

ANEJO NÚM. 7

CÁLCULOS ELÉCTRICOS

1.- INTRODUCCIÓN

El objeto de este anejo es describir las instalaciones eléctricas que se ejecutarán en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.) para municipio de 625 habitantes.

Las instalaciones a realizar fundamentalmente son las siguientes:

E.D.A.R.:

- Centro de Transformación.
- Alimentación desde la Estación Transformadora.
- Cuadro General de Distribución en B.T.
- Líneas de Distribución de Fuerza y Alumbrado.
- Instalación de Alumbrado Normal y Emergencia.
- Red de tierras.

2.- ACOMETIDA ELÉCTRICA

La acometida de M.T. a la E.D.A.R. se realizará desde una línea aérea de 20 kV existente de C.S.E. situada a unos 190 m de la parcela de la E.D.A.R. por lo que será necesario una derivación de la misma, dicho trabajo lo realizará la compañía suministradora, Sevillana-Endesa.

La línea será aérea hasta el borde de la parcela, donde se instalará el transformador y se hará subterránea la acometida al CCM.

La línea será de circuito único y trifásica.

3.- CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

El transformador se instalará en poste, las celdas de protección y medida, y transformador de potencia se ubicarán en el mismo. El modelo de transformados es del tipo prefabricado en superficie de la empresa Ormazabal, modelo PF.

3.1.- CÁLCULO DE LA DEMANDA DE POTENCIA

En los cuadros adjuntos al final de este anejo figuran la relación de receptores con las características relativas a potencias instalada, potencia activa y simultánea en cada CCM.

El concepto de **potencia instalada** es obvio, considerando esta como la suma de las potencias de todos los elementos presentes.

La **potencia activa** se refiere a la suma de los elementos activos, sin incluir los de reserva.

En la **potencia simultánea** se han descontado además de los elementos de reserva aquellos elementos de funcionamiento en caso excepcional o en ocasión de operaciones de mantenimiento (equipos de aislamiento de líneas o aparatos, polipastos o elementos de elevación en general y parte de la potencia de servicio).

La potencia total de servicio viene dada por una suma de todas las potencias

simultaneas en cada plata (suma de los CCM y cuadros de servicios).

De la experiencia en otras plantas y debido a la configuración de las maquinas de mas consumo,debemos aplicar un coeficiente de simultaneidad global de 1.

Por posibles errores y de cara a posibles ampliaciones mayoramos en un 25%.

En los cuadros adjuntos al final de este anejo pueden comprobarse estos cálculos. A modo de resumen la potencia necesaria en transformación es:

- Potencia total en servicio. 14'80 kW
- Coeficiente de simultaneidad. 1
- Potencia simultánea. 14'80 kW
- Coeficiente de mayoración. 25%
- Potencia mayorada.18'50 kW
- Coseno de ϕ0'85
- Potencia necesaria en transformación.21'76 kVA
- Transformador elegido. 50 kVA

Estos transformadores responden a las siguientes características:

Datos del Transformador	
Potencia de Transformador 1 (kVA)	50 kVA
Tensión Primaria de Transformador 1	20 kV
Tipo de Aislamiento de Transformador 1	Aislamiento con aceite
Celda de Protección del Transformador 1	Protección de transformador con Fusibles
Relé de Protección de Transformador 1	Sin relé
Protección Propia del Transformador 1	Sin protección propia
Tensión Secundaria del Transformador 1	420 V en vacío (B2)
Número de Salidas B2 del Transformador 1	4 salidas con fusibles
Protección Física del Transformador 1	Protección sin cerradura
Edificio	
Modelo Edificio Centro de Transformación	PF
Red de Tierras	
Separación de Tierras	Se separan
Tierras Edificio de Transformación	
Tipo de Red de Tierras de Protección	Asignación automática
Tipo de Red de Tierras de Servicio	Asignación automática
Resistividad del Terreno (Ohm.m)	50.0

Consultar el anejo correspondiente sobre el proyecto del centro de transformación.

3.2.- CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

Para el cálculo de la potencia e intensidad de cortocircuito en el sistema de baja tensión 400 V, partimos de la potencia de cortocircuito y tensión nominal estimados en la alimentación de media tensión. Consultar datos de anejo de cálculo del transformador.

