El borne principal de tierra es al que deben unirse los conductores de tierra, los de protección, los de unión equipotencial principal, y si son necesarios, los de puesta a tierra funcional.

#### Conductores de protección

Sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos.

En el circuito de conexión a tierra, los conductores de protección unirán las masas al conductor de tierra. En otros casos reciben igualmente el nombre de conductores de protección, aquellos conductores que unen las masas al neutro de la red o a un relé de protección.

La sección de estos conductores será la indicada en la siguiente tabla, o la obtenida por cálculo conforme a lo indicado en la Norma UNE 20.460-5-54 en su apartado 543.1.1.:

SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES DE FASE DE LA INSTALACIÓN S (mm <sup>2</sup> )	SECCIÓN MÍNIMA DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN S <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )
- S ≤ 16	- S <sub>p</sub> = S
- 16 < S ≤ 35	- S <sub>p</sub> = 16
- S > 35	- S <sub>p</sub> = S/2

Si la aplicación de esta tabla conduce a valores no normalizados, se han de utilizar conductores que tengan la sección normalizada superior más próxima. Además, los valores de esta tabla son válidos si los conductores han sido fabricados del mismo material que los conductores activos; de no ser así, sus

secciones se determinarán de forma que presenten una conductividad equivalente a la resultante aplicando dicha tabla.

Como conductores de protección pueden utilizarse conductores en los cables multiconductores, conductores aislados o desnudos que posean envolvente común con los activos, o conductores separados desnudos o aislados.

### 3.6.2 Cálculo de la red general de tierras

El cálculo de la resistencia de tierra, según el tipo de electrodo escogido, se puede estimar a partir del siguiente esquema:

ELECTRODO	RESISTENCIA DE TIERRA EN OHM
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Placa enterrada</li> <li>- Pica vertical</li> <li>- Conductor enterrado horizontalmente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>R = 0,8 r / P</math></li> <li>- <math>R = r / L</math></li> <li>- <math>R = 2 r / L</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>r</math>, resistividad del terreno (Ohm.m)</li> <li>- <math>P</math>, perímetro de la placa (m)</li> <li>- <math>L</math>, longitud de la pica o del conductor (m)</li> </ul>	

La resistividad del terreno se estima a partir de la siguiente tabla:

NATURALEZA TERRENO	RESISTIVIDAD EN OHM.M
- Terrenos pantanosos	- de algunas unidades a 30
- Limo	- 20 a 100
- Humus	- 10 a 150
- Turba húmeda	- 5 a 100
- Arcilla plástica	- 50
- Margas y Arcillas compactas	- 100 a 200
- Margas del Jurásico	- 30 a 40
- Arenas arcillosas	- 50 a 500
- Arena silíceas	- 200 a 3.000
- Suelo pedregoso cubierto de césped	- 300 a 5.00
- Suelo pedregoso desnudo	- 1500 a 3.000
- Calizas blandas	- 100 a 300
- Calizas compactas	- 1.000 a 5.000
- Calizas agrietadas	- 500 a 1.000
- Pizarras	- 50 a 300
- Roca de mica y cuarzo	- 800
- Granitos y gres procedente de alteración	- 1.500 a 10.000
- Granito y gres muy alterado	- 100 a 600

Aplicando las tablas anteriores, considerando una resistividad de **150 Ohm.m** y picas verticales de cobre como electrodo, se tiene:

- Resistencia de las picas:  $R1 = \rho / n \cdot L1$ .
- Resistencia del cable:  $R2 = 2\rho / L2$

La resistencia equivalente de dos resistencias en paralelo es:

$$Req = (R1 \times R2) / (R1 + R2)$$

La tensión a que estarán sometidas las masas metálicas en caso de defecto será:

$$Ud = Is \times Req$$

donde:

- $U_d$ : tensión en voltios
- $I_s$ : intensidad máxima de defecto a tierra o sensibilidad de disparo de la protección diferencial, en amperios.

### 3.6.3 Resultados obtenidos

Con todo ello, se obtienen los siguientes resultados, para un esquema de conexión (régimen de neutro) TT:

RED GENERAL DE TIERRAS	
Tipo de electrodo	Pica vertical
Número de electrodos	9 ud
Longitud de la pica	2 m
Longitud de cable desnudo de sección 50 mm <sup>2</sup>	552 m
Sensibilidad del diferencial	300 mA
Resistividad del terreno	150 $\Omega \cdot m$
Resistencia de las picas	8.33 $\Omega$
Resistencia del cable	0.54 $\Omega$
Resistencia equivalente del sistema	0.51 $\Omega$
<b>Tensión en caso de defecto</b>	<b>0,15 V</b>

Como se puede apreciar, estas tensiones son perfectamente admisibles, inferiores a los 24 V permitidos por la Instrucción ITC-BT-24 "Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos" en su apartado 4.1., y no constituye peligro alguno para las personas.

El Contratista realizará la medición final de tierras instaladas, tantas veces como sean necesarias hasta que el valor de éstas sea aceptable reglamentariamente.

