

ÍNDICE ANEJO Nº 12. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

1. OBJETIVO.....	1
2. NORMATIVA	1
3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN.....	2
4. CRITERIOS DE DIMENSIONADO	2
4.1 CÁLCULO DE LOS CONDUCTORES	2
4.2 POTENCIA.....	3
4.3 INTENSIDADES DE LAS LÍNEAS	3
4.4 SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.....	4
4.5 CAÍDAS DE TENSIÓN	7
5. ESTUDIO DE LAS LÍNEAS DEL CUADRO DE PROTECCIÓN MANIOBRA Y CONTROL DEL TRATAMIENTO TERCIARIO.....	8
5.1 LISTADO DE CONSUMOS	8
5.1.1 RECEPTORES DEL CIRCUITO C2	10
5.1.2 RECEPTORES DEL CIRCUITO C3	12
5.2 CIRCUITOS DIAGRAMA UNIFILAR.....	13
5.3 CÁLCULO DE LAS SECCIONES DE LOS CONDUCTORES	14
5.3.1 CÁLCULO DE LA SECCIÓN POR INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES	14
5.3.2 CÁLCULO DE LA SECCIÓN POR CÁIDAS DE TENSIÓN MÁXIMAS ADMISIBLES	16
5.3.3 CÁLCULO DE LA SECCIÓN POR INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO	17
5.3.4 SECCIÓN ELEGIDA	17
5.3.5 INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES	17
5.3.6 TEMPERATURA REAL DEL CABLE. T SERVICIO	18
5.3.7 CAÍDAS DE TENSIÓN	18

5.3.8 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CÁLCULO DE SECCIONES Y CAÍDAS DE TENSIÓN	20
6. CÁLCULO DE CORTOCIRCUITOS EN INTERRUPTORES	23
7. CÁLCULO DE LAS PROTECCIONES CONTRA SOBREENSIDADES	24
7.1 RECEPTORES CIRCUITO C2	26
7.2 RECEPTORES CIRCUITO C3	26
7.3 LÍNEAS DE LOS CIRCUITOS PRINCIPALES	27
8. CÁLCULO DE LAS PROTECCIONES DIFERENCIALES	27
9. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA	28

1. OBJETIVO

Para atender a la demanda de energía eléctrica que el funcionamiento de la planta de tratamiento terciario requiere, se hace necesario calcular una infraestructura eléctrica que enlazaría a la instalación eléctrica existente en la EDAR con todos y cada uno de los puntos receptores de las instalaciones del tratamiento terciario.

La instalación eléctrica necesaria se ejecutará partiendo del actual cuadro de control y maniobra de la EDAR sin que por ello sea necesario un incremento de la contratación de potencia, siendo las potencias instalada y contratada actuales suficientes para las necesidades del sistema.

En la siguiente memoria se justifican los cálculos desarrollados para el dimensionamiento de dicha instalación, la cual se compone de diversos elementos entre los que destacan los conductores, los cuadros de mando, los elementos de protección, etc.

2. NORMATIVA

- Real Decreto 314/2006, (BOE Nº 74 de 28 de Marzo de 2006) por el que se aprueba el Código Técnico de Edificación. Aprobado por Consejo de Ministros el 17 de marzo de 2006 así como sus modificaciones posteriores.
- Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad así como sus modificaciones posteriores.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias, aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto así como sus modificaciones posteriores.
- Guía Técnica de aplicación al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- DECRETO 141/2009, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regulan los procedimientos administrativos relativos a la ejecución y puesta en servicio de las instalaciones eléctricas en Canarias y sus modificaciones posteriores.
- Normas Particulares para las Instalaciones de Enlace, en el ámbito de suministro de Endesa Distribución Eléctrica S.L.U.
- Los materiales, aparatos, máquinas, conjuntos y subconjuntos integrados en la instalación estarán debidamente homologados y cumplirán la Norma Europea o UNE.
- Orden FOM/1635/2013.

3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

La instalación eléctrica de baja tensión que nos ocupa tiene la consideración de instalación interior, según lo dispuesto en la ITC-BT-19 del REBT para instalaciones industriales que se alimenten directamente en alta tensión mediante un transformador de distribución propio.

Por tanto, se aplicará lo dispuesto en las ITC-BT-19 a ITC-BT-24; ITC-BT-36, ITC-BT-43-47-48. Para las líneas de alimentación de los receptores, se aplicará además lo dispuesto en la ITC-BT-30 en lo referente a instalaciones en locales húmedos y mojados.

Desde el actual cuadro eléctrico de control y maniobra de la EDAR se acomete, mediante una línea subterránea hasta la sala de cuadros eléctricos diseñado para la instalación de tratamiento terciario. Este cuadro será el cuadro de protección, maniobra y control del sistema de tratamiento terciario, desde donde parten las líneas de alimentación hacia los diferentes receptores eléctricos.

4. CRITERIOS DE DIMENSIONADO

4.1 CÁLCULO DE LOS CONDUCTORES

Como primer paso para el dimensionado de la instalación eléctrica de la planta de Tratamiento Terciario, se considerará la determinación de la sección de los conductores que van a formar las líneas eléctricas que se distribuyen por toda la industria.

Además, este dimensionado, englobará también otros aspectos como la determinación del tipo de aislamiento, las características de las canalizaciones y el cumplimiento de varias comprobaciones de cálculo. En definitiva, todo un conjunto de factores que hacen y garantizan que la instalación funcione de forma coherente y armonizada.

A continuación se procede a desarrollar todos los puntos y consideraciones que se deben de seguir para dicho dimensionamiento, el cual posteriormente se realizará para cada uno de los cuadro eléctricos que comprenden la industria, exponiéndose finalmente las tablas con los resultados obtenidos para cada receptor y línea de conducción.

El primer paso para el cálculo de la sección de los conductores es determinar la potencia eléctrica a instalar así como la consumida, teniendo en cuenta las simultaneidades de los usos de los distintos puntos de consumo, para posteriormente obtener la intensidad de cada circuito parcial y la general.

Una vez halladas las secciones de los conductores, se deben realizar las comprobaciones pertinentes y que garantizan una correcta utilización de las líneas eléctricas, así como la determinación de la caída de tensión y las intensidades máximas admisibles.

4.2 POTENCIA

En este apartado se deberá conocer la potencia que demanda la industria, para así poder determinar la potencia que ha de atravesar a los cables conductores desde la estación transformadora hasta los diferentes puntos receptores.

Para ello hay que fijarse en las instalaciones y puntos de la industria que precisan de energía eléctrica para su funcionamiento, como son los puntos de alumbrado, los puntos de fuerza y cada uno de los equipos receptores. Dependiendo de los aparatos que se vayan a instalar habrá que aplicar un factor de corrección determinado. Los diferentes factores a aplicar según el tipo de receptor se resumen en:

- Lámparas o tubos de descarga: Según la ITC-BT-44, “la carga mínima prevista en voltiamperios será 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas”. Lo que significa que:

$$P_{\text{corregida}} = 1,8 \cdot P_{\text{instalada}}$$

- Un solo motor: Según la ITC-BT-47, “los conductores de conexión que alimentan a un solo motor deben estar dimensionados para una intensidad del 125 % de la intensidad a plena carga del motor”. Lo que significa que:

$$P_{\text{corregida}} = 1,25 \cdot P_{\text{instalada}}$$

- Varios motores: Según la ITC-BT-47, “los conductores de conexión que alimentan a varios motores deben estar dimensionados para una intensidad no inferior a la suma del 125 % de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más la intensidad a plena carga de todos los demás”. Lo que significa que:

$$P_{\text{corregida}} = 1,25 \cdot P_{\text{instalada_mayor}} + \sum P_{\text{instalada}}$$

Además, por otro lado, se debe tener en cuenta otro factor conocido con el nombre de factor de potencia, que viene a expresar la relación existente entre la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (kW), y la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio-amperios (kVA). En cierto modo es un indicador del grado de aprovechamiento de energía activa, el cual puede tomar valores entre 0 y 1, siendo aconsejable que sea lo más alto posible.

4.3 INTENSIDADES DE LAS LÍNEAS

Después de evaluar las potencias o cargas del sistema, se debe determinar la intensidad de línea para cada circuito parcial y para todos en general.

Para el cálculo de la sección de los conductores, así como para la elección de las protecciones de los diferentes circuitos que componen el Diagrama Unifilar, se ha calculado la intensidad que circula por los mismos según potencia y características de la alimentación, $I_{N\text{CÁLCULO}}$, aplicando las fórmulas:

Circuitos de corriente continua:

$$I_{N\text{CÁLCULO}} = \frac{P}{U_N}$$

Circuitos de corriente alterna monofásicos:

$$I_{N\text{CÁLCULO}} = \frac{P}{U_N \cdot \cos \varphi}$$

Circuitos de corriente alterna trifásicos:

$$I_{N\text{CÁLCULO}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi}$$

Siendo:

P : Potencia del circuito (W): unitaria para las líneas de alimentación a los receptores, y simultánea para los circuitos parciales y los circuitos principales

U_N : Tensión nominal (V): compuesta para receptores trifásicos



$\cos \varphi$: Factor de potencia del receptor

$I_{N\text{CÁLCULO}}$ = Intensidad nominal de cálculo de los diferentes circuitos (A)

4.4 SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

Una vez obtenida la intensidad que pasa por el conductor, el Reglamento nos indica la sección que debe tener éste en función de la intensidad máxima admisible y para los distintos métodos de instalación, agrupamientos y tipos de cables. Para los cables que van desde el centro de transformación al cuadro general de distribución y de éste a los subcuadros, se considera que van distribuidos en una conducción enterrada, luego la tabla aplicable para este caso, y según la ITC-BT-07, es la siguiente:

Tabla 5. Intensidad máxima admisible, en amperios, para cables con conductores de cobre en instalación enterrada (servicio permanente).

SECCIÓN NOMINAL mm ²	Terna de cables unipolares (1) (2)			1 cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	72	70	63	66	64	58
10	96	94	85	88	85	75
16	125	120	110	115	110	97
25	160	155	140	150	140	125
35	190	185	170	180	175	150
50	230	225	200	215	205	180
70	280	270	245	260	250	220
95	335	325	290	310	305	265
120	380	375	335	355	350	305
150	425	415	370	400	390	340
185	480	470	420	450	440	385
240	560	540	485	520	505	445
300	620	610	550	590	585	505
400	705	690	615	665	645	570
500	790	775	685	-	-	-
630	885	870	770	-	-	-

Tipo de aislamiento:

XLPE - Polietileno reticulado - Temperatura máxima en el conductor 90°C (servicio permanente).