4.- CUADROS DE BAJA TENSIÓN

Se ha previsto un cuadro general de distribución en 400 V. situado en el edificio de C.C.M., al que se acometerá, mediante interruptor automático, desde el transformador y se realizarán las salidas a motores, que incluirán cortacircuitos fusibles y contactor o arrancador estrella-triángulo, según los casos. Las salidas a otros servicios, alumbrado, tomas de corriente

y otros estarán equipadas con interruptor magnetotérmico y diferencial.

5.- CABLES DE BAJA TENSIÓN

5.1.- NORMAS GENERALES DE APLICACIÓN

Los cables de alimentación a cuadros y a motores se han dimensionado teniendo en cuenta lo especificado por el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión en las siguientes instrucciones:

- RBT ITC 047. Los conductores que alimenten a un solo motor deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125 por 100 de la intensidad a plena carga del motor en cuestión.

Los conductores que alimentan a varios motores deberán estar dimensionados para una intensidad no menor a la suma del 125 por 100 de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia más la intensidad a plena carga de todos los demás.

- RBT ITC 007 - Tabla 7.12. Intensidad máxima admisible en amperios para cables aislados con conductores de cobre, instalados al aire (servicio permanente) $t = 40^{\circ}\text{C}$. Se ha considerado el caso de un cable tripolar o tetrapolar con aislamiento de polietileno reticulado XLPE, designación UNE RV 0'6/1 kV.

Los cables se instalarán tendidos sobre bandeja perforada, en una sola capa, o bajo tubo de PVC.

Los factores de reducción sobre la intensidad máxima admisible, dados en la tabla 7.12, deben corregirse, según el apartado 3.1.4.2.2. de RBT ITC 007 debe contemplarse la tabla 7.13, y nos da, teniendo en cuenta una temperatura de servicio de 90°C :

- Factor de corrección: 0,84

Se ha considerado el factor de reducción de 0'8 como más restrictivo.

- RBT ITC 019. 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 del 3% de la tensión nominal en el origen de la instalación, para alumbrado y del 5% en los demás casos.

Los cables se han calculado por densidad de corriente y por caída de tensión.

5.1.1.- CÁLCULO POR DENSIDAD DE CORRIENTE.

La intensidad se ha obtenido de las fórmulas:

- Para líneas trifásicas.

$$I_n = \frac{K \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \alpha}$$

- Para líneas monofásicas.

$$I = \frac{P}{U}$$

Donde:

I = Intensidad de corriente en amperios.

K = Coeficiente de carga. (1'8 para lámpara de descarga, 1 para las demás cargas).

U = Tensión de servicio, en voltios. (400 V para líneas trifásicas, 220 V para líneas monofásicas).

$\cos \varphi = 0'8$

Los conductores proyectados son de los tipos siguientes:

- Cables de transformador a C. General de Distribución: RVFV-0'6/1 kV.
- Cables de C. General de Distribución a CCM de Fuerza: RVFV-0'6/1 kV.
- Cables de CCM de Fuerza a motores y equipos: RVFV-0'6/1 kV.

Para los cables instalados al aire, esto es, los que discurren por canales de fábrica o por bandejas, se ha aplicado el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Instrucción RBT ITC 007, epígrafe 3, Intensidades máximas admisibles".

Las tablas a aplicar son las siguientes:

TABLA 7.12.- Intensidad máxima admisible en amperios para cables aislados con conductores de cobre, instalados al aire.
(Servicio permanente T = 40°C.

Sección nominal (mm ²)	Un terno de cables unipolares (Aislamiento polietileno reticulado)	Un cable tripolar o tetrapolar (Aislamiento polietileno reticulado)
6	46	44
10	64	61
16	86	82
25	120	110
35	145	135
50	180	165
70	230	210
95	285	260
120	335	300
150	385	350
185	450	400
240	535	475

Se aplicarán los factores de corrección, TABLA 7.14. y 7.15., de la intensidad máxima admisible por agrupaciones de cables aislados y trifásicos en bandeja perforada.

TABLA 7.13.- Factores de corrección de la intensidad máxima admisible en función de la temperatura ambiente.