### 3.7 Protección contra el rayo

#### 3.7.1 Instalación existente

Actualmente existe una antena de comunicaciones dotada de pararrayos que cubre el área del proyecto. Por tanto, no es necesario instalar un nuevo pararrayos, por lo que no es necesario estudiar la evaluación de riesgos según NORMA UNE 21.186 y según CTE.



**Figura 4:** Antena de comunicaciones existente con pararrayos

### 3.8 Instalación de alumbrado

#### 3.8.1 Alumbrado interior

##### 3.8.1.1 Justificación teórica

La instalación de alumbrado interior se ha diseñado conforme a la Instrucción ITC-BT-44 “Instalación de receptores. Receptores para alumbrado”, del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, de la que se extraen las siguientes conclusiones principales.

La tensión asignada de los cables utilizados será como mínimo la tensión de alimentación, y nunca inferior a 450/750 V.

Además, las partes metálicas accesibles (según el volumen de accesibilidad definido en la ITC-BT-24) de las iluminarias que no sean de Clase II o Clase III, deberán tener unos elementos de conexión para su puesta a tierra. Además, dichas partes metálicas deberán conectarse de manera fiable y permanente al conductor de protección del circuito.

Los portalámparas deberán ser de alguno de los tipos, formas y dimensiones especificados en la norma UNE-EN 60.061-2.

Para receptores con lámparas de descarga, la carga mínima prevista en voltiamperios será de 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas. En el caso de distribución monofásica, el conductor neutro tendrá la misma sección que los de fase.

En caso de receptores con lámparas de descarga será obligatoria la compensación del factor de potencia hasta un valor mínimo de 0,9, y no se admitirá compensación conjunta de un grupo de



receptores en una instalación de régimen de carga variable, salvo que dispongan de un sistema de compensación automático con variación de su capacidad siguiendo el régimen de carga.

Todos los condensadores que formen parte del equipo auxiliar eléctrico de las lámparas de descarga para corregir el factor de potencia de los balastos deberán llevar conectada una resistencia que asegure que la tensión en bornes del condensador no sea mayor de 50 V transcurridos 60 segundos desde la desconexión del receptor.

Cualquier circuito deberá ir provisto de un interruptor de corte omnipolar, situado en la parte de baja tensión. Queda prohibido colocar interruptor, conmutador, seccionador o cortacircuito en la parte de instalación comprendida entre las lámparas y su dispositivo de alimentación.

### 3.8.1.2 Cálculo de la instalación de alumbrado interior

Estos cálculos se realizan a partir de las dimensiones del local y de la forma de montaje de las luminarias, calculando el índice del local por la fórmula:

$$k = a \bullet b / h(a + b)$$

donde:

- k: índice del local
- a: longitud
- b: anchura
- h: altura útil de la luminaria (distancia de la luminaria al plano de trabajo)

En función del índice del local, factores de reflexión en techo, paredes y suelo, tipo de luminaria y factor de depreciación, se obtiene el rendimiento lumínico en el local, extraído de las curvas o tablas del fabricante de la luminaria.

Seguidamente se calcula el flujo luminoso necesario a partir de la fórmula:

$$\Phi = E_m \bullet S / V \bullet A$$

donde:

- $\Phi$ : flujo luminoso necesario en lúmenes
- $E_m$ : nivel de iluminación proyectado en lux
- S: superficie de local en metros cuadrados
- V: factor de depreciación de la luminaria
- A: rendimiento lumínico

Las líneas de alimentación a puntos de luz con lámparas o tubos de descarga estarán previstas para transportar la carga debida a los propios receptores, a sus elementos asociados, a sus corrientes armónicas, de arranque y desequilibrio de fases. Como consecuencia, la potencia aparente mínima en voltiamperios se considerará 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas o tubos de descarga.

El factor de potencia de cada punto de luz deberá corregirse hasta un valor mayor o igual a 0,90. La máxima caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier otro punto de la instalación será menor o igual que el 3 %.

Las líneas de alimentación a los puntos de luz y de control, cuando existan, partirán desde un cuadro de protección y control; las líneas estarán protegidas individualmente, con corte omnipolar, en este cuadro, tanto contra sobreintensidades como contra corrientes de defecto a tierra y contra sobretensiones cuando los equipos instalados lo precisen. La intensidad de defecto para desconexión de los diferenciales será como máximo de 300 mA, y la resistencia de puesta a tierra será como máximo de 30 ohmios.

Los cables de alimentación serán multipolares o unipolares con conductores de cobre y tensión asignada de 0,6/1 kV. El conductor neutro de cada circuito que parte del cuadro no podrá ser utilizado por ningún otro circuito.

En caso de alimentación subterránea se emplearán sistemas y materiales análogos a los de las redes subterráneas de distribución reguladas en la ITC-BT-07. Los tubos para las canalizaciones deben ser los indicados en la ITC-BT-21 y el grado de protección mecánica el indicado en dicha Instrucción, pudiendo ir hormigonados en zanja o no.

Los tubos irán enterrados a una profundidad mínima de 0,4 metros del nivel del suelo medidos desde la cota inferior del tubo, y su diámetro no será inferior a 60 mm.

