

## ANEJO Nº 10. DRENAJE Y BOMBEO



TÍTULO DEL PROYECTO	
ESTUDIO INFORMATIVO DE AMPLIACIÓN DE LA RED DE METRO DE MADRID AL BARRIO DE VALDEBEBAS	

DOCUMENTO	
TÍTULO	ANEJO Nº 10. DRENAJE Y BOMBEO
FICHERO	A10_DRENAJE Y BOMBEO.docx

CONTROL DE EDICIONES		
ED.	FECHA	OBSERVACIONES / MOTIVO
02	JUN 2024	2ª EDICIÓN (TRAS SUPERVISIÓN)
EDICIONES PREVIAS		
01	JUN 2024	1ª EDICIÓN (TRAS SUPERVISIÓN)
00	ABRIL 2024	1ª EDICIÓN



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DRENAJE.....	1
2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	1
2.1.1. Túnel de metro .....	1
2.1.2. Estaciones.....	1
2.2. CRITERIOS DE DISEÑO .....	2
2.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	2
2.3.1. Precipitación máxima diaria .....	2
2.3.2. Intensidad media diaria.....	4
2.3.3. Cálculo de caudales .....	4
2.3.4. Caudal proveniente de las rejillas de ventilación.....	4
2.3.1. Caudal de filtración .....	12
2.3.2. Resumen de caudales .....	14
2.4. COMPROBACIÓN HIDRÁULICA DEL DRENAJE DEL TÚNEL .....	15
3. BOMBEO.....	15
3.1. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE LOS ALJIBES.....	15
3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO .....	16



## 1. INTRODUCCIÓN

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 y de la capacidad máxima de los elementos de recogida descritos.

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

- En primer lugar, el originado por las precipitaciones, el caudal que puede penetrar en el túnel a través de las rejillas expuestas a cielo abierto. Tal circunstancia se presenta en los pozos de ventilación / compensación / salidas de emergencia y estación.
- En segundo lugar, el caudal de infiltración derivado de aguas de origen freático en el tramo objeto de proyecto.

## 2. DRENAJE

### 2.1. 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 al pozo de bombeo para su evacuación final desde el mismo a la red de saneamiento.

El sistema aplicado para la evacuación de las aguas depende del tramo de túnel tratado.

#### 2.1.1. Túnel de metro

La captación de las filtraciones procedentes del terreno, que se producen a lo largo del túnel, en general se deben a filtraciones que se manifiestan a través de rezumes sobre el propio paramento del túnel (dovelas o hastiales) en función del método de ejecución empleado.

Estos flujos de agua llegan hasta la parta baja de ambos hastiales o laterales del túnel y en dicha zona se realiza la captación de los mismos mediante una canaleta longitudinal 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 cortos, ya que cada 9.6 metros se dispone una canaleta transversal 100 mm que comunica estas conducciones laterales con una canaleta principal de recogida que se situada en la parte central de la sección del túnel.

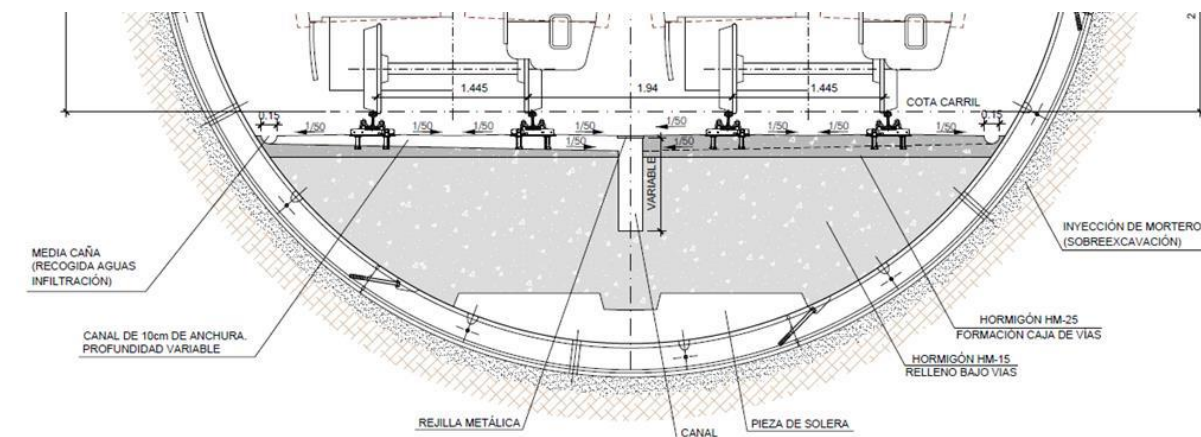
La canaleta central, de sección rectangular tiene unas dimensiones de 0.20m de anchura y 0.40 m de profundidad. Mantiene la pendiente de la vía cuando es igual o mayor de 0.5% y se profundiza en los tramos de menor pendiente para obtener siempre una pendiente mínima de 0.5%.