Tipo de Aislamiento	Temperatura °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
R	1'26	1'22	1'18	1'14	1'10	1'05	1'00	0'95	0'90

Para cables instalados bajo tubo, tanto si éste se instala al aire o empotrado o en huecos de la construcción, etc., el factor de corrección será de 0'80

Para los cables enterrados en zanja, las tablas a aplicar en este caso son las siguientes:

TABLA 7.5.- Intensidad máxima admisible en amperios para cables con conductores de cobre, en instalación enterrada. (Servicio permanente).

Sección nominal (mm ²)	Un terno de cables unipolares (Aislamiento polietileno reticulado)	Un cable tripolar o tetrapolar (Aislamiento polietileno reticulado)
6	72	66
10	96	88
16	125	115
25	160	150
35	190	180
50	230	215
70	280	260
95	335	310
120	380	355
150	425	400
185	480	450
240	550	520

TABLA 7.8.- Factores de corrección para varios cables enterrados en la misma zanja, y d=0

Número de cables o de ternos.	Factor de corrección.
2	0'80
3	0'70
4	0'64
5	0'60

TABLA.7.6.- Factores de corrección de la intensidad máxima admisible en función de la temperatura del terreno.

Tipo de Aislamiento	Temperatura °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
R	1'11	1'07	1'04	1'00	0'96	0'92	0'88	0'83	0'78

Para un cable o terno instalado en un tubo directamente enterrado, el factor de corrección de la intensidad máxima admisible será de 0'80.

Asimismo se ha cumplido la Tabla 19.1, de la citada instrucción RBT ITC 019, referente a las secciones mínimas de los conductores de protección en función de los conductores de fase respectivos.

TABLA 19.1.- Conductores de protección.

Sección del conductor de fase de la instalación (mm²).	Sección mínima del conductor de protección (mm²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Como secciones mínimas de conductores se han adoptado las siguientes:

- Cables de alimentación a Motores: 2'5 mm², en caso de ir enterrados 6 mm².
- Cables de alimentación a Cuadros locales de alumbrado: 6 mm².
- Cables de alimentación a tomas de corriente: 2'5 mm².
- Cables de alimentación a puntos de alumbrado: 1'5 mm².
- Cables de alimentación a alumbrado exterior: 6 mm².
- Cables de mando y control: 1'5 mm².

5.1.2.- CÁLCULO POR CAÍDA DE TENSIÓN.

La caída de tensión se ha calculado por las fórmulas:

$$\Delta U = \frac{K \cdot P \cdot L}{C \cdot S \cdot U} \quad (\text{para líneas trifásicas})$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot K \cdot P \cdot L}{C \cdot S \cdot U} \quad (\text{para líneas monofásicas}).$$

Donde:

ΔU = Caída de tensión del tramo en voltios.

K = Coeficiente por tipo de carga (1'8 para lámparas de descarga, 1 para las demás cargas).

P = Potencia activa transportada, en vatios.

L = Longitud de la línea en metros.

C = Conductibilidad del cobre: 56 m./ Ohm m².

S = Sección del conductor de fase en mm².

U = Tensión entre frases en voltios (400 V para líneas trifásicas, 220 V para líneas monofásicas).

Como caída de tensión máxima admisible se ha tomado el 5% para fuerza, y el 3% para alumbrado, de acuerdo con el estipulado en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, habiéndose efectuado el siguiente reparto de dicha caída de tensión:

- Distribución de fuerza.

▪ De C. general de distribución a CCM de fuerza.	2'0%
.....	.
▪ De CCM de fuerza a motores.	3'0%
.....	.
TOTAL.	5'0%.

- Distribución de alumbrado a edificios.

▪ De C. general de distribución a C. general de alumbrado.	0'5%
.....	.
▪ De C. general de alumbrado a cuadros locales.	1'0%
.....	.
▪ De C. local de alumbrado a receptores.	1'5%
.....	.
TOTAL.	3'0%.

- Distribución de alumbrado exterior.

- De C. general de distribución a C. general de alumbrado.	0'5%
.....	.
- De C. general de alumbrado a receptores.	2'5%
.....	.

TOTAL.

3'0%.

5.2.- CABLES DE ALIMENTACION A CUADROS SECUNDARIOS

Partimos de la máxima intensidad de cortocircuito calculada en baja tensión en el centro de transformación.

