

ANEJO N°7

Climatología e Hidrología

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Metodología para la Obtención de Caudales	2
2.1 TRAMOS A CIELO ABIERTO	2
2.1.1 Cálculo de It	2
2.1.2 Coeficiente de Escorrentía	3
2.1.3 determinación de los caudales de Proyecto	3
2.2 TÚNEL EN MINA	3
2.3 FALSO TÚNEL	4
2.4 ESTACIÓN DE REKALDE	4
2.5 ESTACIÓN DE IRALA	4
3. Descripción de las Redes de Drenaje	5
3.1 TÚNEL DE LÍNEA	5
3.1.1 Drenaje Transversal	5
3.1.2 Drenaje Longitudinal	6
3.2 ESTACIÓN DE IRALA	6
3.3 ESTACIÓN DE REKALDE	6
3.4 SALIDA DE EMERGENCIA	7
3.4.1 Agua que accede directamente al pozo	7
3.4.2 Agua procedente de la Infiltración Freática	7
3.5 DIMENSIONAMIENTO DE LOS POZOS DE BOMBEO	8

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente Anejo es la descripción del proceso de diseño y dimensionamiento de los elementos de drenaje que contempla el presente “Estudio Informativo de la Línea 4 y zona sur del Ferrocarril Metropolitano de Bilbao”.

El trazado propuesto en el Estudio discurre en túnel en todo su trazado, por lo que las principales afluencias de agua provienen de las infiltraciones que puedan producirse desde el terreno al interior de los túneles y estaciones y desde la superficie de la calle a través de las rejillas de ventilación.

2. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE CAUDALES

Previo a la realización de las comprobaciones y cálculo de los elementos que componen la Red de Drenaje es necesario la obtención de los caudales de partida y que componen la base del cálculo.

Así, se expone a continuación la metodología empleada para la obtención de dichos caudales, diferenciándose, por un lado, los tramos de trazado que se configuran a cielo abierto y en los que serán de aplicación las Normas BAT de Drenaje y por otro, los tramos subterráneos excavados en mina, con una metodología específica y que también se describe.

2.1 TRAMOS A CIELO ABIERTO

Para la determinación de los caudales de cálculo es necesario establecer diferentes parámetros, como el coeficiente de escorrentía, tiempo de concentración, la intensidad de lluvia o los periodos de retorno a considerar.

Al tratarse de Cuencas de extensión menor a 1 Km², no existen en los Organismos de Cuenca correspondientes datos de estos caudales. Con lo que se procede a la estimación de estos caudales mediante el método hidrometeorológico basado en el denominado Método Racional. En este método, los caudales se evalúan a partir de la fórmula:

$$Q_e = \frac{CIA}{360}$$

donde:

- Q_e es el caudal estimado en la sección de desagüe en estudio en m³/s.
- C es el coeficiente de escorrentía de la cuenca.
- A es la superficie de la cuenca de aportación en Ha
- I es la intensidad de lluvia máxima correspondiente al periodo de retorno de diseño para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca en mm/hora.

2.1.1 CÁLCULO DE IT

La aplicación de las normas BAT simplifica el cálculo de la intensidad de lluvia a considerar. Estas normas tienen ya en cuenta las características del territorio y las series de datos recogidos por los Servicios de Meteorología de la zona, por lo que la intensidad de lluvia pasa a depender de dos únicos factores que son el Periodo de retorno (Tr) y el Tiempo de concentración (Tc).

El tiempo de concentración se calcula mediante la fórmula:

$$T_c = 0.3 \cdot \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.76}$$

Siendo:

- T_c Tiempo de concentración en horas.
- L Longitud de cuenca interceptada en Km.
- J Pendiente media de la cuenca en tanto por uno.

Se considera que el tiempo de concentración mínimo es de 10 minutos, por lo que cuando el resultado de la fórmula anterior sea menor al indicado, se tomará T_c = 10 min.

Los periodos de retorno recomendados en las normas BAT a efectos del presente proyecto son:

- 25 años para sumideros y cunetas.
- 100 años para caños y bajantes escalonadas.