EPR - Etileno propileno - Temperatura máxima en el conductor 90°C (servicio permanente).

PVC - Policloruro de vinilo - Temperatura máxima en el conductor 70°C (servicio permanente).

Temperatura del terreno 25°C.

Profundidad de instalación 0,70 m.

Resistividad térmica del terreno 1 K.m/W.

- (1) Incluye el conductor neutro, si existe.
- (2) Para el caso de dos cables unipolares, la intensidad máxima admisible será la correspondiente a la columna de la terna de cables unipolares de la misma sección y tipo de aislamiento, multiplicada por 1,225.
- (3) Para el caso de un cable bipolar, la intensidad máxima admisible será la correspondiente a la columna del cable tripolar o tetrapolar de la misma sección y tipo de aislamiento, multiplicada por 1,225.

Se estima oportuna la elección de aislamiento de polietileno reticulado, XLPE y tensión asignada 0,6/1kV, para las líneas que circulan bajo tierra y para los circuitos interiores que suministran a receptores tales como motores; mientras que se escoge el aislamiento de policloruro de vinilo, PVC, para el resto.

La intensidad admisible de un cable, determinada por las condiciones de instalación enterrada con las características anteriormente especificadas, puede variar en la instalación real por el aumento de temperatura provocado por la circulación de la intensidad calculada de otros circuitos próximos.

Por ello, según la ITC-BT-07, hay que tener en cuenta unos factores de corrección de la intensidad máxima admisible usuales en el caso de agrupamiento de cables enterrados a una temperatura ambiental distinta de la tomada como base, o enterrados en una misma zanja o en zanjas diferentes a diversas profundidades.

Las conducciones interiores, que van desde el cuadro hasta los diferentes receptores, se consideran distribuidas en instalaciones de montajes superficiales o empotrados en obra, utilizando para la determinación de la sección de cada uno de los conductores, según la ITC-BT-19, la siguiente tabla:

Tabla 1. Intensidades admisibles (A) al aire 40 °C. Nº de conductores con carga y naturaleza del aislamiento

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos ³⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
B2		Cables multiconductores en tubos ³⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ⁴⁾				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
E		Cables multiconductores al aire libre ⁵⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0.3D ⁵⁾					3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁵⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁵⁾						3x PVC				3x XLPE o EPR ¹⁾	
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁵⁾								3x PVC ¹⁾			3x XLPE o EPR
		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
	185				268	297	317	354	386	415	464	601	
	240				315	350	374	419	455	490	552	711	
	300				360	404	423	484	524	565	640	821	

- 1) A partir de 25 mm² de sección.
- 2) Incluyendo canales para instalaciones -canaletas- y conductos de sección no circular.
- 3) O en bandeja no perforada.
- 4) O en bandeja perforada.
- 5) D es el diámetro del cable.

Una vez obtenidas todas las secciones de los cables conductores, se debe verificar que se cumple lo dispuesto en la instrucción en cuanto a las secciones mínimas de los conductores para los diferentes tipos de receptores:

Cables de alimentación a motores: 2,5 mm².

Cables de alimentación a cuadros locales de alumbrado: 6 mm².

Cables de alimentación a puntos de alumbrado interior: 1,5 mm².

Cables de alimentación a puntos de alumbrado exterior: 6 mm².

Cables de alimentación a tomas de corriente: 2,5 mm².

Cables de alimentación a un termo eléctrico: 4 mm².

Cables de mando y control: 1,5 mm².

Según la ITC-BT-19, la intensidad máxima admisible de los conductores interiores, calculados con la tabla anterior, también se deben corregir con unos factores de reducción para los casos de agrupamiento en varios circuitos o de varios cables multiconductores.

4.5 CAÍDAS DE TENSIÓN

Cuando ya la sección de cada conductor es conocida, hay que realizar una comprobación y verificar que la línea cumple con lo estipulado en el reglamento en lo que a la caída de tensión se refiere, pues la caída de tensión que soporta el conductor debe de ser inferior a la caída de tensión máxima admisible. Y para ello se compara el porcentaje de caída de tensión dado por las fórmulas que se exponen a continuación, con los datos en la tabla según las instrucciones.

Distribución monofásica:

$$e(\%) = \frac{2 \cdot P \cdot L}{\gamma \cdot S \cdot V^2} \times 100$$

Distribución trifásica:

$$e(\%) = \frac{P \cdot L}{\gamma \cdot S \cdot V^2} \times 100$$

Siendo:

e(%): porcentaje de caída de tensión de la línea.

P: potencia de cálculo de la línea (W).

V: Tensión simple fase-neutro (V).

L: longitud más desfavorable de la línea (m).

S: Sección del conductor (mm²).

γ : conductividad del cable.

Los valores máximos de caída de tensión que no se deben superar son dados por la instrucción, se resumen en la siguiente tabla, y vienen en función del tipo de línea sobre la que se están realizando los cálculos.

Parte de la instalación	Para alimentar a :	Caída de tensión máxima en % de la tensión de suministro.
LGA: (Línea General de Alimentación)	Suministros de un único usuario	No existe LGA
	Contadores totalmente concentrados	0,5%
	Centralizaciones parciales de contadores	1,0%
DI (Derivación Individual)	Suministros de un único usuario	1,5%
	Contadores totalmente concentrados	1,0%
	Centralizaciones parciales de contadores	0,5%
Circuitos interiores	Circuitos interiores en viviendas	3%
	Circuitos de alumbrado que no sean viviendas	3%
	Circuitos de fuerza que no sean viviendas	5%

Valores que en el caso de superarse indicarán que debe sustituirse el conductor por uno de mayor sección hasta cumplir los criterios establecidos.

5. ESTUDIO DE LAS LÍNEAS DEL CUADRO DE PROTECCIÓN MANIOBRA Y CONTROL DEL TRATAMIENTO TERCIARIO

5.1 LISTADO DE CONSUMOS

Antes de proceder al desarrollo del diagrama unifilar del cuadro de protección, maniobra y control del sistema de tratamiento terciario, procedemos a enumerar los consumos que debemos considerar para el desarrollo del mismo, de forma que en base a los mismos, el tipo de tensión de servicio (alterna monofásica, alterna trifásica y/o continua) y la ubicación de cada uno de los equipos receptores, podamos diseñar el agrupamiento adecuado de cada uno de los circuitos.

Se aplicará además ciertos factores de corrección como son el factor de simultaneidad (F_s) aplicable en el caso de aquellos equipos instalados de los que exista más de una unidad del mismo pero que no operen de forma simultánea, así como el factor de utilización (F_u) que nos permitirán a su vez realizar posteriormente el cálculo de la demanda de potencia de la instalación.

De este modo, se realizará una distinción entre lo que es la potencia realmente instalada que considera la potencia total de todos los equipos instalados y la potencia simultánea que puede consumirse en determinado momento en la planta, puesto que existirán diversos equipos que únicamente trabajarán de forma alterna, desarrollándose para ello esquemas eléctricos o sistemas de control de los mismos que impidan la puesta en marcha de forma simultánea de los mismos.

En base a estas consideraciones, en la siguiente tabla se ofrece el listado de consumos.

DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS REGENERADAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN LA
EDAR COMARCAL DE EL PASO - LOS LLANOS

DESCRIPCIÓN	Nº	fs	fu	POTENCIA		
				UNITARIA	INSTALADA	SIMULTÁNEA
FILTRACIÓN				(kW)	(kW)	(kW)
Bombas de alimentación a microfiltración	2	0,5	1	5,5	11	5,5
Compresores de aire	2	0,5	1	5,5	11	5,5
Secador frigorífico	1	1	1	0,41	0,41	0,41
Dosificadoras de hipoclorito sódico	2	0,5	1	0,12	0,24	0,12
Dosificadoras de coagulante	2	0,5	1	0,12	0,24	0,12
Electroválvulas microfiltración	4	1	1	0,01	0,04	0,04
INSTRUMENTACIÓN						
Caudalímetros	2	1	1	0,01	0,02	0,02
Turbidímetros	2	1	1	0,0075	0,015	0,015
Conductivímetros	1	1	1	0,006	0,006	0,006
Medidor de cloro	1	1	1	0,006	0,006	0,006
EQUIPOS AUXILIARES DEL CUADRO						
Lámparas módulos	1	1	1	0,011	0,011	0,011
Ventilador	1	1	1	0,085	0,085	0,085
Termostato	1	1	1	0,006	0,006	0,006
Toma Schuco de corriente	1	1	0,3	3,45	3,45	0,8625
Módulo de señales PLC y conector Ethernet	1	1	1	0,1442	0,1442	0,1442
Fuente de alimentación 230 Vca/24Vcc	1	1	1	0,24	0,24	0,24
Fuente de alimentación PLC	1	1	1	0,07	0,07	0,07
Relés Fallo de tensión	2	1	1	0,002	0,004	0,004
Circuitos de mando y señalización	1	0,7	1	0,2	0,2	0,14
CONTROL DE PLANTA						
PC con pantalla táctil	1	1	1	0,08	0,08	0,08

Una vez conocido el listado de consumos, se procede al cálculo de las intensidades nominales que se tomarán como base para los cálculos de las líneas de alimentación a cada uno de los mismos.