La sección mínima a emplear en los conductores de los cables subterráneos de alimentación, incluido el neutro, será de 6 mm<sup>2</sup>. En distribuciones trifásicas tetrapolares, para conductores de fase de sección superior a 6 mm<sup>2</sup>, la sección del neutro será conforme a lo indicado en la ITC-BT-07.

Los empalmes y derivaciones deberán realizarse en cajas de bornes adecuadas, situadas dentro de los soportes de las luminarias, y a una altura mínima de 0,3 metros sobre el nivel del suelo, o en una arqueta registrable.

En el caso de redes aéreas, como pueden ser posados sobre fachadas o tensados sobre apoyos, la sección mínima para todos los conductores, incluido el neutro, será de 4 mm<sup>2</sup>.

Los soportes, y sus anclajes y cimentaciones, se dimensionarán de forma que resistan las solicitaciones mecánicas, particularmente teniendo en cuenta la acción del viento, con un coeficiente de seguridad no inferior a 2,5, considerando las luminarias completas instaladas en el soporte.

En la instalación eléctrica en el interior de los soportes, los conductores serán de cobre, de sección mínima 2,5 mm<sup>2</sup>, y de tensión asignada 0,6/1 kV, como mínimo; no existirán empalmes en el interior de los soportes.

Las luminarias utilizadas serán conforme a las normas UNE-EN 60.598-2-3 y la UNE-EN 60.598-2-5 en el caso de proyectores de exterior.

Cada punto de luz deberá tener compensado individualmente el factor de potencia para que sea igual o superior a 0,90; así mismo, deberá estar protegido contra sobreintensidades.

La máxima resistencia de puesta a tierra será tal que en ningún momento se puedan producir tensiones de contacto mayores de 24 V en las partes metálicas accesibles de la instalación.

### 3.8.1.3 Solución adoptada

En el **Anexo II** se adjunta el estudio de alumbrado interior. En la caseta de válvulas se propone un alumbrado basado en fluorescentes instalados en las paredes a diferentes alturas para proporcionar un nivel mínimo de 200 luxes a nivel de suelo con un 40% de uniformidad, y 5 luxes para emergencias.

### 3.8.2 Alumbrado exterior

#### 3.8.2.1 Justificación teórica

La instalación de alumbrado exterior se proyecta según lo prescrito en la Instrucción ITC-BT-09 “Instalaciones de alumbrado exterior”, que define las principales premisas que a continuación se exponen.

Las líneas de alimentación a puntos de luz con lámparas o tubos de descarga estarán previstas para transportar la carga debida a los propios receptores, a sus elementos asociados, a sus corrientes armónicas, de arranque y desequilibrio de fases. Como consecuencia, la potencia aparente mínima en voltiamperios se considerará 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas o tubos de descarga.

El factor de potencia de cada punto de luz deberá corregirse hasta un valor mayor o igual a 0,90. La máxima caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier otro punto de la instalación será menor o igual que el 3 %.

Las líneas de alimentación a los puntos de luz y de control, cuando existan, partirán desde un cuadro de protección y control; las líneas estarán protegidas individualmente, con corte omnipolar, en este cuadro, tanto contra sobreintensidades como contra corrientes de defecto a tierra y contra sobretensiones cuando los equipos instalados lo precisen. La intensidad de defecto para desconexión de los diferenciales será como máximo de 300 mA, y la resistencia de puesta a tierra será como máximo de 30 ohmios.

Los cables de alimentación serán multipolares o unipolares con conductores de cobre y tensión asignada de 0,6/1 kV. El conductor neutro de cada circuito que parte del cuadro no podrá ser utilizado por ningún otro circuito.

En caso de alimentación subterránea se emplearán sistemas y materiales análogos a los de las redes subterráneas de distribución reguladas en la ITC-BT-07. Los tubos para las canalizaciones deben ser los indicados en la ITC-BT-21 y el grado de protección mecánica el indicado en dicha Instrucción, pudiendo ir hormigonados en zanja o no.

Los tubos irán enterrados a una profundidad mínima de 0,4 metros del nivel del suelo medidos desde la cota inferior del tubo, y su diámetro no será inferior a 60 mm.

La sección mínima a emplear en los conductores de los cables subterráneos de alimentación, incluido el neutro, será de 6 mm<sup>2</sup>. En distribuciones trifásicas tetrapolares, para conductores de fase de sección superior a 6 mm<sup>2</sup>, la sección del neutro será conforme a lo indicado en la ITC-BT-07.

Los empalmes y derivaciones deberán realizarse en cajas de bornes adecuadas, situadas dentro de los soportes de las luminarias, y a una altura mínima de 0,3 metros sobre el nivel del suelo, o en una arqueta registrable.

En el caso de redes aéreas, como pueden ser posados sobre fachadas o tensados sobre apoyos, la sección mínima para todos los conductores, incluido el neutro, será de 4 mm<sup>2</sup>.