Una vez fijado el tiempo de concentración de las cuencas, la obtención de la intensidad de lluvia correspondiente se realiza utilizando la tabla intensidad-duración que se adjunta a continuación. Esta tabla se ha obtenido a partir de los datos recogidos en la estación meteorológica de Sondika. Dada la proximidad de dicha estación a la zona de actuación del presente Proyecto se considera que dicha gráfica es perfectamente aplicable.

Gráfica Intensidad-Duración de la Estación Meteorológica de Sondika.

INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN						
Tiempo de concentración	PERIODO DE RETORNO Tr (Años)					
	10	25	50	100	250	500
24 h	6	7	8	9	10	11
12 h	9	11	12	14	16	17
9 h	11	13	15	17	19	21
6 h	14	17	19	22	24	27
5 h	16	19	22	24	27	30
4 h	18	22	25	28	31	34
3 h	21	26	29	33	37	41
2 h 30 min	23	29	32	36	41	45
2 h	27	32	37	41	47	51
1 h 45 min	29	35	40	44	50	55
1 h 30 min	31	38	43	48	55	60
1 h 20 min	33	40	46	51	58	64

INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN						
Tiempo de concentración	PERIODO DE RETORNO Tr (Años)					
	10	25	50	100	250	500
1 h 10 min	36	43	49	55	63	68
1 h	40	47	53	60	68	74
50 min	42	52	59	66	75	81
40 min	47	58	66	73	84	91
30 min	55	67	76	85	96	105
25 min	60	73	83	92	105	115
20 min	66	81	92	103	117	127
15 min	76	92	105	117	133	145
10 min	91	111	125	140	159	174

2.1.2 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para la obtención del Coeficiente de escorrentía y si se dispone de datos fiables, se utilizarán éstos, acudiéndose en caso contrario a la siguiente tabla contenida a tal efecto en las Normas BAT:

TIPO DE SUELO	C
Pavimentos y zonas urbanas intensivas	0,8 – 1,0
Zonas urbanas residenciales. Terrenos impermeables, vegetación escasa.	0,7 – 0,9
Terrenos permeables, vegetación escasa. Terrenos impermeables vegetación densa.	0,6 – 0,8
Terrenos permeables, vegetación densa. Terrenos impermeables, bosque frondoso.	0,5 – 0,7
Terrenos permeables, bosque frondoso.	0,4 – 0,6

En el presente proyecto se tomarán los valores de 1,0 para superficies pavimentadas y 0,6 cuando el agua es recogida por el terreno.

2.1.3 DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE PROYECTO

La determinación de los caudales de proyecto se obtienen como el producto del caudal obtenido por el método racional, y un coeficiente de mayoración, k_p , que no depende de parámetros hidrológicos, sino de los posibles daños que una avenida pueda ocasionar en el entorno.

El parámetro k_p se halla en función del elemento y el daño a partir de las siguientes tablas:

CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS POSIBLES	
A	Inundación de vegas agrícolas por elevación de la lámina de agua con la velocidad de la corriente < 1 m/seg.
B	Inundación de granjas, instalaciones industriales y viviendas aisladas, por la elevación de la lámina de agua con velocidad de la corriente > 1 m/sg.
C	Inundación de áreas urbanas y suburbanas con arrastre de vehículos y corte de las vías de comunicación.
D	Inundación catastrófica con arrastre de árboles y animales, importantes daños materiales y peligro de vidas humanas

COEFICIENTE DE MAYORACIÓN K_p				
OBRA DE DRENAJE	Daños A	Daños B	Daños C	Daños D
Sumideros, cunetas, colectores, caños y obras con sección de desagüe inferior a 0,75 m ²	1 - 1,2	1 - 1,2	–	–
Caños, alcantarillas, tajeas, pontones y obras con sección de desagüe entre 0,75 y 5 m ²	1 - 1,2	1 - 1,2	1,1 - 1,3	1,2 - 1,4
Pontones, puentes y obras de drenaje con sección de desagüe entre 5 y 50 m ²	1 - 1,2	1,1 - 1,3	1,2 - 1,4	1,3 - 1,5

En todos los cálculos se mayorará el caudal con un coeficiente de seguridad de 1,1.

