

## ANEJO Nº 10. DRENAJE Y BOMBEO



TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DE AMPLIACIÓN SUR DE LA LÍNEA 11 DEL METRO DE MADRID

DOCUMENTO
ANEJO Nº 10. DRENAJE Y BOMBEO

CONTROL DE EDICIONES		
VERSIÓN	FECHA	OBSERVACIONES
1.0	10/09/2025	



ANEJO Nº 10. DRENAJE Y BOMBEO

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....	1
2	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	1
3	CRITERIOS DE DISEÑO .....	2
4	CAUDALES ESTIMADOS.....	3
4.1	ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE INFILTRACIÓN.....	3
4.2	CAUDAL ASOCIADO A ESCORRENTÍA SUPERFICIAL .....	4
4.3	CAUDAL TOTAL .....	5
5	COMPROBACIÓN HIDRÁULICA DE LOS ELEMENTOS DE DRENAJE .....	7
6	SISTEMA DE BOMBEO .....	8

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 - DETALLE DEL DRENAJE EN TÚNEL .....	1
--	---

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 - Caudal de infiltración. Alternativa 1.....	3
TABLA 2 - Caudal de infiltración. Alternativa 2.....	4
TABLA 3 - Caudal de infiltración. Alternativa 3.....	4
TABLA 4 - Caudal total de drenaje. Alternativa 1 .....	5
TABLA 5 - Caudal total de drenaje. Alternativa 2 .....	6
TABLA 6 - Caudal total de drenaje. Alternativa 3 .....	6
TABLA 7 - Comprobación hidráulica .....	7
TABLA 8 - Caudales y puntos de bombeo .....	8



## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO

En el presente anejo se definen los principales elementos de recogida del caudal vertiente en la infraestructura proyectada, además de calcularse los caudales esperados en los distintos puntos de recogida.

En cuanto al caudal recogido, se consideran dos posibles orígenes diferenciados:

- En primer lugar, el caudal originado por las precipitaciones. Es el caudal que puede penetrar en el interior del túnel a través de las rejillas expuestas a cielo abierto.

Tal circunstancia se presenta en los pozos de ventilación, pozos de compensación, salidas de emergencia y en la estación.

- En segundo lugar, el caudal de infiltración derivado de aguas de origen freático que figuran en la zona de actuación.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema de drenaje cumple con la finalidad de recoger los aportes de agua al túnel, antes mencionados, y conducir el caudal resultante a un pozo de bombeo para su evacuación hasta el punto de vertido final (desagüe).

Los flujos de agua procedentes del terreno que se infiltran a lo largo del túnel, llegan hasta la parte baja de ambos hastiales o laterales del túnel, y en dicha zona se realiza la captación del agua mediante una canaleta longitudinal. Esta canaleta está formada por un rebaje en el hormigón, con sección de “media caña” o sección semicircular de diámetro 150 mm.

Estos caudales son conducidos a lo largo del túnel en tramos de reducida longitud, ya que cada 10 metros se dispone una canaleta transversal de las mismas dimensiones que las laterales (media caña de 150 mm) que comunica estas conducciones laterales con una canaleta principal de recogida que se sitúa en la parte central de la sección del túnel.

La canaleta central, de sección rectangular, tiene unas dimensiones de 230 mm de anchura y una profundidad variable, pudiendo alcanzar una media de 1,0 metros de profundidad. Dicha canaleta, es registrable a lo largo de toda su longitud ya que va cubierta por una rejilla metálica fabricada en “tramex”, que se apoya sobre perfilera metálica lateral de 250 mm de anchura y longitudes de 1 metros, pudiendo levantarse de manera independiente cada una de ellas para

registro y limpieza de la canaleta central.