El poder de limitación de los interruptores automáticos previstos se traduce en su capacidad de dejar pasar, durante un cortocircuito, una intensidad de defecto muy inferior a la calculada.

La sollicitación térmica en los cables (en A²s) limitada en función del valor eficaz de la corriente de cortocircuito no requiere sobredimensionar estos por condiciones de cortocircuito.

A continuación se comprueba la carga admisible por densidad de corriente y la caída de tensión en cada una de las alimentaciones a cuadros secundarios.

Las potencias que se consideran en el cuadro al final de este desarrollo son las simultáneas calculadas en el balance de potencias, incrementadas en el 25% del motor de mayor potencia alimentado por el cuadro. La intensidad admisible por el cable está reducidas en un 20% por condiciones de instalación.

5.3.- CABLES DE ALIMENTACION A MOTORES

Todos los cables de alimentación a motores de pequeña potencia serán tetrapolares, es decir, el conductor de tierra forma parte del propio cable. Esta disposición está justificada por tratarse de pequeños motores que no requieren grandes secciones de cable para su alimentación, resultando un tipo de instalación más estética y de menor costo que si lleváramos el cable de tierra independiente a cada motor. Esta forma de instalación está recomendada por la propia instrucción RBT ITC 019.

Para los cables que se instalen en canalizaciones subterráneas fuera de los edificios, la sección mínima será de 6 mm².

La sección que aparece en los detalles de cálculos del final de este documento son orientativos de la sección mínima necesaria desde el punto de vista eléctrico, pero la sección mínima a instalar en este tipo de cables será de 2,5 mm² en interior de edificios y de 6 mm² en las canalizaciones subterráneas.

Por otra parte, al estar todos los cables de alimentación a motores protegidos por cortacircuitos fusibles de alta capacidad de ruptura, con tiempos de corte inferiores a un semiperíodo y curva limitadora de corriente de cortocircuito, no es necesario tener en cuenta esta condición en su dimensionado.

5.4.- CABLES DE ALUMBRADO VIALES

De acuerdo con lo establecido en la RBT ITC 009 sobre "instalaciones de alumbrado exterior", por tratarse de lámparas de descarga, las redes están previstas para transportar la carga debida a los propios receptores, a sus elementos asociados y a sus corrientes armónicas. La carga prevista en voltamperios es de 1'8 veces la potencia en vatios de las lámparas de descarga que alimenta.

Tal como establece la misma norma, la sección mínima prevista en instalación

subterránea, es de 6 mm² en redes subterráneas.

Se ha comprobado que con esta sección, la caída de tensión en el circuito de mayor carga y longitud es inferior al 3% de la tensión nominal en el origen de la instalación.

6.- CÁLCULO DE LA RED GENERAL DE TIERRA

La red de tierras se ha proyectado en base a los siguientes elementos:

- Picas de acero cobrizado de 2'00 m de longitud.
- Cable de cobre desnudo de 50 mm. de sección.
- Sensibilidad de los interruptores de protección diferencial de la instalación de fuerza 300 mA.

Para el proyecto de la red de tierras se ha considerado el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Instrucción ITC 018, "Instalaciones de puesta a tierra" y, para los cálculos, el epígrafe 9, "Resistencia de las tomas de tierra", en el que se dan, en la tabla 18.3, los valores medios de la resistividad del terreno y de la resistencia de tierra para diversos electrodos.

TABLA 18.3.- Valor medio de la resistividad del terreno.

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad ohm. m.
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos.	50
Terraplenes cultivables poco fértiles, terraplenes.	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables.	3.000
.....	

TABLA 18.4.- Resistencia de tierra de diversos electrodos.

Electrodo	Resistencia de tierra (Ohmios)
- Placa enterrada.	$R=0'8 \times R_s / P$
- Pica vertical.	$R = R_s / (n \times L)$
- Conductor enterrado horizontalmente.	$R = 2 \times R_s / L$

Donde:

R_s = Resistividad del terreno en Ohmios. m.

P = Perímetro de la placa en m.

- L = Longitud de la pica o del conductor en m.
 N = Número de picas.