DESCRIPCIÓN	Nº	fs	fu	POTENCIA			TENSIÓN DE SERVICIO			cos φ	IN CÁLCULO
				UNITARIA	INSTALADA	SIMULTÁNEA	TENSIÓN	TIPO CC/CA	MONO/TRI M/T		
FILTRACIÓN				(kW)	(kW)	(kW)	(V)				(A)
Bombas de alimentación a microfiltración	2	0,5	1	5,5	11	5,5	400	CA	T	0,9	8,82
Compresores de aire	2	0,5	1	5,5	11	5,5	400	CA	T	0,83	9,56
Secador frigorífico	1	1	1	0,41	0,41	0,41	230	CA	M	0,8	2,23
Dosificadoras de hipoclorito sódico	2	0,5	1	0,12	0,24	0,12	230	CA	M	0,7	0,75
Dosificadoras de coagulante	2	0,5	1	0,12	0,24	0,12	230	CA	M	0,7	0,75
Electroválvulas microfiltración	4	1	1	0,01	0,04	0,04	24	CA	M	0,8	2,08
INSTRUMENTACIÓN											
Caudalímetros	2	1	1	0,01	0,02	0,02	230	CA	M	0,85	0,10
Turbidímetros	2	1	1	0,0075	0,015	0,015	230	CA	M	0,85	0,08
Conductivímetros	1	1	1	0,006	0,006	0,006	230	CA	M	0,85	0,03
Medidor de cloro	1	1	1	0,006	0,006	0,006	230	CA	M	0,85	0,03
EQUIPOS AUXILIARES DEL CUADRO											
Lámparas módulos	1	1	1	0,011	0,011	0,011	230	CA	M	0,9	0,05
Ventilador	1	1	1	0,085	0,085	0,085	230	CA	M	0,8	0,46
Termostato	1	1	1	0,006	0,006	0,006	230	CA	M	0,8	0,03
Toma Schuco de corriente	1	1	0,3	3,45	3,45	0,8625	230	CA	M	0,8	4,69
Módulo de señales PLC y conector Ethernet	1	1	1	0,1442	0,1442	0,1442	24	CC			6,01
Fuente de alimentación 230 Vca/24Vcc	1	1	1	0,24	0,24	0,24	230	CA	M	0,8	1,30
Fuente de alimentación PLC	1	1	1	0,07	0,07	0,07	230	CA	M	0,8	0,38
Relés Fallo de tensión	2	1	1	0,002	0,004	0,004	24	CA	M	0,6	0,28
Circuitos de mando y señalización	1	0,7	1	0,2	0,2	0,14	24	CA	M	0,6	9,72
CONTROL DE PLANTA											
PC con pantalla táctil	1	1	1	0,08	0,08	0,08	24	CC			3,33

A partir de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta diversos factores como son la ubicación de los distintos receptores, el tipo de alimentación necesaria o su ubicación en el interior del propio cuadro, procederemos al desarrollo del diagrama unifilar que servirá de punto de partida para el desarrollo de los esquemas eléctricos y cálculo de cada una de las líneas.

En base a esto, se agruparán algunos de los receptores en circuitos comunes de forma que queden protegidos aguas arriba por una misma protección o puedan ser alimentados a la tensión que se estime necesaria.

Así tendremos que para el desarrollo del diagrama unifilar, los circuitos se agruparán como sigue:

Circuito C1: Línea general del cuadro.

Circuito C2: Circuito del Transformador 400/230.

Circuito C3: Circuito del Transformador 400/24.

Circuito C4: Compresor de aire 1.

Circuito C5: Compresor de aire 2.

Circuito C6: Secador frigorífico.

Circuito C7: Bombas de alimentación a microfiltración.

Circuito C8: Dosificadoras coagulante filtración.

Circuito C9: Dosificadoras hipoclorito sódico filtración.

5.1.1 RECEPTORES DEL CIRCUITO C2

Para el caso de los receptores alimentados por el transformador de relación 400/230 V, de los circuitos C2A, C2B y C2C, las intensidades nominales tomadas como base para los cálculos se resumen en la tabla insertada a continuación.

Las intensidades nominales de cálculo de cada uno de los receptores de los circuitos parciales, de cara al cálculo de las secciones y la elección de las protecciones, se han calculado tomando la potencia unitaria. En el cálculo de los totales C2A y C2B se ha tomado la potencia total instalada y se le ha aplicado el factor de simultaneidad para obtener la potencia simultánea tomada como base para el cálculo de sus intensidades nominales.

De este modo se obtienen los resultados expuestos a continuación.

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	Nº	fs	fu	POTENCIA			TENSIÓN DE SERVICIO				In	
					UNITARIA	INSTALADA	SIMULTÁNEA	TENSIÓN	TIPO	MONO/TRI	cosφ		CÁLCULO
					(kW)	(kW)	(kW)	(V)	CC/CA	M/T			
C2A	Lámparas módulos	1	1	1	0,011	0,011		230	CA	M	0,9	0,053	
	Ventilador	1	1	1	0,085	0,085		230	CA	M	0,8	0,462	
	Termostato	1	1	1	0,006	0,006		230	CA	M	0,8	0,033	
	Toma Schuco de corriente	1	1	0,3	3,45	0,8625		230	CA	M	0,8	18,750	
TOTAL C2A	Alumbrado, toma corriente y ventilación cuadro		0,6	1		0,9645	0,5787	230	CA	M	0,83	3,050	
C2B	Módulo de señales PLC y conector Ethernet	1	1	1	0,1442	0,1442		24	CC			6,008	
	PC con pantalla táctil	1	1	1	0,08	0,08		24	CC			3,333	
	Fuente de alimentación 230 Vca/24Vcc	1	1	1	0,24	0,24		230	CA	M	0,8	1,304	
	Fuente de alimentación PLC	1	1	1	0,07	0,07		230	CA	M	0,8	0,380	
	Caudalímetros	5	1	1	0,01	0,05		230	CA	M	0,85	0,051	
	Turbidímetros	3	1	1	0,0075	0,0225		230	CA	M	0,85	0,038	
	Conductivímetros	3	1	1	0,006	0,018		230	CA	M	0,85	0,031	
	Medidor de cloro	1	1	1	0,006	0,006		230	CA	M	0,85	0,031	
TOTAL C2B	PLC, Instrumentación, pantalla táctil			1		0,4065	0,4065	230	CA	M	0,83	2,121	
TOTAL C2					1,371	0,985					0,83	5,171	

Por tanto, de la aplicación de los factores de simultaneidad a cada uno de los receptores y a los circuitos parciales, se obtiene un factor de simultaneidad para C2 de:

$$F_s = \frac{P_{SC2}}{P_{IC2}} = \frac{0,985}{1,371} = 0,72$$

P_{SC2} = Potencia simultánea del circuito C2 [kW]

P_{IC2} = Potencia instalada del circuito C2 [kW].

Para el cálculo de la potencia aparente, S_{T2} , del transformador T2 se ha tomado como potencia unitaria total del circuito la potencia simultánea del circuito C2, P_{SC2} , y se le ha aplicado un factor de simultaneidad entre circuitos parciales de 0,72 y un factor de utilización de 1.

El factor de potencia empleado es el promedio de los circuitos a los que alimenta, resultando un $\cos\phi = 0,83$. De esta forma tenemos que:

$$S_{T2} = \frac{P_{ST2}}{\cos\phi} = \frac{985 \cdot 0,72 \cdot 1}{0,83} = 854,46VA$$

Siendo:

S_{T2} = Potencia aparente transformador T2 [VA]

P_{ST2} = Potencia total simultánea transformador T2 [W]

$\cos\phi = 0,83$

Se elige el transformador comercial de potencia 2.500 VA con el que cubriremos la demanda y que trabajará a un régimen de carga del 34,17%, por lo que todavía es posible ampliar la potencia demandada en el 65,83% restante, sin que el transformador trabaje sobrecargado.

5.1.2 RECEPTORES DEL CIRCUITO C3

Para el caso de los receptores alimentados por el transformador de relación 400/24 V, de los circuitos C3A y C3B, las intensidades nominales tomadas como base para los cálculos se resumen en la tabla insertada a continuación.

Para la obtención de las intensidades nominales de cálculo de cada uno de los receptores de los circuitos parciales y de los totales se ha procedido como en el apartado anterior, para el circuito C2.

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	Nº	fs	fu	POTENCIA			TENSIÓN DE SERVICIO				IN	
					UNITARIA	INSTALADA	SIMULTÁNEA	TENSIÓN	TIPO	MONO/TRI	cosφ		CÁLCULO
					(kW)	(kW)	(kW)	(V)	CC/CA	M/T			
C3A	Electroválvulas microfiltración	4	1	1	0,01	0,04		24	CA	M	0,8	0,521	
	Relés Fallo de tensión	2	1	1	0,002	0,004		24	CA	M	0,6	0,139	
TOTAL C3A	Electroválvulas y relés		0,8	1		0,044	0,0352	24	CA	M	0,7	2,095	
TOTAL C3B	Mando y señalización		0,7	1		0,2	0,14	24	CA	M	0,6	9,722	
TOTAL C3						0,244	0,175				0,65	11,817	

Del mismo modo que en el caso anterior, de la aplicación de los factores de simultaneidad a cada uno de los receptores y a los circuitos parciales, se obtiene un factor de simultaneidad para C3 de:

$$F_s = \frac{P_{SC3}}{P_{IC3}} = \frac{0,175}{0,244} = 0,72$$

P_{SC3} = Potencia simultánea del circuito C3 [kW]

P_{IC3} = Potencia instalada del circuito C3 [kW].

Para el cálculo de la potencia aparente, S_{T3} , del transformador T3 se ha tomado como potencia unitaria total del circuito la potencia simultánea del circuito C3, P_{SC2} , y se le ha aplicado un factor de simultaneidad entre circuitos parciales de 1 y un factor de utilización de 1.

El factor de potencia empleado es el promedio de los circuitos a los que alimenta, resultando un $\cos\phi = 0,65$. De esta forma tenemos que:

$$S_{T3} = \frac{P_{ST3}}{\cos\phi} = \frac{175 \cdot 1 \cdot 1}{0,65} = 269VA$$

Siendo:

S_{T3} = Potencia aparente transformador T3 [VA]

P_{ST3} = Potencia total simultánea transformador T3 [W]

$\cos\phi = 0,65$

Se elige el transformador comercial de potencia 630 VA con el que cubriremos la demanda y que trabajará a un régimen de carga del 42,7%, por lo que todavía es posible ampliar la potencia demandada en el 57,3% restante, sin que el transformador trabaje sobrecargado.