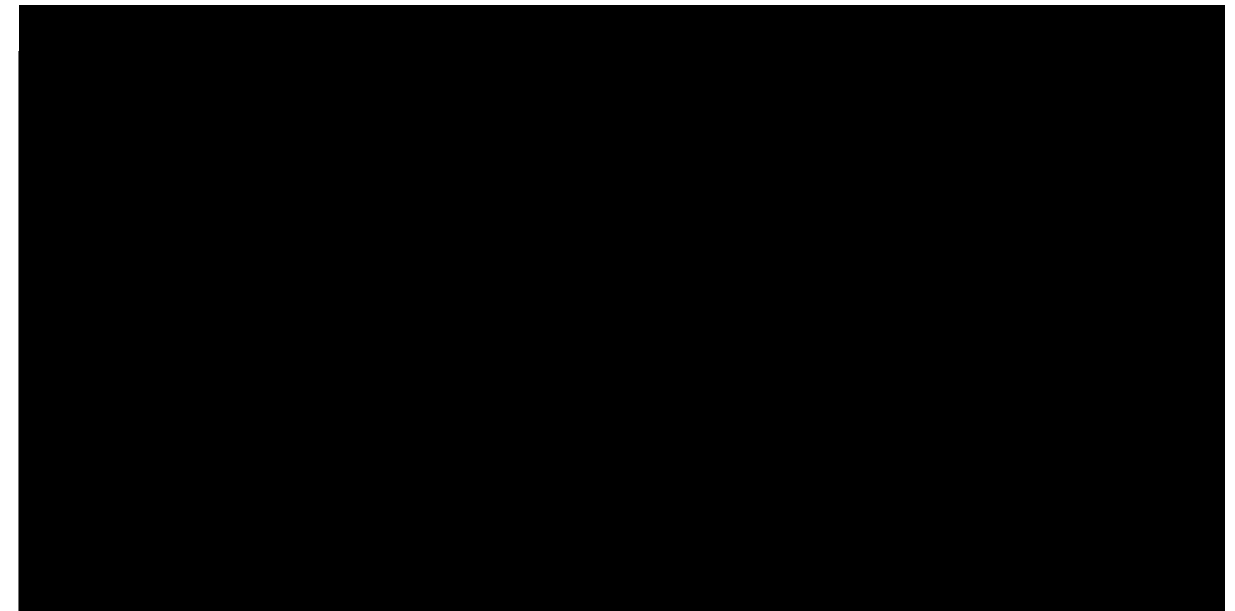


ILUSTRACIÓN 1 - DETALLE DEL DRENAJE EN TÚNEL

La canaleta central discurre longitudinalmente por el túnel hasta alcanzar los puntos bajos del trazado, en los que se ubica una arqueta central, desde la que se efectúa la comunicación con la balsa o depósito de decantación que se sitúa en las galerías de cada pozo de bombeo.

En dichos puntos se realiza el vertido de los caudales de infiltración del túnel. Finalmente las aguas recogidas por precipitación e infiltración se bombea y conducen hasta el punto de vertido final que se considere en cada caso.

El drenaje de los pozos de ventilación, compensación y salidas de emergencia, se realiza mediante un canal de desagüe que con la inclinación requerida se une a la canaleta central que va en longitudinal y por tanto se introduce este drenaje junto con el del túnel hasta el pozo de bombeo. Se ha previsto la instalación de columna seca para lo cual se dispone en el exterior una arqueta para uso de bomberos y dotar a los pozos de acceso para ellos.

En las estaciones, las aguas que se filtran se recogen a través de una canaleta perimetral que se ejecuta en los diferentes forjados, en la zona de conexión de cada nivel con las pantallas verticales. Se dejarán bajantes de 160 mm de diámetro en los puntos bajos, por lo que habrá que prever los pasatubos correspondientes. Los puntos bajos estarán a más profundidad que los fosos de ascensores.

Estas canaletas se ubican en la denominada “cámara bufa” que es el hueco o sección existente

entre el propio paramento de las pantallas estructurales y los paneles decorativos o de fábrica que constituyen el límite perimetral de la estación delimitando los pasillos o estancias en los que se realiza la circulación de los viajeros habitualmente. Estas cámaras serán accesibles para mantenimiento y limpieza.