Aplicando las tablas anteriores tenemos:

- Resistencia de las picas:

$$R_1 = \frac{R_s}{nL_1} = \frac{50 \text{ ohm.m.}}{1 \times 2 \text{ m.}} = 25 \text{ ohm.}$$

- Resistencia del cable:

$$R_2 = \frac{2R_s}{L_2} = \frac{2 \times 50 \text{ ohm.m.}}{10 \text{ m.}} = 10 \text{ ohm.}$$

La resistencia equivalente de dos resistencias en paralelo es:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Por tanto, tenemos:

$$R_{eq} = \frac{25 \times 10}{25 + 10} = 7'14 \text{ ohm.}$$

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

$$U = I_s \cdot R_{eq}$$

Donde:

U = Tensión en voltios.

I_s = Intensidad máxima de defecto a tierra o sensibilidad de disparo de la protección diferencial, en amperios.

R_{eq} = Resistencia equivalente de la red de tierras, en ohmios.

Aplicando:

$$U = 0'3 \text{ A} \times 7'14 \text{ ohm.} = 2'14 \text{ V.}$$

Como se puede ver, esta tensión es perfectamente admisible y no constituye peligro alguno para las personas.

TABLAS DE CÁLCULO

POTENCIAS

CONSUMIDORES	Tipo	Potencia (kW)	Instalados	Activos	Simultaneo	L(m)	Pot. Inst. (kW)	Pot. Acti. (kW)	Pot. Simu. (kW)
CCM1									
Reja automática rotativa de gruesos	M	0,25	1	1	1	23,00	0,25	0,25	0,25
Reja automática rotativa de finos	M	0,25	1	1	1	23,00	0,25	0,25	0,25
Caudalimetro			1			2,50			
Biodiscos rotativos (trat. biológico).	M	6,00	1	1	1	4,00	6,00	6,00	6,00
Decantador secundario.	M	0,25	1	1	1	8,00	0,25	0,25	0,25
Bombas de recirculación (tornillo).	M	4,00	2	2	1	25,00	8,00	8,00	4,00
Bombas de fangos en exceso (tornillo)	M	1,10	2	2	1	25,00	2,20	2,20	1,10
Bomba de vaciados.	M	0,55	2	1	1	24,00	1,10	0,55	0,55
TOTAL CCM-1							18,05	17,50	12,40
CUADROS DE SERVICIO									
Alumbrado interior	A	0,10	2	2	2	15,00	0,20	0,20	0,20
Tomas de corriente	M	0,10	2	2	2	15,00	0,20	0,20	0,20
Alumbrado exterior	A	1,00	2	2	2	40,00	2,00	2,00	2,00
TOTAL SERVICIOS							2,40	2,40	2,40
TOTAL:							20,45	19,90	14,80

SECCIONES

CUADRO DE SECCIONES

CABLES A CONSUMIDORES	Tipo	E	Cos q	V	n	Ical	CABLE	Iadm	L(m)	AV	AV%	AV% Acum.
CCM1												0,40
Reja automática rotativa de gruesos	M		0,25	0,85	0,38	0,45	0,566,00	35,20	23,00	0,040,01		0,41
Reja automática rotativa de finos	M		0,25	0,85	0,38	0,45	0,566,00	35,20	23,00	0,040,01		0,41

Caudalimetro

Biodiscos rotativos (trat. biológico).	M	6,00	0,85	0,38	10,72	13,416,00	35,20	34,00	1,570,41	0,81
Decantador secundario.	M	0,25	0,85	0,38	0,45	0,566,00	5,20	18,00	0,030,01	0,40
Bombas de recirculación (tornillo).	M	4,00	0,85	0,38	7,15	8,946,00	35,20	25,00	0,770,20	0,60
Bombas de fangos en exceso (tornillo)	M	1,10	0,85	0,38	1,97	2,466,00	35,20	25,00	0,210,06	0,45
Bomba de vaciados.	M	0,55	0,85	0,38	0,98	1,236,00	5,20	24,00	0,100,03	0,42

CUADROS DE
SERVICIO

Alumbrado interior	A	0,10	1,00	0,22	0,26	0,261,5	5,20	15,00	0,020,01	0,34
Tomas de corriente	M	0,10	0,85	0,38	0,18	0,222,5	35,20	15,00	0,010,00	0,33
Alumbrado exterior	A	1,00	1,00	0,22	2,62	2,626,00	35,20	40,00	0,610,28	0,61