2.2 TÚNEL EN MINA

Los túneles se diseñan como drenados, es decir, sin contar con posibles cargas hidráulicas desde el punto de vista estructural. Este tipo de solución exige, por tanto, la configuración de una sección permeable de túnel, permitiendo la infiltración de las aguas, que son recogidas y reconducidas al exterior.

Se ha registrado en la práctica valores de filtración, a lo largo de túneles ya construidos, en el rango de 0,2 a 5 l/m²/día con casos extremos que llegan hasta los 32. La experiencia recogida durante los trabajos de construcción de Línea 1, indica que los caudales son del orden de los 5 l/s/km.

Con las secciones de excavación del presente proyecto, la relación entre l/m²/día y l/s/km es aproximadamente 1/0.4. A la vista de todos estos datos, se estima prudente adoptar un caudal de diseño de 10 l/s/km, teniéndose entonces que:

En vista de los resultados obtenidos se estima como valor del caudal de infiltración medio para todo el tramo de estudio, del orden de **10 litros/s por kilómetro de túnel.**

Aneio nº07: Climatología e

2.3 FALSO TÚNEL

Los caudales a drenar en los falsos túneles se han estimado mediante el método de Darcy, cuya expresión analítica es la que sigue:

$$Q = k \cdot h \cdot i$$

Siendo:

- Q Caudal
- k Coeficiente de permeabilidad del terreno
- h Espesor saturado
- i gradiente hidráulico

Así, los caudales estimados son de 2 l/s km en la zona rocosa y 6 l/s en la zona de rellenos, que supone aproximadamente la mitad de la excavación.

Se toma, por tanto, un valor de **4 l/s por kilómetro** como caudal de infiltración medio para los tramos en falso túnel.

2.4 ESTACIÓN DE REKALDE

La estación de Rekalde se configura en túnel, siendo de aplicación, por tanto, lo mencionado en el apartado anterior 2.2. Túnel en mina.

Además, en el diseño del drenaje de la estación habrá que tener en cuenta, el caudal procedente del servicio de la estación, así como de las labores de la limpieza y que se ha estimado en 6 l/s por una lado y de los pozos de ventilación por otro, para lo cual se sigue lo indicado en el apartado 2.1 tramos a Cielo Abierto.

2.5 ESTACIÓN DE IRALA

Igual que en el caso de la estación de Rekalde, la estación de Irala se configura en túnel siendo de aplicación, por tanto, lo establecido en el apartado 2.2. Túnel en mina para la determinación del caudal de infiltración,

Además del agua de infiltración freática se tendrá en cuenta el agua procedente del servicio de la estación y de las labores de limpieza y el agua que acceda directamente a la estación a través de los pozos de ventilación. En este último caso será de aplicación lo establecido en el apartado 2.1. Tramos a Cielo Abierto.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS REDES DE DRENAJE

Una vez obtenidos los caudales de referencia, se describe en los apartados que siguen la red de drenaje diseñada, habiéndose analizado por separado las diferentes tipologías: túnel en mina, falso túnel, estación de Rekalde y estación de Irala.

En apartados posteriores se analiza la conexión entre tramos de diferente tipología.

3.1 TÚNEL DE LÍNEA

El presente Proyecto contempla la ejecución de un túnel en mina de vía doble en los tramos comprendidos entre los P.P.K.K. 0+120 – 2+450.

El agua que habrá que drenar será la procedente de la infiltración y dependerá de la permeabilidad del macizo rocoso.

El drenaje del túnel comprende dos aspectos claramente diferenciados: el drenaje transversal de la sección y el drenaje longitudinal.

A continuación se van a comentar las principales características de ambos aspectos.

3.1.1 DRENAJE TRANSVERSAL

Para recoger el agua que se infiltre a través del sostenimiento se dispondrán bandas drenantes entre dicho sostenimiento y el hormigón de revestimiento, abarcando los hastiales y la bóveda.

Estas bandas drenantes tendrán una anchura de 0,5 metros y la separación entre los ejes de dos bandas sucesivas será de 3 metros.

Estarán constituidas por un núcleo de alta permeabilidad formado por un geotextil drenante de 500 g/m² de peso, el cual estará rodeado por una lámina de polietileno de alta densidad de 650 g/m² de peso.