Las canaletas de recogida perimetral van conectándose con los niveles inferiores a través de las mencionadas bajantes que atraviesan las losas mediante pasatubos habilitados en los bordes para tal fin.

Finalmente se produce la recogida de aguas en el nivel inferior de la estación y todos los caudales son recogidos en una arqueta. Desde dicha arqueta se realiza una conducción hasta el pozo de bombeo desde el cual se realizará el bombeo de los caudales para ser conducidos hasta el punto de vertido final (que se considere en cada caso).

Las aguas de limpieza de andenes o baldeos de estación se suelen verter a la plataforma de vías. En la plataforma se produce el traslado de dichas aguas hacia la canaleta central que es una prolongación del sistema de drenaje del túnel y en consecuencia se conectan ambos sistemas pudiendo transferirse dichas aguas hasta el túnel o si la estación es un punto bajo se transferirán hacia la arqueta de recogida de la estación.

### 3 CRITERIOS DE DISEÑO

Para el diseño de la red de drenaje se han seguido en todo momento los siguientes criterios generales empleados para el drenaje de túneles:

- Los pozos de bombeo y las salidas de emergencia, pese a tener acceso al exterior, están aisladas mediante trampillas confinadas, con mecanismo hidráulico de apertura, que solo se abren en caso de emergencia o para dar acceso a personal cualificado. Además, presentan a su alrededor canaletas de drenaje que recogen las aguas de lluvia que pudieran llegar a dicho punto. Por ello, en el presente Estudio Informativo, a efectos de drenaje, se consideran como elementos estancos.
- Los pozos de ventilación tienen una rejilla que permite la entrada de aire desde el exterior al túnel. En consecuencia, esta estructura tiene que estar diseñada para recoger el agua de lluvia que se infiltra por ella. Considerando un área tributaria entorno al pozo de ventilación de 225 m<sup>2</sup>.
- No se tiene en consideración el caudal que pueda entrar por las bocas de acceso a las estaciones proyectadas, ya que su diseño no lo permite, al estar, en principio, cubiertas.
- Las pendientes mínimas en la red de drenaje serán del 0,5%
- Se adopta T=50 años como periodo de retorno para el cálculo del caudal originado por las precipitaciones que puedan acceder por las rejillas en superficie.
- En tramos cuyo punto bajo se encuentra en el ámbito de la estación, el desagüe de caudales se realizará a través de una estación de bombeo localizado dentro de la propia estación, siendo definida con detalle en la fase de Proyecto.

Se señala que todas las alternativas tienen un punto de inicio común, que es el final del Fondo de Saco de Final de Línea 11. Este elemento es un tramo de túnel ya construido, que conecta el Depósito de Cuatro Vientos (Cocheras de Línea 11) con la Estación de La Fortuna de Línea 11. En este tramo de túnel, se va a implementar un nuevo pozo de ventilación localizado en terrenos de Cocheras de Línea 11. Analizado el trazado en alzado del túnel, tanto el caudal de infiltración como el caudal de pluviales (relativos al nuevo pozo de ventilación), se incorporan a la red de drenaje existente y no al túnel de línea de las Alternativas consideradas. Se estima que el incremento de caudales sobre la red de drenaje existente es de reducida entidad, por lo que sistema del Fondo de Saco de Final de Línea 11 posee capacidad suficiente para su evacuación.



Actualmente, el Fondo de Saco de Final de Línea 11 (bajo rasante) se conecta con el Depósito de Cuatro Vientos (en superficie), mediante un ramal ya construido en vía doble. Los túneles de línea de las tres alternativas planteadas conectan el Depósito de Cuatro Vientos mediante un nuevo ramal en vía única, denominado Ramal de Cocheras. Dicho Ramal discurre inicialmente por un tramo a cielo abierto, y finalmente por otro tramo bajo la superficie del terreno (bajo rasante). En el tramo a cielo abierto existe una losa de hormigón ya ejecutada, que finaliza en una canaleta en superficie, la cual vierte el agua hacia el ramal de cocheras en vía doble (ya construido). Dado lo anterior, los caudales del nuevo Ramal de Cocheras, del tramo a cielo abierto, no se incorporan a los caudales del túnel de línea.