Los soportes, y sus anclajes y cimentaciones, se dimensionarán de forma que resistan las solicitaciones mecánicas, particularmente teniendo en cuenta la acción del viento, con un coeficiente de seguridad no inferior a 2,5, considerando las luminarias completas instaladas en el soporte.

En la instalación eléctrica en el interior de los soportes, los conductores serán de cobre, de sección mínima 2,5 mm<sup>2</sup>, y de tensión asignada 0,6/1 kV, como mínimo; no existirán empalmes en el interior de los soportes.

Las luminarias utilizadas serán conforme a las normas UNE-EN 60.598-2-3 y la UNE-EN 60.598-2-5 en el caso de proyectores de exterior.

Cada punto de luz deberá tener compensado individualmente el factor de potencia para que sea igual o superior a 0,90; así mismo, deberá estar protegido contra sobreintensidades.

La máxima resistencia de puesta a tierra será tal que en ningún momento se puedan producir tensiones de contacto mayores de 24 V en las partes metálicas accesibles de la instalación.

### 3.8.2.2 Cálculo de la instalación de alumbrado exterior

#### Cálculo de la interdistancia

A partir de las dimensiones del vial, de la disposición de los báculos y del tipo de luminarias y lámparas proyectadas, se calcula en primer lugar la utilancia o factor de utilización del punto de luz.

El factor de utilización se obtiene de las curvas de coeficiente de utilización en función de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  que se definen por:

- $\alpha = B1 / H$  (lado calzada)
- $\beta = d / H$  (lado acera)

donde:

- $B1 = B - \alpha$
- $\beta$ : anchura de la calzada en metros
- $d$ : saliente del báculo sobre la calzada en metros

En las curvas citadas se obtienen  $k1$  y  $k2$ , siendo la utilancia:

$$U = k1 + k2$$

La interdistancia se obtiene de la fórmula:

$$E = F \cdot Fk \cdot U / L \cdot B$$

donde:

- $E$ : nivel de iluminación medio, en lux
- $KF$ : flujo luminoso útil de la lámpara, en lúmenes.
- $Fk$ : factor de depreciación.
- $U$ : factor de utilización.
- $B$ : anchura de la calzada, en metros.

$L$ : interdistancia entre luminarias, en metros.

Despejando se obtiene la expresión de la interdistancia:

$$L = F \cdot Fk \cdot U / E \cdot B$$

#### Aplicación

El cálculo se ha realizado para lámparas tipo LED, instaladas en luminarias tipo II según NTE y montadas sobre báculos cuyos parámetros corresponden a los indicados en la tabla 2 de dichas normas.

Cuando las vías tengan incorporadas banda o bandas de aparcamiento, se considera ancho de entrada a las tablas la suma del ancho de la vía más la banda o bandas de aparcamiento.

El cálculo se ha simulado para báculos separados 1 m del bordillo de la calzada con alrededores oscuros y para un pavimento del tipo bituminoso que es uno de los más desfavorables dentro de los usuales, según la clasificación de las recomendaciones CIE (Comisión Internacional de Iluminación).

Los valores de iluminación que figuran en las tablas son valores iniciales. No obstante, los límites de variación considerados, están afectados de 0,8 por ensuciamiento de la luminaria, depreciación de la lámpara y montaje del punto de luz.

La clase de alumbrado se ha fijado como E de las consideradas en la clasificación de la recomendación CIE, respondiendo E a un tráfico muy moderado.

### Cálculo de la separación

Se elige la vía dentro de las tipificadas en función de su ancho y de la exigencia o no de banda o bandas de aparcamiento, fijando asimismo la disposición en planta, que en nuestro caso es unilateral.

Para esta vía, se ha considerado los casos más usuales en función de: altura del punto de luz, potencia de lámpara, tipo de luminaria. Para cada uno de estos valores, las tablas 2 de NTE ofrecen el campo de variación de separaciones, que cumplen con las recomendaciones CIE, eligiéndose el que mejor se adapte a las condiciones de trazado:

- Altura del punto de luz  $H$  = según posición (viaria o mural).
- Potencia de la lámpara ( $W$ ) variable.
- Tipo de luminaria: abierta.
- Separación = 20 a 30 m aprox.
- Iluminación media = 30 lux.
- Relación de luminancia acera-calzada = 0,65.
- Luminancia media en  $1,7 \text{ cd/m}^2$ .
- Uniformidad media de luminancia = 0,64.
- Uniformidad extrema longitudinal de luminancia = 0,47.
- Deslumbramiento molesto = 4,7.
- Deslumbramiento perturbador = 16,1.

### Luminaria

El rendimiento de la luminaria será > del 60 %, equipada con lámpara clara. Tendrá fotometría regulable fija y la carcasa podrá ser de aleación de aluminio, poliéster u otros materiales. El sistema óptico será abierto con equipo auxiliar incorporado. El grado de estanqueidad del sistema óptico será IP 66.

#### 3.8.2.3 Solución adoptada

Se desplazarán 4 farolas, que se ven afectadas por las obras de demolición y construcción, para reponer el alumbrado de viales y áreas.