Según la distribución por circuitos planteada, los receptores quedarían ordenados de la siguiente forma:

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	Nº	fs	fu	POTENCIA			TENSIÓN DE SERVICIO			cos φ	IN CÁLCULO (A)
					UNITARIA	INSTALADA	SIMULTÁNEA	TENSIÓN	TIPO CC/CA	MONO/TRI M/T		
					(kW)	(kW)	(kW)	(V)				
FILTRACIÓN												
C7A-C7B	Bombas de alimentación a microfiltración	2	0,5	1	5,5	11	5,5	400	CA	T	0,9	8,82
C4-C5	Compresores de aire	2	0,5	1	5,5	11	5,5	400	CA	T	0,83	9,56
C6	Secador frigorífico	1	1	1	0,41	0,41	0,41	230	CA	M	0,8	2,23
C8A-C8B	Dosificadoras de hipoclorito sódico	2	0,5	1	0,12	0,24	0,12	230	CA	M	0,7	0,75
C9A-C9B	Dosificadoras de coagulante	2	0,5	1	0,12	0,24	0,12	230	CA	M	0,7	0,75
C3A	Electroválvulas microfiltración	4	1	1	0,01	0,04	0,04	24	CA	M	0,8	2,08
INSTRUMENTACIÓN												
C2B	Caudalímetros	2	1	1	0,01	0,02	0,02	230	CA	M	0,85	0,10
C2B	Turbidímetros	2	1	1	0,0075	0,015	0,015	230	CA	M	0,85	0,08
C2B	Conductivímetros	1	1	1	0,006	0,006	0,006	230	CA	M	0,85	0,03
C2B	Medidor de cloro	1	1	1	0,006	0,006	0,006	230	CA	M	0,85	0,03
EQUIPOS AUXILIARES DEL CUADRO												
C2A	Lámparas módulos	1	1	1	0,011	0,011	0,011	230	CA	M	0,9	0,05
C2A	Ventilador	1	1	1	0,085	0,085	0,085	230	CA	M	0,8	0,46
C2A	Termostato	1	1	1	0,006	0,006	0,006	230	CA	M	0,8	0,03
C2A	Toma Schuco de corriente	1	1	0,3	3,45	3,45	0,8625	230	CA	M	0,8	4,69
C2B	Módulo de señales PLC y conector Ethernet	1	1	1	0,1442	0,1442	0,1442	24	CC			6,01
C2B	Fuente de alimentación 230 Vca/24Vcc	1	1	1	0,24	0,24	0,24	230	CA	M	0,8	1,30
C2B	Fuente de alimentación PLC	1	1	1	0,07	0,07	0,07	230	CA	M	0,8	0,38
C3A	Relés Fallo de tensión	2	1	1	0,002	0,004	0,004	24	CA	M	0,6	0,28
C3B	Circuitos de mando y señalización	1	0,7	1	0,2	0,2	0,14	24	CA	M	0,6	9,72
CONTROL DE PLANTA												
C2B	PC con pantalla táctil	1	1	1	0,08	0,08	0,08	24	CC			3,33

5.2 CIRCUITOS DIAGRAMA UNIFILAR

A partir de la distribución anterior diseñamos el diagrama unifilar, calculando las intensidades nominales por circuitos según se recoge en la siguiente tabla:

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	Nº	fs	fu	POTENCIA			TENSIÓN DE SERVICIO			cos φ	IN CÁLCULO (A)
					UNITARIA	INSTALADA	SIMULTÁNEA	TENSIÓN	TIPO CC/CA	MONO/TRI M/T		
					(kW)	(kW)	(kW)	(V)				
C1	Línea general del cuadro	1	0,5	1	18,765	24,505	12,97	400	CA	T	0,77	24,18
C2	Transformador 400/230	1	1	0,8	1,371	1,371	1,13	400	CA	M	0,78	3,61
C3	Transformador 400/24	1	1	0,8	0,244	0,244	0,19	400	CA	M	0,65	0,73
C4	Compresor de aire 1	1	1	0,5	5,5	5,5	2,75	400	CA	T	0,83	9,56
C5	Compresor de aire 2	1	1	0,5	5,5	5,5	2,75	400	CA	T	0,83	9,56
C6	Secador frigorífico	1	1	1	0,41	0,41	0,41	230	CA	M	0,8	2,23
C7	Bombas de alimentación a microfiltración	2	0,5	1	5,5	11	5,50	400	CA	T	0,9	8,82
C8	Dosificadoras coagulante filtración	2	0,5	1	0,12	0,24	0,12	230	CA	M	0,7	0,75
C9	Dosificadoras hipoclorito sódico filtración	2	0,5	1	0,12	0,24	0,12	230	CA	M	0,7	0,75
TOTALES					18,765	24,505	12,97				0,77	

El equilibrado de cargas se ha llevado a cabo partiendo de las intensidades nominales calculadas para los circuitos principales según la tabla del apartado anterior y haciendo el reparto de las cargas monofásicas, las que provocan desequilibrios, entre las tres fases, de forma que el desequilibrio entre las mismas ha resultado ser despreciable como se puede observar en la siguiente tabla:

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	IN	DISTRIBUCIÓN FASES		
		CÁLCULO (A)	L1	L2	L3
C1	Línea general del cuadro	24,18	42,69	43,17	40,98
C2	Transformador 400/230	3,61	5,17	5,17	
C3	Transformador 400/24	0,73		1,23	1,23
C4	Compresor de aire 1	9,56	9,56	9,56	9,56
C5	Compresor de aire 2	9,56	9,56	9,56	9,56
C6	Secador frigorífico	2,23			2,23
C7	Bombas de alimentación a microfiltración	8,82	17,64	17,64	17,64
C8	Dosificadoras coagulante filtración	0,75	0,75		
C9	Dosificadoras hipoclorito sódico filtración	0,75			0,75
			42,6903334	43,1703334	40,9803334

5.3 CÁLCULO DE LAS SECCIONES DE LOS CONDUCTORES

El cálculo reglamentario de la sección de un conductor debe satisfacer simultáneamente tres condiciones:

Criterio de la intensidad máxima admisible o térmico.

Criterio de la caída de tensión reglamentaria.

Criterio de la intensidad de cortocircuito.

según la ITC-BT-19 del RBT, se considera que la instalación interior de baja tensión tiene su origen a la salida del transformador y la sección del conductor neutro será como mínimo igual a la de las fases.

5.3.1 CÁLCULO DE LA SECCIÓN POR INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES

Se basa en que la temperatura del conductor del cable, trabajando a plena carga y en régimen permanente, no debe superar la temperatura máxima admisible asignada para el aislamiento del mismo, que es de 90°C para los de aislamiento termoestable, en nuestro caso XLPE, según la norma UNE 20460- 5-523.

Cables instalados al aire

Para el cálculo de las secciones de estos cables se ha tenido en cuenta lo especificado en la ITC-BT-19, y se ha empleado la Tabla 1 incluida en la misma obteniendo sus intensidades máximas admisibles para un solo circuito y una temperatura ambiente del aire de 40°C, y para los distintos métodos de instalación, agrupamiento y tipos de cables.

El procedimiento de cálculo se ha seguido para cables unipolares y multipolares con conductores de cobre, en disposiciones de dos o tres conductores activos, según los sistemas de instalación descritos en el siguiente apartado, aislamiento de XLPE, y tensión asignada de 0,6/1 kV.

Sistemas de instalación: En ocasiones y debido a las características de las instalaciones, en una misma línea se emplean distintos tipos o sistemas de instalación, pero de cara al cálculo de la sección de los conductores y cables de cada una de ellas se han tomado los más desfavorables, así que los tipos de instalación considerados son:

- B: cables unipolares en conductos en canalizaciones abiertas o ventiladas en recorrido horizontal y vertical para las líneas que alimentan a las pilas de electrodiálisis.
- B2: cables multiconductores en tubos, incluyendo canales y conductos de sección no circular, en montaje superficial para el resto de las líneas que parten del cuadro.
- E y F: cables unipolares y multipolares sobre bandeja perforada en horizontal o vertical, para los tramos alojados en el interior del cuadro y la línea general del cuadro.

Intensidad nominal corregida, I_{NC} : con el fin de obtener la sección del cable utilizando la Tabla 1 mencionada, se ha partido de las intensidades nominales de cálculo obtenidas con anterioridad y se les han aplicado los siguientes factores de corrección para obtener las intensidades nominales corregidas según la fórmula:

$$I_{NC} = \frac{I_{N\text{ CÁLCULO}} \cdot F_R}{F_{T^a} \cdot F_{AG}}$$

Factor de corrección del receptor, F_R : se ha tenido en cuenta lo establecido en la ITC-BT-47 para la instalación de motores y se les ha aplicado un factor de 1,25. Al resto de receptores se les ha aplicado un factor de 1.

Factor de corrección por temperatura, F_{T^a} : se utiliza cuando la temperatura es distinta de 40°C, así que de forma general se ha aplicado un factor de 1, y en los tramos que discurren por el interior del cuadro principal, debido a que éste está ventilado, se ha supuesto una temperatura de 25°C a la que corresponde un factor, para cables con aislamiento de XLPE, dado por la fórmula:

$$F_{T^a} = \sqrt{\frac{90 - 25}{50}} = 1,14$$

Factor de corrección por agrupamiento, F_{AG} : se utiliza cuando varios circuitos o cables multipolares discurren de forma contigua, y, atendiendo a lo especificado en la Guía Técnica del Ministerio de Industria sobre aplicación del RBT, se ha aplicado de forma general un factor de 0,7 para más de 9 circuitos o cables multipolares dispuestos en capa única sobre superficie sin perforar o en capa única en una superficie perforada vertical u horizontal, caso de todas las líneas de alimentación de receptores, a excepción de aquellos tramos de las mismas menores de 2 m (en el interior del cuadro).

Longitud de las líneas, L: la longitud de las líneas para el cálculo de las secciones se han medido sobre plano, y se les ha dado un margen de seguridad de 2 m excepto en los tramos que discurren por el interior del cuadro principal.

Obtención de la sección e intensidades máximas admisibles: partiendo de las intensidades nominales corregidas calculadas y tomando los sistemas de instalación para cables con aislamiento de XLPE, en configuración de dos o tres conductores activos, según el caso, tomamos la sección, inmediatamente superior a dichos valores aplicando la Tabla 1 incluida en la ITC-BT-19 del RBT.

5.3.2 CÁLCULO DE LA SECCIÓN POR CÁIDAS DE TENSIÓN MÁXIMAS ADMISIBLES

Se basa en que la caída de tensión entre el origen y el extremo de la canalización, originada por la circulación de corriente a través de los conductores, debe ser inferior a los límites establecidos en el RBT en cada parte de la instalación para garantizar el funcionamiento de los receptores. Suele ser determinante en líneas de gran longitud.

Para nuestro caso, al tratarse de una instalación interior, las caídas de tensión máximas admisibles serán del 3 % para alumbrado y del 5 % para los demás usos.