## 4 CAUDALES ESTIMADOS

### 4.1 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE INFILTRACIÓN

Los caudales de infiltración se han estimado atendiendo a criterios relativos a las características geotécnicas y del nivel freático de los terrenos atravesados por la traza, así como del método constructivo utilizado. A continuación, se enumeran los caudales de infiltración considerados.

- Pozos de bombeo, salidas de emergencia y ventilación será de 2 l/(km·s).
- Tramo ejecutado con tuneladora: 4 l/(km·s).
- Tramo ejecutado en Método Tradicional de Madrid: 3 l/(km·s).
- Tramo ejecutado entre pantallas y estaciones: 2 l/(km·s).

TABLA 1 - CAUDAL DE INFILTRACIÓN. ALTERNATIVA 1

--

TABLA 2 - CAUDAL DE INFILTRACIÓN. ALTERNATIVA 2

--

TABLA 3 - CAUDAL DE INFILTRACIÓN. ALTERNATIVA 3

--

Si bien estos caudales se estiman del lado de la seguridad, siendo esperables valores menores, por ello se propone tratar de minimizar los caudales de filtración considerando las siguientes medidas:

- Tratamiento de todas las juntas constructivas en los tramos ejecutados en mina, mediante Método Tradicional de Madrid.
- En tramos construidos entre pantallas, se ejecutarán pilotes secantes o pantallas continuas con junta moldeada en tramos próximos o bajo el nivel freático.

- En pozos de bombeo, pozos de ventilación o salidas de emergencia, que sean ejecutados mediante anillos se dispondrá entre ellos un cordón sellante hidroexpansivo.

4.2 CAUDAL ASOCIADO A ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

El cálculo del caudal de aguas pluviales que entran en la instalación a través de las rejillas en superficie, se realiza mediante el método racional utilizando la siguiente fórmula:

Q P = K · C e · I t · A / 3,6

QP: Caudal de aguas pluviales, en m³/s

Ce: Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o de la superficie drenada. Se adopta de manera conservadora un valor de coeficiente de escorrentía Ce=1,00.

It: Intensidad media de precipitación correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo de tiempo de t horas, en mm/h. Para un periodo de retorno de 50 años, en los 3 minutos de máxima intensidad, se obtiene un valor It= 137,95 mm/h.

A: Área de la superficie drenada, en km². Se considera una superficie a drenar de 225 m2 para pozos de ventilación. El resto de elementos, tales como pozos de bombeo o salidas de emergencia, a efectos de este Estudio se consideran estancos.

K: Coeficiente representativo del grado de uniformidad con que se reparte la escorrentía. Su valor depende del efecto de las puntas de precipitación, oscilando entre 1 (hipótesis ideal de reparto uniforme de la lluvia en el intervalo considerado) y 2 (hipótesis opuesta de concentración extrema de la escorrentía en un instante). Dada la pequeña superficie de las cuencas de aportación, se adopta un valor de 1.

Los cálculos relativos a la fórmula anterior se incluyen en el Anejo 7.-Climatología e Hidrología. Por otro lado, según se indica en dicho anejo se obtiene la siguiente expresión para la obtención de los caudales (en l/s) en función del área considerada en m², para un periodo de retorno de 50 años y un tiempo de concentración de 3 minutos.

Q P ( l / s ) = 0,0383 · A ( m ² )

Para los valores indicados, se obtienen unos caudales puntuales por rejilla de 8,62 l/s.

4.3 CAUDAL TOTAL

En las tablas que se incluyen a continuación se indican los caudales totales para cada alternativa.

Los caudales de filtración y pluviales reflejados en las tablas están mayorados por los coeficientes indicados en apartados anteriores.