## **ANEXO I. CÁLCULO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS Y LISTADO DE RECEPTORES ELECTROMECÁNICOS**









## ANEXO II. ESTUDIO DE ALUMBRADO INTERIOR



# **PROYECTO DE RENOVACIÓN DEL DEPÓSITO DE COLMENAR VIEJO (MADRID) Canal de Isabel II**

Contacto:  
N° de encargo:  
Empresa:  
N° de cliente:

Fecha: 12.12.2017  
Proyecto elaborado por:

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

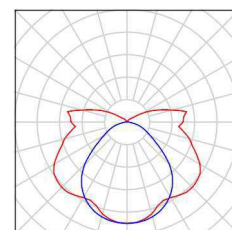
## Índice

<b>PROYECTO DE RENOVACIÓN DEL DEPÓSITO DE COLMENAR VIEJO (MADRID) Cana...</b>	
Portada del proyecto	1
Índice	2
<b>CÁMARA DE VÁLVULAS</b>	
Lista de luminarias	3
Luminarias (ubicación)	4
Superficie de cálculo (lista de coordenadas)	5
<b>Grupos de control</b>	
<b>Cámara válvulas - Encendido total</b>	
Datos de planificación	6
<b>Escenas de luz</b>	
<b>Escena de luz 1 - Encendido total</b>	
Superficie de cálculo (sumario de resultados)	8
Rendering (procesado) en 3D	9
<b>Superficies del local</b>	
<b>Superficie de cálculo 1</b>	
Isolíneas (E, perpendicular)	10

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

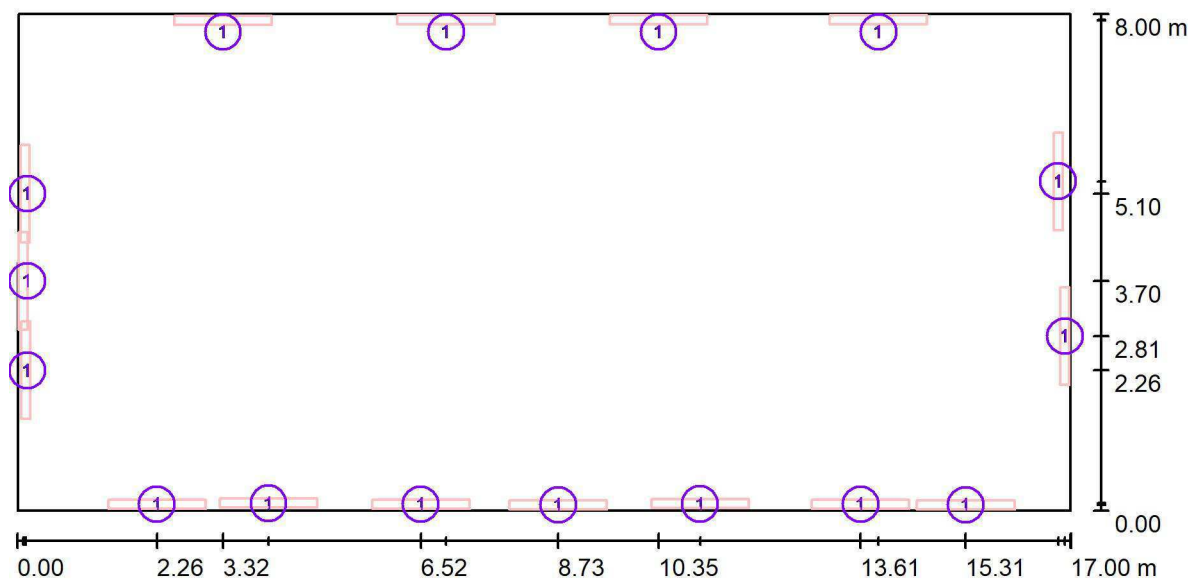
## CÁMARA DE VÁLVULAS / Lista de luminarias

16 Pieza    Luminaria fluorescente estanca 2x36W  
N° de artículo:  
Flujo luminoso (Luminaria): 5299 lm  
Flujo luminoso (Lámparas): 6600 lm  
Potencia de las luminarias: 78.0 W  
Clasificación luminarias según CIE: 82  
Código CIE Flux: 36 65 86 82 80  
Lámpara: 2 x 2 x T5 35 W E (Factor de  
corrección 1.000).



Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

CÁMARA DE VÁLVULAS / Luminarias (ubicación)