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 con longitudes de 1.0 metros, pudiendo levantarse de manera independiente cada una de ellas para registro y limpieza de la canaleta central.

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 0.5 metros, pudiendo levantarse de manera independiente cada una de ellas para registro y limpieza de la canaleta central.

Esta canaleta 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 los pozos de bombeo.

En estos puntos se realiza el vertido de los caudales de infiltración del túnel a las cámaras de recogida y decantación desde las cuales serán bombeadas a la red de alcantarillado municipal.



#### 2.1.2. Estaciones

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 generan puntos altos y bajos cada 5m aproximadamente, y se dejarán bajantes de 160 mm de diámetro en los puntos bajos, por lo que habrá que prever los pasatubos correspondientes.

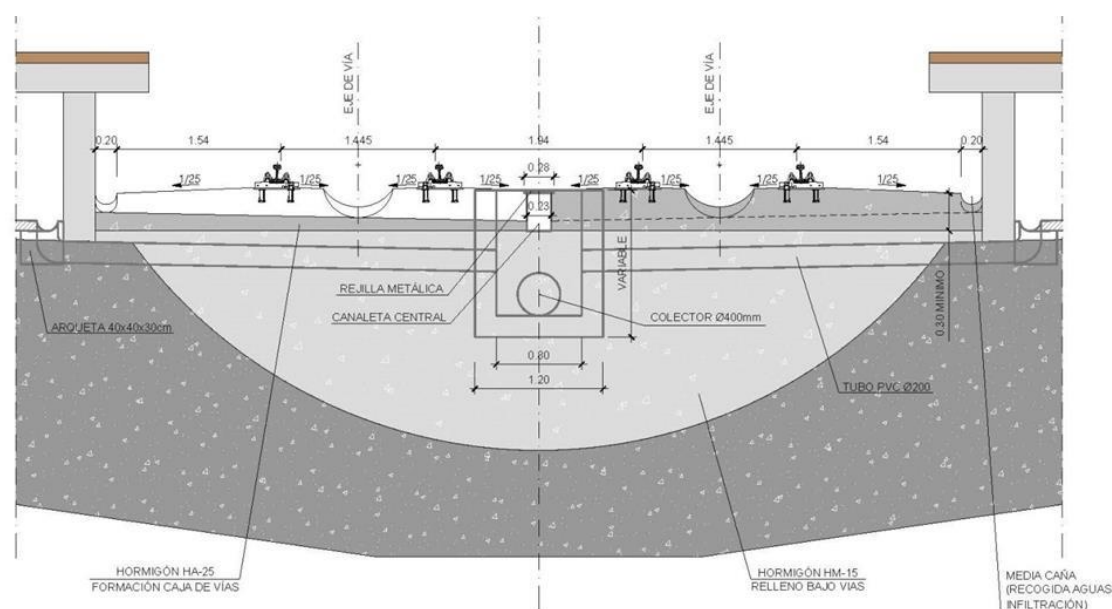
Estas canaletas se ubican en la denominada cámara bufa que es el hueco o sección existente entre el propio paramento de las pantallas estructurales y los paneles decorativos o de fábrica que constituyen el límite perimetral de la estación delimitando los pasillos o estancias en los que se realiza la 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 los mencionados bajantes que atraviesan las losas mediante pasatubos habilitados en los bordes para tal fin.