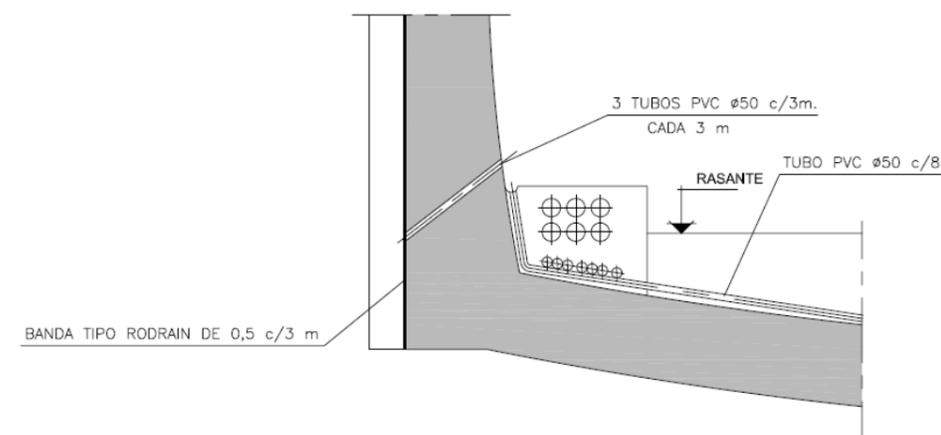
En la base de los hastiales, las bandas drenantes terminan en prolongación recta, siendo interceptadas por 3 tubos de 50 mm. de diámetro de PVC cada 3 metros. Estos tubos se disponen con inclinación hacia el exterior de la sección.

Estos tubos llevarán el agua a un canalillo longitudinal de sección semicircular de 50 milímetros de radio que discurre junto al hastial, en los dos pasillos laterales de servicio.

Cada 8 metros una tubería flexible transversal de 50 mm. de diámetro se encargará de servir de desagüe del mencionado canalillo por su fondo. Se situarán también dichos tubos a los lados de las arquetas que es preciso ubicar en los pasillos laterales.

Dichos tubos verterán el agua al canal de 0,30 metros de anchura formado por la plataforma de asiento de la doble vía y los pasillos laterales.

Para desaguar este canal se dispondrán a ambos lados del túnel dos tubos de P.V.C. de 75 milímetros de diámetro que conducirán el caudal que discurre por el canal anteriormente mencionado a las arquetas del túnel situadas cada 25 metros y dicho caudal, además del procedente del posible agua que pueda acceder a la plataforma de asiento de la doble vía, del cual irá parte hacia el exterior y el resto, que es el considerado en este Proyecto, hacia los pozos de bombeo de la estación. Según sean las pendientes de la rasante en el túnel, se conducirá el agua a través de un tubo de P.V.C. de 250 milímetros de diámetro intercalado con las arquetas mencionadas anteriormente, cada 25 metros, para posteriormente desaguar en los pozos de bombeo.



DRENAJE HASTIALES DE TUNELES
ESCALA 1:20

El agua que pueda acceder a la plataforma de asiento mencionada en el párrafo anterior también será desaguada por el canal de 0,30 metros de anchura, formado entre la plataforma y los pasillos laterales.

3.1.2 DRENAJE LONGITUDINAL

Para la conducción del agua en sentido longitudinal se dispone de un colector de 250 mm. de diámetro situado en el eje del túnel, entre las dos vías, que ya se ha mencionado al final del apartado anterior.

A lo largo del recorrido de esta tubería se disponen los correspondientes pozos de registro cada 25 metros.