Escala 1 : 122

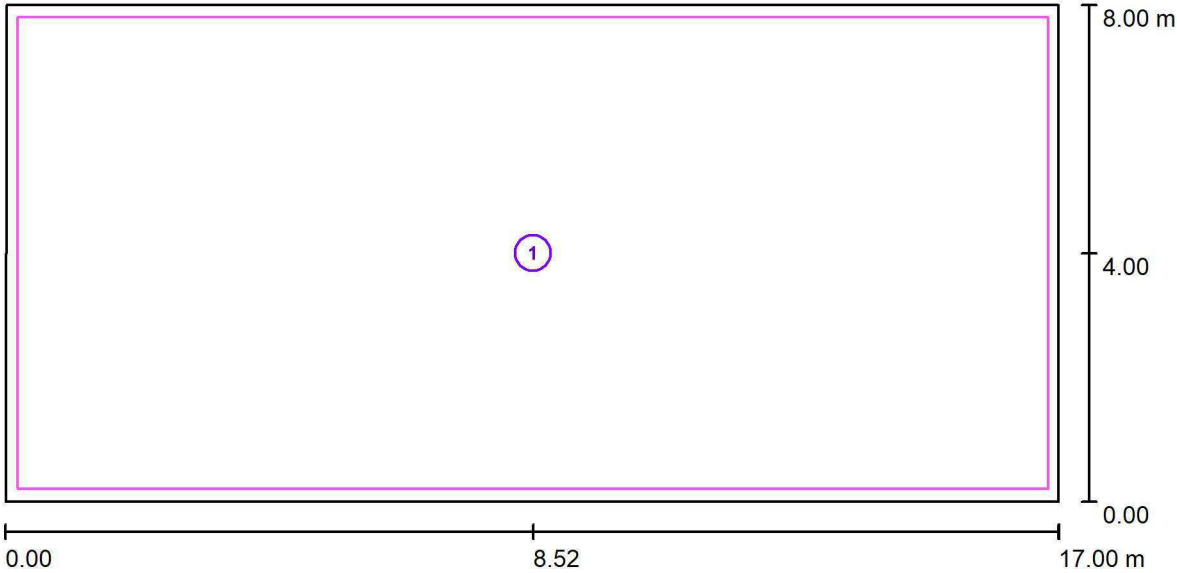
Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación
1	16	Luminaria fluorescente estancia 2x36W



Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

CÁMARA DE VÁLVULAS / Superficie de cálculo (lista de coordenadas)



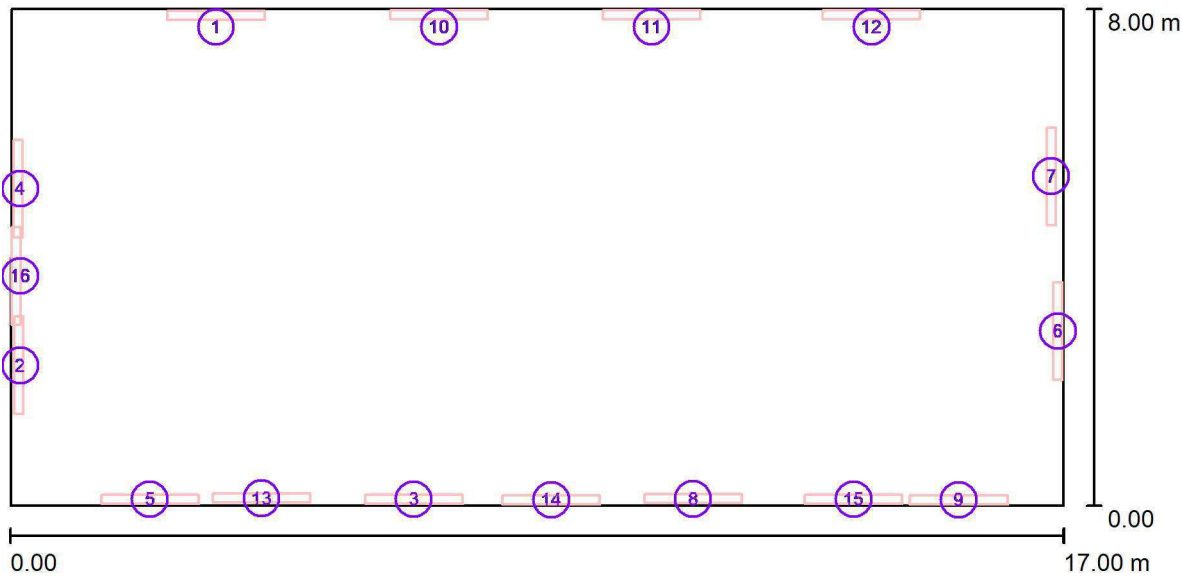
Escala 1 : 122

Lista de superficies de cálculo

N°	Designación	Posición [m]			Tamaño [m]		Rotación [°]		
		X	Y	Z	L	A	X	Y	Z
1	Superficie de cálculo 1	8.519	4.001	0.850	16.639	7.601	0.000	0.000	0.000

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

CÁMARA DE VÁLVULAS / Cámara válvulas - Encendido total / Datos de planificación



Escala 1 : 122

Nº	Luminaria	Posición [m]			Rotación [°]		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	3.323	7.897	2.500	0.0	0.0	90.0
2	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	0.142	2.257	5.250	0.0	0.0	180.0
3	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	6.516	0.100	5.250	0.0	0.0	90.0
4	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	0.131	5.104	5.250	0.0	0.0	180.0
5	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	2.256	0.100	5.250	0.0	0.0	90.0
6	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	16.911	2.809	4.250	0.0	0.0	180.0
7	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	16.800	5.303	2.500	0.0	0.0	180.0