En el nivel andenes (sobre la contrabóveda), se recoge toda el agua de los niveles superiores (de los bajantes) en la canaleta perimetral, a nivel bajo andén. De ahí, se llevan al borde de andén (junto al apoyo del forjado de andén), donde se colocan arquetas de recogida de agua, y mediante un tubo se llevan a los pozos centrales de recogida de aguas, por debajo de la caja de vías. Estos pozos se sitúan cada 20 m aproximadamente, y están conectados mediante un colector de 400 mm.

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, en la caja de vías, que va desaguando por tramos en los sucesivos pozos centrales de recogida de aguas, donde conecta a su vez con el colector central mencionado anteriormente.

El sistema de drenaje central de vías en la estación es una prolongación del sistema de drenaje del túnel y en consecuencia se conectan ambos sistemas pudiendo transferirse dichas aguas hasta el túnel.



## 2.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Para el diseño de la red de drenaje se han seguido en todo momento los siguientes criterios generales utilizados para el drenaje de túneles, y sancionados por la experiencia en este tipo de proyectos:

- La superficie de recogida de las rejillas de los pozos de ventilación y de bombeo, así

como las situadas en estaciones, se mayor con un coeficiente  $K=2$ , al ser difícil calcular la superficie real que están recogiendo estos puntos. Al tratarse de entornos urbanos es de suponer que el drenaje del agua de lluvia se realiza a través de la red de saneamiento unitaria existente.

- Se considera un caudal de infiltración en función del método constructivo mayorado con un coeficiente de seguridad de 1.5.
- 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 cubiertas.
- El dimensionamiento de la capacidad de los aljibes de bombeo se realiza según la hipótesis de parada de bombas durante un periodo máximo de 4 horas.
- Las pendientes mínimas en la red de drenaje serán del 0.5%
- Se adopta  $T=100$  años como periodo de retorno para el cálculo del caudal originado por las precipitaciones que puedan acceder por las rejillas.

## 2.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

En este apartado se determinan los caudales de diseño con los cuales dimensionar los diferentes elementos del sistema de drenaje y bombeo.

El estudio ha sido realizado en base a la publicación del Ministerio de Fomento “Máximas llluvias diarias en la España peninsular” (Diciembre de 2001).

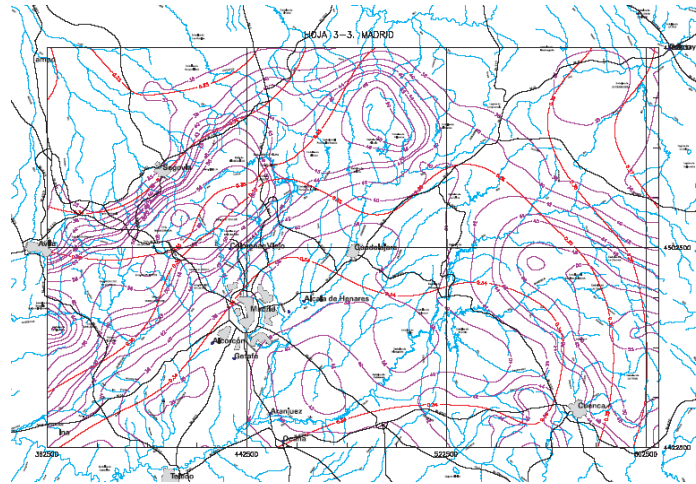
### 2.3.1. Precipitación máxima diaria

$P_d$  es la precipitación máxima para cada periodo de retorno. Su cálculo, para la zona de proyecto, ha sido efectuado en base a la publicación del Ministerio de Fomento “Máximas llluvias diarias en la España peninsular” (Diciembre de 2001).