Dada la permeabilidad del macizo atravesado por el túnel de vía doble, estimada en 10 l/s por kilómetro de túnel, los caudales resultantes de los distintos tramos son:

- El primer tramo considerado es el que discurre desde el inicio del túnel de línea (P.K. 0+120) hasta el punto bajo ubicado en el P.K. 0+214. El mencionado tramo discurrirá con una pendiente del 30‰ siendo su longitud de 94 metros y el caudal procedente de la filtración:

$$10,00 \cdot 0,094 = 0,94 \text{ l/s}$$

- El segundo tramo va desde el punto bajo del trazado situado hasta el inicio de la estación de Irala en el P.K. 0+44, el tramo discurre con una pendiente del 45‰. La longitud de dicho tramo es de 229 metros aproximadamente siendo el caudal de:

$$10,00 \cdot 0,229 = 2,29 \text{ l/s}$$

El siguiente tramo de túnel es el comprendido entre las estaciones de Irala y Rekalde entre los PK 0+553 al 1+662 en ese tramo de 1109 m el túnel discurre con una pendiente de 25 ‰, situándose el punto bajo a la entrada de la estación de Rekalde, el caudal sería:

$$10,00 \cdot 1,109 = 11,09 \text{ l/s}$$

El último tramo de túnel es el comprendido entre la estación de Rekalde y el inicio del Falso Túnel entre los P.K. 1+774 y 2+450 con una longitud de 676 m y una pendiente de 45 ‰. El caudal aproximado en este tramo resulta:

$$10,00 \cdot 0,676 = 6,76 \text{ l/s}$$

3.2 ESTACIÓN DE IRALA

En la estación de Irala el caudal de agua a desaguar provendrá de tres orígenes distintos. Por un lado se tendrá el agua procedente de la infiltración del agua freática.

Relativo al segundo origen de aguas, se ha estimado que el caudal máximo a desaguar procedente del servicio de la estación así como de las labores de limpieza será de 6 l/s.

Por último el agua procedente del exterior que accede por las rejillas de ventilación.

De esta manera el caudal que cabe esperar en cada testero de estación es el siguiente:

- Agua procedente de la infiltración del terreno que accederá a la estación desde el lado Norte y el lado Sur, siendo el caudal a evacuar, por tanto, el que se muestra a continuación:

$$10,000 \cdot 0,055 = 0,55 \text{ l/s (por testero)}$$

- Agua procedente de la limpieza de estación, cuyo caudal por testero se estima en 3 l/s.
- Agua procedente del exterior a través de los diferentes pozos de ventilación

- 750 m² de ventilación de emergencia c/Bergara
- 550 m² E.B.A., Trav. Irala
- 1000 m² de ventilación de emergencia, c/Eskurtze

$$140 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1000 / 3600 = 42,77 \text{ l/s} \rightarrow \text{Testero Sur}$$

$$140 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1300 / 3600 = 55,61 \text{ l/s} \rightarrow \text{Testero Norte}$$

3.3 ESTACIÓN DE REKALDE

En la estación de Rekalde el caudal de agua a desaguar provendrá de tres orígenes distintos. Por un lado se tendrá el agua procedente de la infiltración del agua freática, del tramo de la estación y del túnel de línea.

Los otros dos orígenes es el agua procedente de las labores de limpieza 6 l/s y del exterior por las rejillas de ventilación.

De esta manera el caudal que cabe esperar en cada testero de estación es el siguiente:

El agua a drenar de la estación de Rekalde tendrá tres orígenes distintos:

- Infiltración procedente del agua freática

$$10,000 \cdot 0,055 = 0,55 \text{ l/s (por testero)}$$

- Agua procedente de la limpieza de estación, cuyo caudal por testero se estima en 3 l/s.
 - 700 m² de ventilación de emergencia c/Serantes
 - 1000 m² E.B.A., c/ Gordoniz
 - 800 m² de ventilación de emergencia, c/Camilo Villabaso.
- En este caso es de aplicación lo establecido en el punto 2.1. Tramo a Cielo Abierto. Dado que el recorrido del agua drenada es inferior a 150 metros se considera un tiempo de concentración de 10 minutos.
 - $140 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1800 / 3600 = 77 \text{ l/s} \rightarrow$ Testero Sur
 - $140 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 700 / 3600 = 29,94 \text{ l/s} \rightarrow$ Testero Norte

3.4 SALIDA DE EMERGENCIA

Para el cálculo de las filtraciones que se producirán en las salidas de emergencia se ha considerado una filtración igual a la del túnel de línea, debido a la semejanza en cuanto a posición dentro del macizo y de dimensiones, es decir 10 l/s por kilómetro de la citada obra.

En el diseño del drenaje también se tendrá en cuenta el agua de lluvia que cae directamente sobre la rejilla y que deberá ser desaguada.