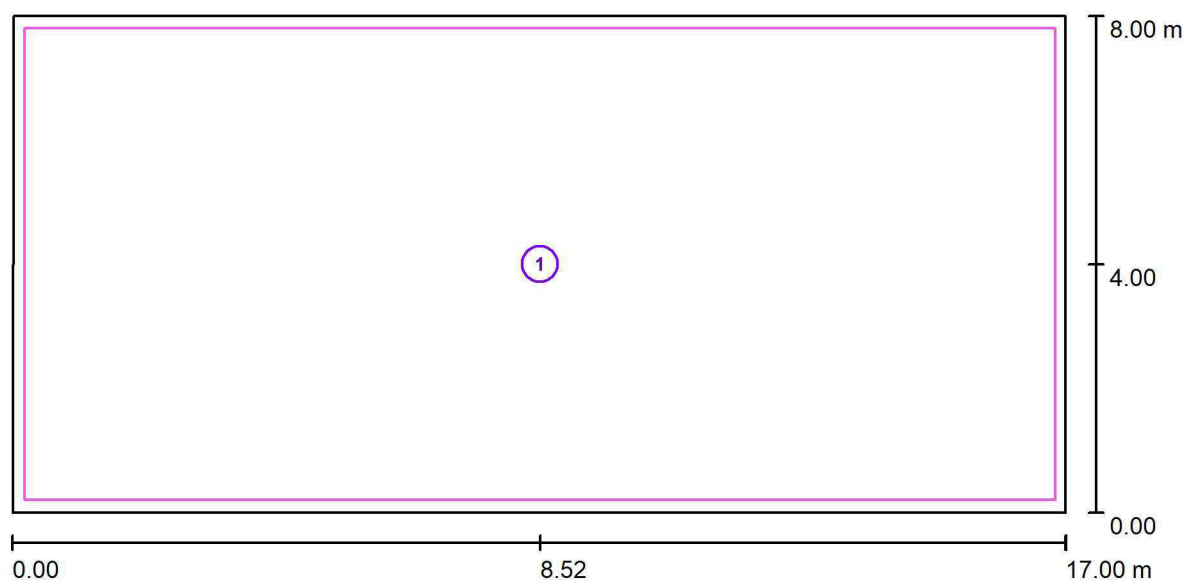
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## CÁMARA DE VÁLVULAS / Cámara válvulas - Encendido total / Datos de planificación

N°	Luminaria	Posición [m]			Rotación [°]		
		X	Y	Z	X	Y	Z
8	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	11.022	0.107	5.250	0.0	0.0	90.0
9	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	15.309	0.092	5.250	0.0	0.0	90.0
10	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	6.924	7.909	2.500	0.0	0.0	90.0
11	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	10.352	7.903	2.500	0.0	0.0	90.0
12	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	13.901	7.903	2.500	0.0	0.0	90.0
13	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	4.058	0.119	2.500	0.0	0.0	90.0
14	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	8.734	0.091	2.500	0.0	0.0	90.0
15	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	13.610	0.100	2.500	0.0	0.0	90.0
16	Luminaria fluorescente estanca 2x36W	0.101	3.700	2.500	0.0	0.0	180.0

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## CÁMARA DE VÁLVULAS / Escena de luz 1 - Encendido total / Superficie de cálculo (sumario de resultados)