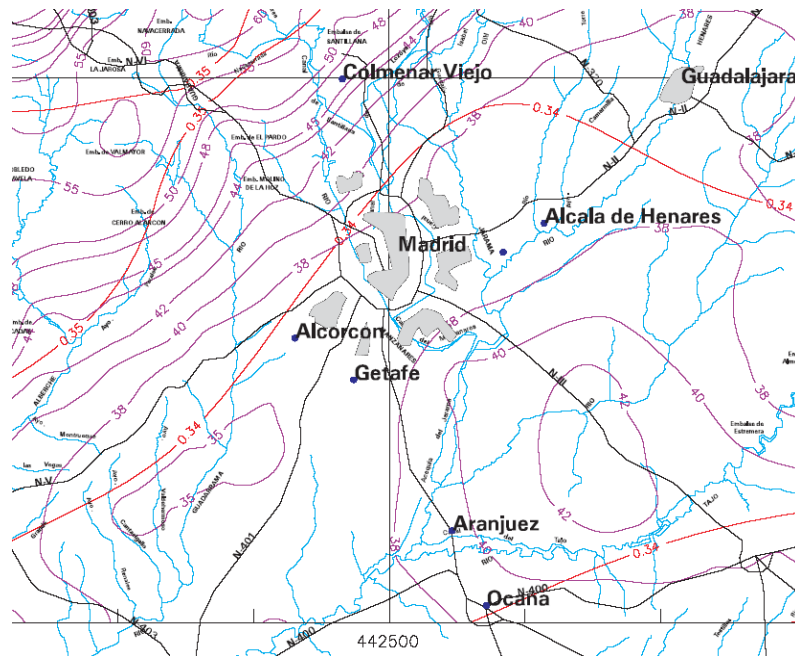
Los pasos a seguir son los siguientes:

- Localizar en los planos el punto geográfico deseado con la ayuda del plano-guía. En el caso de Valdebebas es la Hoja 3-3 MADRID:





- Estimar mediante las isolíneas presentadas el coeficiente de variación  $C_v$  (líneas rojas con valores inferiores a la unidad) y el valor medio  $P_m$  de la máxima precipitación diaria anual (líneas moradas). Aumentando la escala se puede estimar dichos valores contemplados en la siguiente tabla:



Pmed (mm/día)	Cv
37	0,335

- Para el periodo de retorno deseado  $T=100$  años y el valor de  $C_v$  (0,335), obtener el factor de amplificación  $KT$  mediante el uso de la tabla siguiente:

$C_v$	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 7.1 - Cuantiles  $Y_T$  de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación  $K_T$ , en el "Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular" (1997).

Pmed (mm/día)	CV	T (años)	KT(CV,T)
37	0,335	100	2,159

- Realizar el producto del factor de amplificación  $KT$  por el valor medio  $P_m$  de la máxima precipitación diaria anual obteniendo la precipitación diaria máxima para el periodo de retorno deseado  $P_d$ . Con los valores de los distintos parámetros incluidos en el anterior cuadro, obtenemos los siguientes resultados:

$$P_d = P_m \times K_T$$

$$P_d = 37 \times 2,159 = 79,88 \text{ mm/día}$$

Para el cálculo de caudales se adopta el valor de 80 mm/día como precipitación máxima diaria ( $P_d$ ).

### 2.3.2. Intensidad media diaria

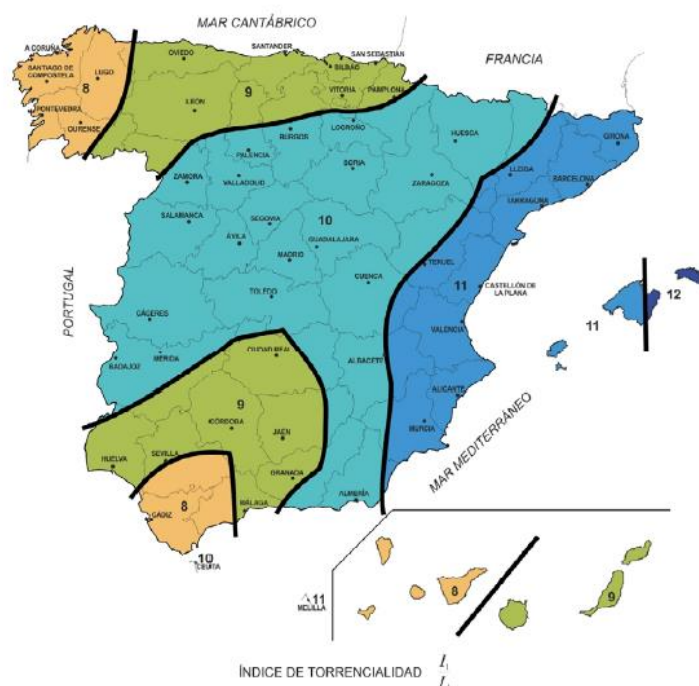
El aguacero a efectos de cálculo quedará definido por la intensidad  $I$  (mm/hora) de precipitación media, función de la duración del intervalo considerado y de la intensidad de precipitación media diaria ( $P_d/24$ ) para un período de retorno de referencia.