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, el agua que acceda a la salida de emergencia tendrá dos orígenes distintos:

- Agua procedente de la infiltración freática
- Agua que acceda directamente al interior del recinto a través del pozo de ventilación

En los apartados que siguen se determina el caudal que es necesario evacuar atendiendo a los diferentes orígenes.

3.4.1 AGUA QUE ACCEDE DIRECTAMENTE AL POZO

Respecto al agua de lluvia, caerá directamente sobre la rejilla y dicha agua será drenada por medio de los elementos de drenaje dispuestos a tal efecto.

Dado que las longitudes a recorrer por el agua desde el exterior son reducidas se tomará el valor de la intensidad correspondiente a un tiempo de concentración de 10 minutos por ser el más desfavorable (140 mm/h).

Aplicando lo establecido en el apartado 2.1. Tramos a Cielo Abierto y considerando que la superficie a drenar tiene 909,6 m² aproximadamente, se establece que el caudal a drenar en la salida de emergencia Eskurtze es de 38,91 l/s, la salida de emergencia de Basurtugorta tiene una superficie a drenar de 335m², por tanto el caudal a drenar es de 14,33 l/s.

El agua de lluvia que acceda directamente a través de la rejilla se recogerá por medio de un canal semicircular de 0,15 metros de radio existente en el fondo del conducto de ventilación. El agua caída en la solera accederá al canal debido a la pendiente de 1,5 % transversal a la misma.

Una vez que el agua esté en el canal semicircular de 0,15 metros se recoge por una arqueta-canaleta y llega al entronque con el túnel por medio de un tubo de P.V.C. de 200 milímetros de diámetro donde también se recogerá el agua que llega de la impermeabilización de la cámara.

El agua recogida se vierte finalmente en la arqueta de túnel por un tubo de P.V.C. de 200 milímetros de diámetro, entroncando así con el dren de 250 milímetros de diámetro que finalmente desaguarán en la estación de Rekalde, en el P.K. 1+662,19 para la salida de emergencia de Eskurtze y en el PK 1+762,19 la salida de Basurtugortaa.

3.4.2 AGUA PROCEDENTE DE LA INFILTRACIÓN FREÁTICA

La salida de emergencia de Eskurtze tiene un desarrollo de 230 metros de longitud, por lo que el caudal a evacuar es el que se muestra a continuación:

$$10,000 \cdot 0,230 = 2,30 \text{ l/s}$$

El desarrollo de la salida de emergencia de Basurtugorta es de 275 metros de longitud, por lo que el caudal a evacuar es el que se muestra a continuación:

$$10,000 \cdot 0,275 = 2,75 \text{ l/s}$$

Este caudal se recoge por medio de dos tubos de 150 milímetros de diámetro situados uno a cada lado de la cámara.

Estos tubos desaguan a su vez, en el tubo de 200 milímetros que entronca con el drenaje del túnel.

3.5 DIMENSIONAMIENTO DE LOS POZOS DE BOMBEO

El tramo considerado en el presente Proyecto Constructivo cuenta con 5 pozos de bombeo, a saber:

- 2 pozos de bombeo en testeros de estación de Rekalde
- 2 pozos de bombeo en testeros de estación de Irala
- 1 pozos de bombeo intermedio ubicado en el punto bajo de trazado (PK 0+214)

Se muestran a continuación los caudales totales de agua que será necesario evacuar por cada pozo de bombeo considerado en el presente proyecto:

- Pozo de Bombeo Estación Rekalde Testero lado Norte: 53,32 l/s
- Pozo de Bombeo Estación Rekalde Testero lado Sur: 129,75 l/s
- Pozo de Bombeo Estación Irala Testero lado Norte: 55,61 l/s
- Pozo de Bombeo Estación Irala Testero lado Sur: 42,77 l/s
- Pozo de Bombeo P.K. 0+214: 3,23 l/s

Para el caudal de cálculo definido será suficiente con un grupo de dos bombas de 40 l/s cada una para el drenaje superficial en todos los puntos a excepción del testero Sur de la estación de Rekalde que habrá que ampliar a bombas de 80 l/s