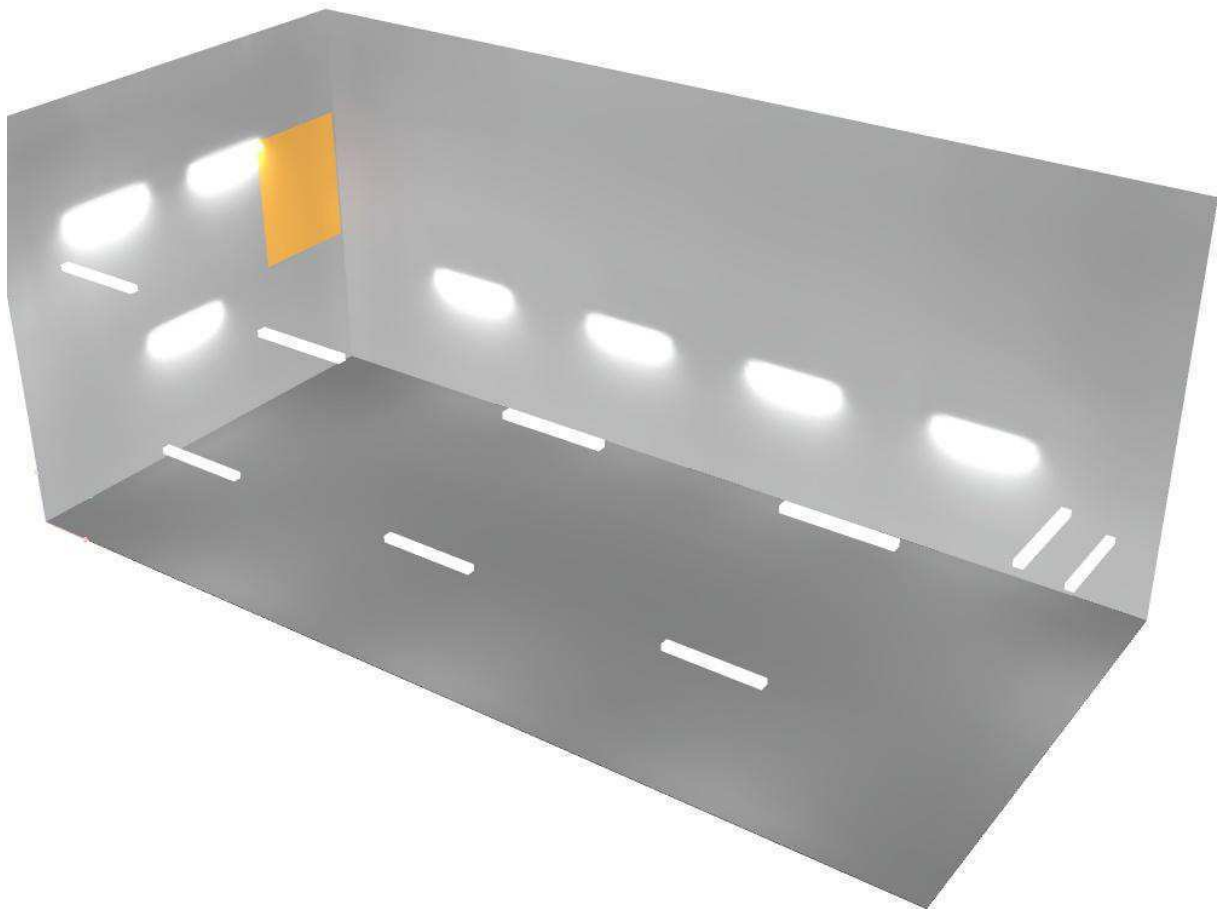
Escala 1 : 122

### Lista de superficies de cálculo

Nº	Designación	Tipo	Trama	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	128 x 64	244	152	536	0.621	0.284

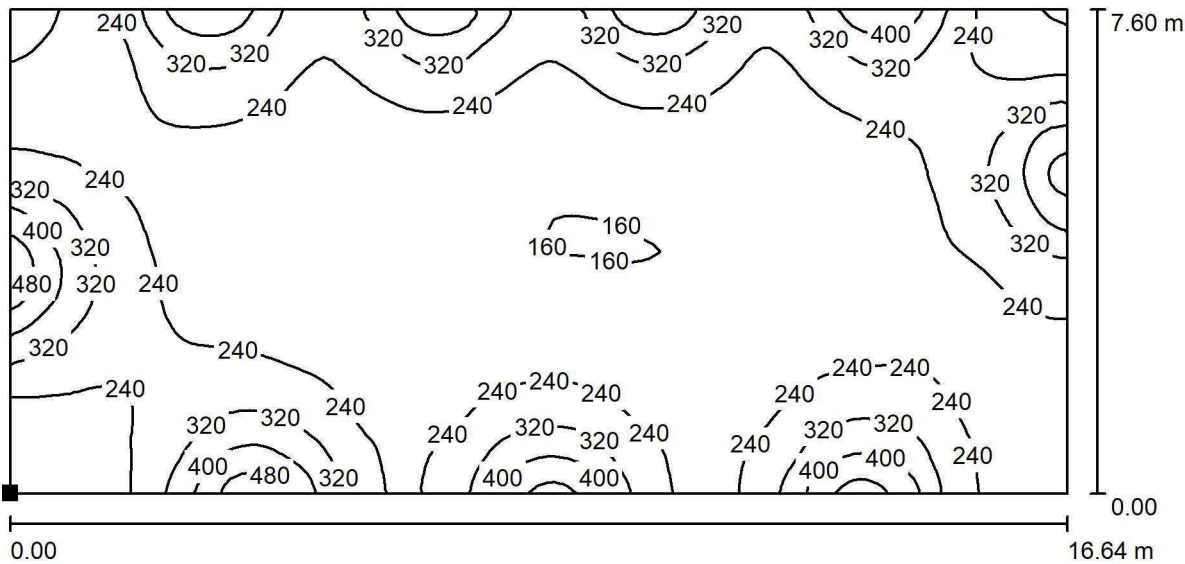
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**CÁMARA DE VÁLVULAS / Escena de luz 1 - Encendido total / Rendering  
(procesado) en 3D**



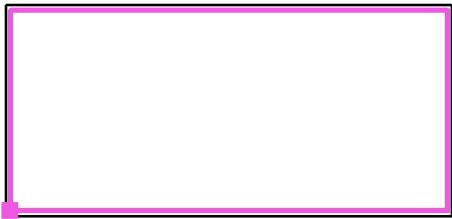
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

CÁMARA DE VÁLVULAS / Escena de luz 1 - Encendido total / Superficie de cálculo 1 /  
Isolíneas (E, perpendicular)



Valores en Lux, Escala 1 : 119

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.200 m, 0.200 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 64 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
244	152	536	0.621	0.284