Para el cálculo de las secciones por este criterio se ha seguido el procedimiento de cálculo incluido en el Anexo 2 de la Guía Técnica de aplicación del RBT del Ministerio de Industria y se ha considerado: una temperatura del cable igual a la temperatura máxima admisible de 90°C para aislamiento de XLPE; una caída de tensión máxima admisible cuyo valor es del 5% desde la salida del transformador hasta los receptores, aunque se ha hecho un reparto hipotético de la misma entre los diferentes tramos (resultando así secciones mayores); y una conductividad en corriente alterna equivalente a la de corriente continua ya que el efecto pelicular y el de proximidad se pueden despreciar en instalaciones eléctricas de baja tensión para pequeñas secciones.

Finalmente se han obtenido las secciones aplicando las siguientes fórmulas:

Circuitos de corriente continua y de corriente alterna monofásicos:

$$S_{POR\ CDT} = \frac{2 \cdot P \cdot L}{\gamma_{90} \cdot e_{\%} \cdot U^2} \cdot 100$$

Circuitos de corriente alterna trifásicos:

$$S_{POR\ CDT} = \frac{P \cdot L}{\gamma_{90} \cdot e_{\%} \cdot U^2} \cdot 100$$

Siendo:

P = Potencia del circuito (W): unitaria para las líneas de alimentación a los receptores, y simultánea para los circuitos parciales y los circuitos principales

L = Longitud del circuito (m)

γ_{90} = Conductividad del cobre para la temperatura máxima admisible del cable ($m/\Omega \cdot mm^2$) =
44 $m/\Omega \cdot mm^2$

$e\%$ = Caída de tensión porcentual máxima admisible (%) = 1% la general del cuadro (C1), y
4% para el resto (C2 a C27)

U_N = Tensión nominal (V): compuesta para líneas trifásicas

$S_{POR\ CDT}$ = Sección por caída de tensión máxima admisible (mm^2)

5.3.3 CÁLCULO DE LA SECCIÓN POR INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO

Este criterio de cálculo se basa en que la temperatura que puede alcanzar el conductor de un cable debido a un cortocircuito de corta duración (menos 5 sg.) no debe superar la temperatura máxima admisible de corta duración asignada al aislamiento del mismo, (250 °C para los de aislamiento termoestable), en nuestro caso XLPE.

Al no ser un criterio determinante en instalaciones de baja tensión ya que las protecciones limitan la duración del cortocircuito a tiempos muy breves y las impedancias de los cables hasta el punto de cortocircuito limitan la intensidad de cortocircuito, según la Guía Técnica de Aplicación del RBT del Ministerio de Industria, no se han realizado los cálculos por este criterio, entendiéndose como suficientes para determinar la sección de los conductores los dos criterios anteriores de intensidades máximas admisibles y de caídas de tensión.

5.3.4 SECCIÓN ELEGIDA

Una vez realizado el cálculo de la sección de los conductores por los dos criterios anteriores, térmico y caída de tensión, se ha elegido la sección resultante mayor, $S_{ELEGIDA}$, que, como se puede observar en las tablas de cálculo incluidas en el siguiente apartado, es la obtenida por criterio térmico, es decir, por intensidades máximas admisibles.

Esto quiere decir que, debido a la baja potencia y a las cortas longitudes de las líneas, las caídas de tensión no han sido determinantes en el cálculo de la sección de los conductores.

5.3.5 INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES

Una vez elegida la sección del cable se extraen, de las tablas del RBT específicas para cada caso, las intensidades máximas admisibles, $I_{MAX\ ADM}$, de los diferentes conductores para poder calcular la intensidad máxima admisible del conductor para sus condiciones de instalación particulares, $I_{MAX\ COND}$, según la fórmula:

$$I_{MAX\ COND} = I_{MAX\ ADM} \cdot F_{T^a} \cdot F_{AG}$$

Siendo:

$I_{MAX ADM}$ = Intensidad máxima admisible para la sección elegida (A).

F_{T^a} = Factor de corrección por temperatura

F_{AG} = Factor de corrección por agrupamiento

$I_{MAX COND}$ = Intensidad máxima admisible del conductor para sus condiciones particulares de instalación (A).

5.3.6 TEMPERATURA REAL DEL CABLE. T SERVICIO

La temperatura máxima prevista en servicio de un cable se calcula según la expresión:

$$T_{SERVICIO} = T_0 + (T_{MAX} - T_0) \cdot \left(\frac{I_{N CÁLCULO}}{I_{MAX COND}} \right)^2$$

Siendo:

T_0 = Temperatura ambiente en el conductor (°C) = 40°C

T_{MAX} = Temperatura máxima admisible para el conductor según aislamiento (°C) = 90°C

$I_{N CÁLCULO}$ = Intensidad nominal de cálculo prevista para el conductor (A)

$I_{MAX COND}$ = Intensidad máxima admisible del conductor para sus condiciones particulares de instalación (A)

$T_{SERVICIO}$ = Temperatura real estimada en el conductor (°C)

5.3.7 CAÍDAS DE TENSIÓN

Caída de tensión unitaria, $CDT_{UNITARIA}$

El valor de las caídas de tensión unitarias, teniendo en cuenta tanto la resistencia como la inductancia de los cables, se ha extraído de la Tabla 5 para cables de 0,6/1 kV del Anexo 2 de la Guía Técnica de aplicación del RBT del Ministerio de Industria, considerando el factor de potencia que arroja el mayor valor ($\cos\phi=1$) y la temperatura de servicio obtenida en el apartado anterior.

S (mm ²)	Caída de tensión por A y km.											
	Cos φ = 0,8				Cos φ = 1				Cos φ = 0,9			
	40°C	60°C	80°C	90°C	40°C	60°C	70°C	90°C	40°C	60°C	70°C	90°C
1,5	18,255	19,573	20,891	21,550	22,604	24,252	25,899	26,723	20,469	21,951	23,434	24,175
2,5	11,216	12,023	12,830	13,234	13,843	14,852	15,860	16,365	12,562	13,469	14,377	14,831
4	7,024	7,526	8,028	8,279	8,612	9,240	9,867	10,181	7,848	8,413	8,978	9,261
6	4,732	5,068	5,403	5,571	5,754	6,173	6,592	6,802	5,272	5,650	6,027	6,216
10	2,846	3,045	3,244	3,344	3,419	3,668	3,917	4,042	3,157	3,382	3,606	3,718
16	1,820	1,945	2,070	2,133	2,148	2,305	2,461	2,540	2,007	2,148	2,289	2,359
25	1,184	1,263	1,342	1,382	1,358	1,457	1,556	1,606	1,293	1,382	1,471	1,516
35	0,878	0,935	0,992	1,020	0,979	1,050	1,122	1,157	0,950	1,014	1,078	1,110
50	0,672	0,714	0,757	0,778	0,723	0,776	0,828	0,855	0,719	0,766	0,814	0,837
70	0,491	0,520	0,549	0,564	0,501	0,537	0,574	0,592	0,516	0,549	0,582	0,598
95	0,378	0,399	0,420	0,431	0,361	0,387	0,413	0,426	0,390	0,413	0,437	0,449
120	0,315	0,332	0,349	0,357	0,286	0,307	0,327	0,338	0,320	0,339	0,358	0,367
150	0,271	0,284	0,298	0,304	0,232	0,249	0,265	0,274	0,271	0,286	0,301	0,309
185	0,234	0,244	0,255	0,261	0,185	0,199	0,212	0,219	0,229	0,241	0,253	0,259
240	0,197	0,205	0,213	0,217	0,141	0,151	0,161	0,167	0,188	0,197	0,206	0,211

Caída de tensión total, CDT_{TOTAL U}

Se ha calculado teniendo en cuenta las caídas de tensión unitarias, CDT_{UNITARIA}, obtenidas en el apartado anterior empleando la fórmula siguiente:

$$CDT_{TOTAL U} = \frac{CDT_{UNITARIA} \cdot I_{N \text{ CÁLCULO}} \cdot L}{U_N} \cdot 100$$

Siendo:

CDT_{UNITARIA} = Caída de tensión unitaria (V/A·km)

I_{N CÁLCULO} = Intensidad nominal de cálculo prevista para el conductor (A)

L = Longitud de la línea (km)

U_N = Tensión nominal (V): compuesta para líneas trifásicas

CDT_{TOTAL U} = Caída de tensión total porcentual en base a la unitaria (%)

Caída de tensión total, CDT_{TOTAL C}

Se ha calculado teniendo en cuenta las secciones elegidas, S_{ELEGIDA}, según lo especificado en apartados anteriores, empleando la fórmula siguiente:

$$CDT_{TOTAL C} = \frac{P \cdot L}{\gamma_{90} \cdot S_{ELEGIDA} \cdot U_N^2} \cdot 100$$

Siendo

P = Potencia del circuito (W): unitaria para las líneas de alimentación a los receptores, y simultánea para los circuitos parciales y los circuitos principales

L = Longitud del circuito (m)

γ_{90} = Conductividad del cobre para la temperatura máxima admisible del cable ($m/\Omega \cdot mm^2$) = 44 $m/\Omega \cdot mm^2$

$S_{ELEGIDA}$ = Sección elegida del cable (mm^2)

U_N = Tensión nominal (V): compuesta para líneas trifásicas

$CDT_{TOTAL C}$ = Caída de tensión porcentual total en base a la sección (%).

Caída de tensión máxima, CDT_{MAX}

De cara a comprobar que no se sobrepasa la caída de tensión máxima admisible, de 5%, establecida en el RBT, se ha elegido el valor máximo de los obtenidos en los dos apartados anteriores.

Caída de tensión total acumulada

Se ha hecho el cálculo de las caídas de tensión acumuladas, de forma general en todos los circuitos, tomando el valor de la caída de tensión máxima, según lo especificado en el apartado anterior, CDT_{MAX} , y en particular, en los circuitos C1, C2 y C3, tomando dicha caída de tensión máxima, CDT_{MAX} , y sumándole los valores máximos de las existentes aguas abajo en cada uno de ellos.

La caída de tensión calculada de esta forma para el circuito C1 corresponde a la máxima caída de tensión originada en la instalación de este cuadro eléctrico.

5.3.8 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CÁLCULO DE SECCIONES Y CAÍDAS DE TENSIÓN

Utilizando las hojas de cálculo insertadas a continuación se han obtenido las secciones de los conductores y las caídas de tensión para todas las líneas que componen la instalación del cuadro eléctrico en baja tensión proyectado.