TABLA 4 - CAUDAL TOTAL DE DRENAJE. ALTERNATIVA 1

TABLA 6 - CAUDAL TOTAL DE DRENAJE. ALTERNATIVA 3

## 5 COMPROBACIÓN HIDRÁULICA DE LOS ELEMENTOS DE DRENAJE

Las redes de drenaje deben presentar capacidad hidráulica suficiente para los caudales considerados. Para su cálculo, se emplea la formulación de Manning-Strikler, que se presenta a continuación:

$$Q_{CH} = \frac{J^{0.5} \cdot R_H^{2/3} \cdot S}{n} \geq Q_P$$

La velocidad media del agua para el caudal requerido, debe ser menor que la que produce daños en el elemento de drenaje, y debe ser superior a 0,6 m/s para facilitar el arrastre de pequeñas partículas:

$$V_P = \frac{Q_P}{S_P}$$

Donde:

$Q_{ch}$ : Capacidad hidráulica del elemento de drenaje. Caudal en régimen uniforme en lámina libre para la sección llena calculado igualando las pérdidas de carga por rozamiento con las paredes y fondo del conducto a la pendiente longitudinal. En m<sup>3</sup>/s.

$Q_P$ : Caudal que se requiere que desagüe el elemento de drenaje. En m<sup>3</sup>/s.

$J$ : Pendiente geométrica del elemento lineal. Adimensional.

$S_{max}$ : Área de la sección transversal del elemento de drenaje, en m<sup>3</sup>.

$R_H$ : Radio hidráulico, en m.

$n$ : Coeficiente de rugosidad de Manning, dependiente del tipo de material del elemento lineal. Para hormigón, se adopta un coeficiente de 0,016.

$V_P$ : Velocidad media de la corriente para el caudal considerado. En m/s.

$S_P$ : Área de la sección transversal ocupada por la corriente para el caudal considerado. En m<sup>3</sup>.

La formulación anterior se aplica a los siguientes casos:

- Media caña de hormigón de 0,150 m con una pendiente del 0,5 % y del 3,5 %.
- Canaleta de hormigón de 0,23x1,0 m con una pendiente de 0,5 % y del 3,5 %.

Se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 7 - COMPROBACIÓN HIDRÁULICA

TIPOLOGÍA	PENDIENTE MEDIA	DIMENSIONES			n Manning	CALADO	V	Qcanaleta central	Q Media caña
		B	H	Ø Colector					
	m/m	m	m	m	-	m	m/s	l/s	l/s
Media caña 0,150 m	0,005	0,00	0,00	0,15	0,016	0,075	0,50	0,0	4,37
Media caña 0,150 m	0,035	0,00	0,00	0,15	0,016	0,075	1,31	0,0	11,57
Calaneta 0,23 x 1 m	0,005	0,23	1,00	0,00	0,016	0,750	0,95	163,9	0,0
Calaneta 0,23 x 1 m	0,035	0,23	1,00	0,00	0,016	0,750	2,51	433,71	0,0

Como puede comprobarse en la tabla anterior, a pendiente mínima, los caudales máximos que permiten evacuar los elementos proyectados son suficientes para hacer frente a la demanda requerida. De la misma manera, a pendiente máxima, se comprueba que las velocidades máximas obtenidas son admisibles (al no superar el valor límite de 6 m/s).

6 SISTEMA DE BOMBEO

El agua recogida en el interior del túnel de línea, procedente tanto de la escorrentía superficial como de las filtraciones que se produzcan a través del túnel, será conducida hasta los correspondientes pozos de bombeo, donde se elevará hasta una arqueta de rotura de carga ubicada en superficie para finalmente tratar de conectar con el punto final de vertido a través de una conducción en lámina libre.

En la siguiente tabla se indican los datos de partida necesarios para diseñar el sistema de bombeo en cada alternativa: pozos de bombeo previsto, los caudales a bombear en cada caso y altura geométrica, obtenida como la diferencia entre el nivel del pozo y el nivel de salida.

TABLA 8 - CAUDALES Y PUNTOS DE BOMBEO