De cara al cálculo de las secciones, y teniendo en cuenta que cada circuito principal se divide en varios tramos, básicamente los que discurren por el interior del cuadro (principalmente cables

unipolares) y los que lo hacen por el exterior del mismo (principalmente cables multipolares), de forma general se han tomado las condiciones más desfavorables para la longitud total del circuito, es decir, para cables multipolares según los sistemas de instalación descritos anteriormente. En el caso concreto de los circuitos C2 y C3 el cálculo se ha realizado por tramos.

Debe considerarse, tal y como se ha comentado con anterioridad que en las secciones de los cables conductores, se debe verificar que se cumple lo dispuesto en la instrucción en cuanto a las secciones mínimas de los conductores para los diferentes tipos de receptores:

Cables de alimentación a motores: 2,5 mm².

Cables de alimentación a cuadros locales de alumbrado: 6 mm².

Cables de alimentación a puntos de alumbrado interior: 1,5 mm².

Cables de alimentación a puntos de alumbrado exterior: 6 mm².

Cables de alimentación a tomas de corriente: 2,5 mm².

Cables de alimentación a un termo eléctrico: 4 mm².

Cables de mando y control: 1,5 mm².

Con todas estas consideraciones presentes, se obtienen los resultados que se exponen a continuación.

Líneas de alimentación de receptores

Los cálculos descritos para las líneas de alimentación de los receptores se resumen en la tabla insertada a continuación.

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	IN CÁLCULO	Fr	Fr*	FAG	Fc	IN CORREG	TIPO INST.	L (m)	CONDUCTOR XLPE 0,6/1kV						CAÍDAS DE TENSIÓN				
										S INC	S CDT	S ELEG	I ADM	I COND	T SERV	CDT UNIT	CDT T-U	CDT T-C	CDT MAX	
										(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(m)	(m)	(m)	(V/km)	(%)	(%)	(%)	
	FILTRACIÓN	(A)					TOTAL (A)													
C7A-C7B	Bombas de alimentación a microfiltración	8,82	1,25	1,00	0,70	1,79	15,75	B2	27,00	6,00	0,703	6,00	37,00	25,90	46	6,592	0,392	0,352	0,392	
C4-C5	Compresores de aire	9,56	1,25	1,00	0,70	1,79	17,08	B2	8,00	4,00	0,208	4,00	30,00	21,00	50	9,240	0,177	0,156	0,177	
C6	Secador frigorífico	2,23	1,25	1,00	0,70	1,79	3,98	B2	8,00	2,50	0,094	2,50	25,00	17,50	41	14,852	0,115	0,113	0,115	
C8A-C8B	Dosificadoras de hipoclorito sódico	0,75	1,25	1,00	0,70	1,79	1,33	B2	100,00	2,50	0,344	2,50	25,00	17,50	40	13,843	0,449	0,412	0,449	
C9A-C9B	Dosificadoras de coagulante	0,75	1,25	1,00	0,70	1,79	1,33	B2	100,00	2,50	0,344	2,50	25,00	17,50	40	13,843	0,449	0,412	0,449	
	EQUIPOS AUXILIARES DEL CUADRO																			
C2A	Alumbrado, tomas de corriente y ventilación	3,73	1,00	1,14	0,70	1,25	4,67	E	4,00	2,5	0,081	2,50	25,00	19,95	42	14,852	0,096	0,097	0,097	
C2B	PLC, Instrumentación, Pantalla táctil	2,12	1,00	1,14	0,70	1,25	2,66	E	4,00	2,5	0,047	2,50	25,00	19,95	41	14,852	0,055	0,056	0,056	
C3A	Electroválvulas	10,64	1,25	1,14	0,70	1,57	16,66	E	4,00	2,5	0,021	2,50	25,00	19,95	54	14,852	0,275	0,026	0,275	
C3B	Señalización y mando	9,72	1,00	1,14	0,70	1,25	12,18	E	4,00	2,5	0,016	2,50	25,00	19,95	52	14,852	0,251	0,019	0,251	

Receptores circuito C2

Para el caso de los receptores alimentados por el transformador T2, de relación 400/230 V, de los circuitos C2A y C2B, los cálculos descritos anteriormente se resumen en la siguiente tabla:

DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS REGENERADAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN LA EDAR COMARCAL DE EL PASO - LOS LLANOS

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	IN CÁLCULO (A)	Fr	Fr*	Fag	Fc	IN CORREG (A)	TIPO INST.	L (m)	CONDUCTOR XLPE 0,6/1kV							CAÍDAS DE TENSIÓN			
										S INC	S CDT	S ELEG	I ADM	I COND	T SERV	CDT UNIT	CDT T-U	CDT T-C	CDT MAX	
										(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(m)	(m)	(m)	(V/km)	(%)	(%)	(%)	
C2A	Lámparas módulos	0,053	1,00	1,14	0,70	1,25	0,07	E	4,00	1,50	0,001	1,50	24,00	19,15	40	22,604	0,002	0,003	0,003	
	Ventilador	0,462	1,00	1,14	0,70	1,25	0,58	E	4,00	1,50	0,010	1,50	24,00	19,15	40	22,604	0,018	0,019	0,019	
	Termostato	0,033	1,00	1,14	0,70	1,25	0,04	E	4,00	1,50	0,001	1,50	24,00	19,15	40	22,604	0,001	0,001	0,001	
	Toma Schuco de corriente	18,750	1,00	1,14	0,70	1,25	23,50	E	4,00	2,50	0,395	2,50	33,00	26,33	65	15,860	0,517	0,474	0,517	
	Módulo de señales PLC y conector Ethernet	6,008	1,00	1,14	1,00	0,88	5,27	E	2,00	1,50	0,759	1,50	24,00	27,36	42	24,252	1,214	1,517	1,517	
C2B	PC con pantalla táctil	3,333	1,00	1,00	1,00	1,00	3,33	E	2,00	1,50	0,281	1,50	24,00	24,00	41	24,252	0,674	0,842	0,842	
	Fuente de alimentación 230 Vca/24Vcc	1,304	1,00	1,14	1,00	0,88	1,14	E	2,00	1,50	0,014	1,50	24,00	27,36	40	22,604	0,026	0,027	0,027	
	Fuente de alimentación PLC	0,380	1,00	1,14	1,00	0,88	0,33	E	2,00	1,50	0,004	1,50	24,00	27,36	40	22,604	0,007	0,008	0,008	
	Caudalímetros	0,051	1,00	1,00	0,70	1,43	0,07	E	40,00	1,50	0,011	1,50	24,00	16,80	40	22,604	0,020	0,023	0,023	
	Turbidímetros	0,038	1,00	1,00	0,70	1,43	0,05	E	40,00	1,50	0,009	1,50	24,00	16,80	40	22,604	0,015	0,017	0,017	
	Conductímetros	0,031	1,00	1,00	0,70	1,43	0,04	E	30,00	1,50	0,005	1,50	24,00	16,80	40	22,604	0,009	0,010	0,010	
	Medidor de cloro	0,031	1,00	1,00	0,70	1,43	0,04	E	30,00	1,50	0,005	1,50	24,00	16,80	40	22,604	0,009	0,010	0,010	

Receptores circuito C3

Para el caso de los receptores alimentados por el transformador T3, de relación 400/24 V, del circuito C3A (el C3B ya se calculó previamente), los cálculos descritos en el presente apartado se resumen en la siguiente tabla:

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	IN CÁLCULO (A)	Fr	Fr*	Fag	Fc	IN CORREG (A)	TIPO INST.	L (m)	CONDUCTOR XLPE 0,6/1kV							CAÍDAS DE TENSIÓN			
										S INC	S CDT	S ELEG	I ADM	I COND	T SERV	CDT UNIT	CDT T-U	CDT T-C	CDT MAX	
										(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(m)	(m)	(m)	(V/km)	(%)	(%)	(%)	
C3A	Electroválvulas microfiltración	0,521	1,25	1,00	0,70	1,79	0,93	B2	56,00	1,50	1,473	1,50	25,00	17,50	40	22,604	2,747	2,946	2,946	
	Relés Fallo de tensión	0,139	1,25	1,14	1,00	1,10	0,15	E	2,00	1,50	0,011	1,50	24,00	27,36	40	22,604	0,026	0,021	0,026	

Líneas de los circuitos principales

En la tabla insertada a continuación se resumen los cálculos descritos en el presente apartado para los circuitos principales que componen el Esquema Unifilar.

De los circuitos C2 a C9, sólo en los C2 y C3 (remarcados en amarillo) se han realizado nuevos cálculos respecto a los ya realizados, puesto que en el resto los resultados son los mismos que los calculados para las líneas de alimentación a receptores; en algunos casos debido a que alimentan a un solo receptor, y, en aquellos casos en que alimentan a dos receptores, debido a que estos trabajan de forma simultánea.

En este caso se incluye la columna con el dato de la caída de tensión acumulada, CDT_{ACUMULADA}.

Nº CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	IN CÁLCULO (A)	Fr	Fr*	Fag	Fc	IN CORREG (A)	TIPO INST.	L (m)	CONDUCTOR XLPE 0,6/1kV							CAÍDAS DE TENSIÓN				
										S INC	S CDT	S ELEG	I ADM	I COND	T SERV	CDT UNIT	CDT T-U	CDT T-C	CDT MAX	CDT ACUM.	
										(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(m)	(m)	(m)	(V/km)	(%)	(%)	(%)	(%)	
C1	Línea general del cuadro	25,49	1,00	1,00	1,00	1,00	25,49	Aire	0,50	6,00	0,05	6,00	37,00	37,00	64	0,180	0,001	0,016	0,016	0,896	
C2	Transformador 400/230	5,17	1,25	1,14	1,00	1,10	5,66	E	2,00	2,50	0,04	2,50	33,00	37,62	41	14,852	0,036	0,037	0,038	0,880	
C3	Transformador 400/24	1,23	1,25	1,14	1,00	1,10	1,34	E	2,00	2,50	0,01	2,50	33,00	37,62	40	13,843	0,008	0,007	0,008	2,955	
C4	Compresor de aire 1	9,56	1,25	1,00	0,70	1,79	17,08	B2	35,00	4,00	0,91	4,00	30,00	21,00	50	9,240	0,773	0,342	0,773	0,773	
C5	Compresor de aire 2	9,56	1,25	1,00	0,70	1,79	17,08	B2	35,00	4,00	0,91	4,00	30,00	21,00	50	9,240	0,773	0,342	0,773	0,773	
C6	Secador frigorífico	2,23	1,25	1,00	0,70	1,79	3,98	B2	36,00	2,50	0,42	2,50	25,00	17,50	41	14,852	0,518	0,507	0,518	0,518	
C7	Bombas de alimentación a microfiltración	8,82	1,25	1,00	0,70	1,79	15,75	B2	27,00	6,00	0,70	6,00	37,00	25,90	46	6,592	0,392	0,352	0,392	0,392	
C8	Dosificadoras de hipoclorito sódico	0,75	1,25	1,00	0,70	1,79	1,33	B2	38,00	2,50	0,131	2,50	25,00	17,50	40	13,843	0,170	0,157	0,170	0,170	
C9	Dosificadoras de coagulante	0,75	1,25	1,00	0,70	1,79	1,33	B2	38,00	2,50	0,131	2,50	25,00	17,50	40	13,843	0,170	0,157	0,170	0,170	

6. CÁLCULO DE CORTOCIRCUITOS EN INTERRUPTORES

Para el cálculo de las intensidades de cortocircuito en diferentes puntos del circuito y a fin de obtener los valores de éstas que han de soportar los embarrados y los poderes de corte de los interruptores automáticos, se han aplicado las siguientes fórmulas:

$$I_{CC\ X} = \frac{U_s}{Z_{CC\ X}} = \frac{U_s}{(Z_{CC\ t} + Z_{cable} + Z_{elemento})}$$

$$Z_{CC\ t} = \frac{U_s}{I_{CCs}}$$

$$Z_{cable} = \sqrt{R_{cable}^2 + X_{cable}^2}$$

Siendo:

U_s = Tensión de fase de la red [V] = $400/\sqrt{3}$ V

$Z_{CC\ X}$ = Impedancia de cortocircuito a nivel del punto donde la queremos calcular [Ω]

$Z_{CC\ t}$ = Impedancia de cortocircuito del transformador [Ω]

I_{CCs} = Intensidad de cortocircuito del secundario del transformador [A] = 22.730 A

$Z_{elemento}$ = Impedancia de los equipos o embarrados aguas arriba [Ω]

Z_{cable} = Impedancia del cable aguas arriba [Ω]

R_{cable} = Resistencia total del cable [Ω]

X_{cable} = Inductancia total del cable [Ω]

$I_{CC\ X}$ = Intensidad de cortocircuito a nivel del punto donde la queremos calcular en valor eficaz [A]

La corriente de cresta se determina de forma aproximada como $1,8\sqrt{2}$ veces el valor eficaz de la corriente de cortocircuito, por lo que:

$$I_{cresta\ CC\ X} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{CC\ X}$$

Se ha tenido en cuenta que la impedancia de los conductores que unen el secundario del transformador y el cuadro de baja tensión del Centro de Transformación, CBT, así como del interruptor manual y los fusibles, es despreciable, por tanto, consideraremos que en la salida al

Sistema de Tratamiento Terciario, justo después de los fusibles, tendremos una intensidad de cortocircuito equivalente a la calculada para el secundario del transformador (punto A).

Para el cálculo de la impedancia de las líneas se han tomado los valores de resistencia y reactancia facilitados por el fabricante.

Para el cálculo de la impedancia de embarrados e interruptores automáticos se ha despreciado la resistencia de ambos y se ha tomado un valor de la reactancia de 0,15 Ω/km y de 0,15 Ω respectivamente (Manual teórico-práctico de Schneider).

En la siguiente tabla se reflejan los cálculos realizados:

PUNTO DEL CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	S ELEGIDA	RESISTENCIA R		REACTANCIA X		IMPEDANCIA Z	INTENSIDADES CORTOCIRCUITO		PDCINTERR/ IADM BARRAS	
				UNIT	TOTAL	UNIT	TOTAL		ICC eficaz	ICC cresta		ICU ef/ICW ef
				m	m m²	W/Km	W					
ICCA_PUNTO A	SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR T1							0,0102	22,73	57,86		
	LÍNEA SECUNDARIO-CUADRO DE BAJA TENSIÓN	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	ELEMENTOS CUADRO DE BAJA TENSIÓN DEL CT	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
ICCB_PUNTO B	SALIDA A TERCIARIO CBT DEL CT							0,0102	22,73	57,86		
	LÍNEA SUBTERRÁNEA BT	24	300	0,129	0,00310	0,080	0,0019	0,0036				
ICCC_PUNTO C	EMBARRADO PRINCIPAL B1							0,0138	16,73	42,59	50	
	EMBARRADO PRINCIPAL B1	0,6	300	0	0	0,150	0,0001	0,0001	---	---	---	
	1/2 LÍNEA GENERAL CUADRO	0,2	300	0	0	0,150	0,00003	0,00003	---	---	---	
ICCD_PUNTO D	BORNES INTERRUPTOR GENERAL AUTOMÁTICO							0,0241	9,59	24,41	30	
	INTERRUPTOR GENERAL AUTOMÁTICO		300	0	0	0,000	0,1500	0,1500	---	---	---	
	1/2 LÍNEA GENERAL CUADRO	0,2	300	0	0	0,150	0,00003	0,00003	---	---	---	
ICCE_PUNTO E	EMBARRADO B2							0,1981	1,17	2,97	6	
	EMBARRADO B2	0,6	300	0	0	0,150	0,0001	0,0001	---	---	---	
	LÍNEA BORNES INTERRUPTOR SUBCUADRO 1	0,5	300	0,129	0,0001	0,080	0,0000	0,0001	---	---	---	
ICCF1_PUNTO F1	BORNES INTERRUPTOR AUTOMÁTICO CIRCUITO SC1							0,2463	0,94	2,39	6	
	EMBARRADO B2	0,6	150	0	0	0,150	0,0001	0,0001	---	---	---	
	LÍNEA BORNES INTERRUPTOR SUBCUADRO 1	0,5	25	1,2	0,0006	0,080	0,0000	0,0006	---	---	---	
ICCF2_PUNTO F1	BORNES INTERRUPTOR AUTOMÁTICO CIRCUITO SC2							0,2468	0,94	2,38	6	

Los poderes de corte de los interruptores automáticos de los circuitos que componen el cuadro, tal y como se puede apreciar en el diagrama unifilar, se han elegido para valores superiores a los calculados, teniendo en cuenta el poder de corte último de los dispositivos según UNE-EN 60947-2, con lo que se cumplen sobradamente los requisitos y no es necesario afinar más el cálculo introduciendo la impedancia de los tramos de cable, y de los propios embarrados e interruptores, más allá del punto calculado en bornes de los interruptores de protección de las líneas a cada uno de los cuadros.

7. CÁLCULO DE LAS PROTECCIONES CONTRA SOBREENSIDADES

Los interruptores automáticos magnetotérmicos y los fusibles necesarios para la protección de los circuitos, se han elegido en base a las intensidades nominales de cálculo (en algunos casos según recomendación del fabricante), a las intensidades máximas admisibles en los conductores y a los poderes de corte precisos según los cálculos realizados en el apartado anterior. Ambos actuarán tanto contra sobrecargas como contra cortocircuitos y satisfacen las condiciones siguientes:

$$I_{NCÁLCULO} \leq I_P \leq I_{MAXCOND}$$

$$I_2 \leq 1,3 \cdot I_{MAX COND}$$

I_N CÁLCULO = Intensidad nominal de cálculo [A]

I_P = Intensidad nominal del dispositivo de protección [A]: para los automáticos regulables es la intensidad de regulación seleccionada

$I_{MAX COND}$ = Intensidad máxima admisible del conductor para sus condiciones particulares de instalación [A]

I_2 = Intensidad que asegura el funcionamiento del dispositivo de protección para el tiempo convencional (tiempo largo) [A]:

Para interruptores automáticos según UNE-EN 60947-2 = $1,3 \cdot I_P$

Para fusibles del tipo gG

= $1,6 \cdot I_P$	para $I_P \geq 16A$
= $1,9 \cdot I_P$	para $4A < I_P < 16A$
= $2,16 \cdot I_P$	para $I_P \leq 4A$

Para fusibles tipo gL = $0,9 \cdot I_P$

Los tiempos de corte en nuestro caso, inferiores a 5 s, para el calentamiento límite del cable se calculan por la siguiente fórmula:

$$\sqrt{t} = k \cdot \frac{S}{I}$$

Siendo:

S = Sección del conductor [mm²]

I = Intensidad de cortocircuito prevista en valor eficaz [A]

k = 135 para cables con conductores de cobre aislados con XLPE

t = tiempo de corte [s]

Los fusibles empleados son del tipo rápidos con denominación gF, o gL según norma UNE, que funden en 1 s para intensidades de 2,5 veces la intensidad de fusión.

Las curvas de disparo empleadas son: la C, para la protección de cables que alimentan a receptores clásicos, y la D, para la protección de cables que alimentan a receptores con fuertes puntas de arranque.

La coordinación entre los interruptores automáticos elegidos, la filiación y la selectividad, están aseguradas por el fabricante, ya que en su elección se han tenido en cuenta las tablas facilitadas por

el mismo. La combinación de un interruptor automático y un contactor seleccionados en base a sus intensidades nominales cumple, en la mayoría de los casos, los requisitos del tipo de coordinación de cortocircuito 2.

En las tablas insertadas a continuación se refleja el calibre de los interruptores automáticos magnetotérmicos y fusibles elegidos para la protección de la instalación, así como sus poderes de corte. En el caso de los interruptores automáticos con térmico regulable, el calibre asignado corresponde a la intensidad de regulación, es decir, al calibre estimado para la protección del circuito que alimenta.

En base a todas las consideraciones descritas, pasamos a continuación a definir las protecciones calculadas para cada uno de los cuadros del Sistema de Tratamiento Terciario.

LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN A RECEPTORES

Nº CIRCUITO	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS/FUSIBLES	I _N	I _P	I	PDC
		CÁLCULO		ADM	I _{cu}
FILTRACIÓN		(A)	(A)	(m)	(kA)
C8A-C8B	Bombas de alimentación a microfiltración	8,82	16,00	30,00	10,00
C4-C5	Compresores de aire	9,56	16,00	30,00	10,00
C6	Secador frigorífico	2,23	3,00	25,00	10,00
C27A-C27B	Dosificadoras de hipoclorito sódico	0,75	1,00	25,00	100,00
C26A-C26B	Dosificadoras de coagulante	0,75	1,00	25,00	100,00
EQUIPOS AUXILIARES DEL CUADRO					
C2A	Alumbrado, tomas de corriente y ventilación	3,73	10,00	25,00	10,00
C2B	PLC, Instrumentación, Pantalla táctil	2,12	10,00	25,00	10,00
C3A	Electroválvulas	10,64	12,00	25,00	10,00
C3B	Señalización y mando	9,72	10,00	25,00	10,00

7.1 RECEPTORES CIRCUITO C2

Sólo se reflejan los circuitos que cuentan con protección

Nº CIRCUITO	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS/FUSIBLES	I _N	I _P	I	PDC
		CÁLCULO		ADM	I _{cu}
FILTRACIÓN		(A)	(A)	(m)	(kA)
C2B	Módulo de señales PLC y conector Ethernet	6,008	6,000	24,00	10,000
	PC con pantalla táctil	3,333	6,000	24,00	10,000
	Fuente de alimentación 230 Vca/24Vcc	1,304	2,000	24,00	10,000
	Fuente de alimentación PLC	0,380	2,000	24,00	10,000
	Caudalímetros	0,051	1,000	24,00	0,035
	Turbidímetros	0,038	1,000	24,00	0,035
	Conductivímetros	0,031	1,000	24,00	0,035
	Medidor de cloro	0,031	1,000	24,00	0,035

7.2 RECEPTORES CIRCUITO C3

Sólo se reflejan los circuitos que cuentan con protección

Nº CIRCUITO	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS/FUSIBLES	IN	IP	I	PDC
		CÁLCULO		ADM	Icu
FILTRACIÓN		(A)	(A)	(m)	(kA)
C3A	Electroválvulas microfiltración	0,521	1,000	25,00	0,035

7.3 LÍNEAS DE LOS CIRCUITOS PRINCIPALES

Sólo en los C1, C2 y C3 (remarcados en amarillo) se han incluido nuevos datos respecto al cálculo anterior, puesto que en el resto los resultados son los mismos que los reflejados para las líneas de alimentación a receptores; en algunos casos debido a que alimentan a un solo receptor, y, en aquellos casos en que alimentan a dos receptores, debido a que estos trabajan de forma simultánea.

Nº CIRCUITO	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS/FUSIBLES	IN	IP	I	PDC
		CÁLCULO		ADM	Icu
FILTRACIÓN		(A)	(A)	(m)	(kA)
C1	Línea general del cuadro	25,49	32,00	37,00	16,00
C2	Transformador 400/230	5,17	12,00	33,00	3,00
C3	Transformador 400/24	1,23	3,00	33,00	6,00
C4	Compresor de aire 1	9,56	16,00	30,00	10,00
C5	Compresor de aire 2	9,56	16,00	30,00	10,00
C6	Secador frigorífico	2,23	3,00	25,00	10,00
C7	Bombas de alimentación a microfiltración	8,82	20,00	37,00	15,00
C8	Dosificadoras de hipoclorito sódico	0,75	1,00	25,00	100,00
C9	Dosificadoras de coagulante	0,75	1,00	25,00	100,00

8. CÁLCULO DE LAS PROTECCIONES DIFERENCIALES

El interruptor diferencial o dispositivo de corriente diferencial-residual es un elemento protector frente a contactos indirectos de todos los circuitos de la instalación interior.

La apertura del interruptor diferencial se produce cuando la corriente de fuga rebasa un valor determinado. Dicho parámetro define la sensibilidad del interruptor diferencial, pues cuanto mayor sea la sensibilidad más bajo es el valor de la corriente de fuga.

Por otro lado, el interruptor diferencial es un dispositivo de conmutación, luego posee una corriente asignada. Dicho valor deberá de coincidir con el de la corriente que atraviesa sus contactos en condiciones normales de consumo del circuito o circuitos que derivan de él.

La pareja de valores I/I_s , junto a su tensión nominal define básicamente un interruptor diferencial. Todos estos parámetros están normalizados.

Según la ITC-BT-17, si por el tipo o carácter de la instalación se instalase un interruptor diferencial por cada circuito o grupo de circuitos, se podría prescindir del interruptor diferencial general, siempre que queden garantizados todos los circuitos. En el caso de que se instale más de un interruptor diferencial en serie, existirá una selectividad entre ellos, que se garantiza si se cumple que:

- El tiempo de no-actuación del diferencial instalado aguas arriba deberá ser superior al tiempo de operación total del diferencial situado aguas abajo.
- La intensidad diferencial-residual del diferencial instalado aguas arriba deberá ser superior a la del diferencial situado aguas abajo.

Los valores de los equipos instalados quedan reflejadas en los planos de instalación eléctrica.

9. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

El objeto de la puesta a tierra de las masas de los receptores es asegurar la seguridad de las personas ante contactos indirectos. Como ya se ha comentado con anterioridad, el tipo de instalación sigue el esquema TT, por lo que en este tipo de instalaciones, la utilización de interruptores diferenciales es generalizada, siendo la máxima tensión que puede aparecer en las masas de los receptores (tensión de defecto), cuando ha habido un defecto a tierra, el producto de la máxima intensidad de defecto sin que actúe el diferencial por la resistencia de tierra.

Según la ITC-BT-24 se exige que la tensión de defecto sea inferior a la tensión límite de contacto convencional.

$$R_A \cdot I_a < U$$

Siendo:

R_A = Suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de las masas [Ω]

U = Tensión de contacto límite convencional más desfavorable.

I_a = Sensibilidad del dispositivo diferencial más desfavorable.

la resistencia máxima de puesta a tierra que podría alcanzarse en la instalación en el caso más desfavorable, es decir, al seleccionar la sensibilidad máxima regulable para las mismas, se obtiene de:

$$R_A = \frac{U}{I_a} = \frac{24V}{1A} = 24 \Omega$$

Siendo:

R_A = Suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de las masas [Ω]

U = Tensión de contacto límite convencional más desfavorable. Para locales clasificados como húmedos = 24 V

I_a = Sensibilidad del dispositivo diferencial más desfavorable = 1 A

Por este motivo, los dispositivos de protección y las secciones de los conductores se eligen de manera que si se produce en un lugar cualquiera el fallo de impedancia despreciable, entre un conductor de fase y el conductor de protección o un masa, el corte automático se efectúe en un tiempo igual, como máximo, al valor especificado en cumplimiento de lo establecido en la Tabla 1 de la ITC-BT 24.

Las tomas de tierra estarán enterradas como mínimo 0,5 m. para evitar que la pérdida de humedad o la presencia de hielo en las capas más superficiales del terreno les afecte, aunque se recomienda que el conductor esté enterrado al menos 0,8 m.

Tipo de electrodo

Cuando se prevea la necesidad de disminuir la resistencia de tierra que pueda presentar el conductor en anillo, se deberá de conectar a él electrodos verticalmente hincados en el terreno.

En general, las dimensiones mínimas recomendadas para los electrodos de puesta a tierra son las especificadas en la siguiente tabla:

Tipo de electrodo		Dimensión mínima
Pi cas	Barras	Ø >14,2 mm (acero-cobre 250 µ)
		Ø >20 mm (acero galvanizado 78 µ)
	Perfiles	Espesor >5 mm
		Sección > 350 mm ²
Tubos	Ø _{ext} >30 mm	
	Espesor >3 mm	
PI acas	Rectan gular	1 m x 0,5 m
		Espesor >2 mm (cobre)
		Espesor >3 mm (acero galvanizado)

	78 μ)
	1 m x 1m
cuadra	Espesor >2 mm (cobre)
da	Espesor >3 mm (acero galvanizado)
	78 μ)
Conductor desnudo	35 mm ² (cobre)

Bornes o puntos de puesta a tierra

Habrá uno o varios bornes o puntos de puesta a tierra, dónde se conectarán los conductores de protección procedentes de las masas metálicas de los receptores, y los conductores de uniones equipotenciales de canalizaciones metálicas, depósitos, etc.

Resistencia de tierra

El electrodo se dimensiona de forma que su resistencia de tierra no sea superior al valor especificado para ella en cada caso. Este valor debe ser tal que para cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en locales o emplazamientos conductores.
- 50 V en los demás casos.

La resistencia del electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Este valor se puede calcular a partir de las expresiones dadas en la siguiente tabla, estimando un valor medio local de la resistividad del terreno.

ELECTRODO	RESISTENCIA DE TIERRA (OHM· M)
Placa enterrada	$R = \frac{0,8 \cdot \rho}{P}$
Pica vertical	$R = \frac{\rho}{L}$

Conductor enterrado horizontal	$R = \frac{2 \cdot \rho}{L}$
Siendo:	
ρ: resistividad del terreno (ohm· m).	
P: perímetro de la placa (m).	
L: longitud de la pica o del conductor (m).	

La clase de suelo a considerar es de una resistividad media de 2.250 Ω·m, típica de zonas volcánicas y basálticas.

La instalación de puesta a tierra está realizada de acuerdo con las ITC-BT-18 e ITC-BT-26.

El cable de toma de tierra procede de la red de tierra de la edificación y tiene una sección de 16 mm². La toma de tierra está realizada con una pica vertical de acero cobreado de 300 micras de espesor del recubrimiento y 2 m. de longitud.

Los puntos de puesta a tierra se situarán en el exterior de la parcela.

Cálculos realizados:

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra de la instalación se realiza según la ITC-BT-18.

Se instalará una pica vertical aislada con una longitud de 2m, por lo que la resistencia de puesta a tierra tendrá un valor de:

$$R = \frac{\rho}{L} = \frac{50}{2} = 25\Omega$$

El valor de resistividad del terreno supuesta para el cálculo es estimativo y no homogéneo. Deberá comprobarse el valor real de la resistencia de puesta a tierra una vez realizada la instalación y proceder a las correcciones necesarias para obtener un valor aceptable si fuera preciso.

Conductores de protección

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

Luego todos los receptores se pondrán a tierra mediante conductores de cobre, con el mismo grado de aislamiento que los conductores activos y dispuestos en las mismas canalizaciones que éstos.

Las secciones de los conductores de protección se encuentran en tabla, estipuladas por la instrucción complementaria en función de las secciones de los conductores activos. Cuando los conductores activos poseen una sección inferior a 16 mm^2 , los conductores de protección poseen la misma sección, siendo el valor mínimo de $2,5 \text{ mm}^2$. Cuando la sección de los conductores activos varía entre los 16 y 35 mm^2 , la sección de los conductores de protección es igual a 16 mm^2 . Y, por último, cuando los conductores activos poseen secciones mayores de 35 mm^2 , los conductores de protección tendrán una sección igual a la mitad de la sección de los conductores activos.