$$I_d = P_d / 24 = 80 / 24 = 3,33 \text{ mm/h}$$

A la hora de obtener la intensidad de lluvia se considera que el caso más desfavorable es aquél cuyo aguacero tiene una duración igual a la del tiempo de concentración para el correspondiente período de retorno considerado.

Al contar con datos de precipitaciones máximas diarias, no se pueden extrapolar los valores de las intensidades de aguaceros de distinta duración, por lo que para determinarlos se recurre a las curvas intensidad-duración elaboradas para un conjunto de estaciones españolas. Consultando el mapa de isóneas de los valores  $I_1/I_d$  para España, ( $I_1$  = intensidad máxima horaria,  $I_d$  = intensidad máxima diaria), que se adjunta a continuación, en la zona en estudio se tomará:

$$I_1/I_d = 10$$



RELACIÓN ENTRE LAS INTENSIDADES DE LLUVIA HORARIA Y DIARIA

Para calcular la intensidad correspondiente a un aguacero de duración igual al tiempo de concentración se partirá de la expresión general de las curvas intensidad-duración:

$$\frac{I}{I_d} = \left( \frac{I_i}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - D^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

Donde:

$I$  = Intensidad de la lluvia media en un intervalo de duración  $D$  para un período de retorno dado.

$I_d = P_d/24$  (mm). Intensidad media diaria para ese mismo período de retorno.

$I_i$  = Intensidad horaria (mm/h)

$D$  = Duración del aguacero en horas

El parámetro  $I_1/I_d$  para la zona de Madrid tiene un valor de 10 como se ha visto anteriormente.

### 2.3.3. Cálculo de caudales

Para el cálculo de los caudales circulantes se ha considerado dos conceptos, uno es el caudal que llega a éste mediante infiltración, y otro aquel caudal que directamente entra por las distintas rejillas ubicadas a lo largo del trazado.

#### 2.3.4. Caudal proveniente de las rejillas de ventilación

Para el cálculo de los caudales que se recogen a través de las rejillas de los pozos y estaciones se utiliza la siguiente expresión

$$Q = K \frac{C \cdot A \cdot I}{3,6}$$

Donde:

$C = 1$ . Coeficiente de escorrentía

$A$  = Superficie de la rejilla ( $\text{Km}^2$ )

$I$  = Intensidad de lluvia media para el periodo de retorno fijado y para una duración del aguacero dada (mm/h)

$K = 2$ . Coeficiente corrector por incertidumbre de superficie de captación de caudal

Tras analizar las obras se han localizado las siguientes zonas de entrada de agua pluvial al túnel:

En las estaciones se localiza los siguientes puntos de entrada:

- Rejilla ventilación en salida emergencia
- Rejilla pozos de inmisión
- Rejillas en pozos de compensación
- Rejilla en sala de condensadoras
- Rejilla ventilación subestación
- Entrada y extracción equipos subestación

En pozos de bombeo y las salidas de emergencia están aisladas mediante trampillas confinadas con mecanismo hidráulico de apertura que solo se abren en caso de emergencia.

Los pozos de ventilación tienen una rejilla que permite la entrada de aire desde el exterior al túnel.

Se evitará en la medida de lo posible la entrada de agua de lluvia tanto en pozos como en estaciones para lo que se prevé la colocación de imbornales aguas arriba de cada una de las estaciones y pozos.

A continuación, se realiza el estudio de caudales para las dos hipótesis planteadas, una consistente en el funcionamiento normal del sistema, con una duración del aguacero de 1h, y la otra suponiendo un fallo del sistema de alimentación de bombas de 4h.

#### a) Funcionamiento Normal

Considerando para los cálculos del funcionamiento normal del sistema una duración del aguacero de 1 h y  $P_d = 80$  mm/ día, se obtiene

$$\frac{I}{I_d} = \left( \frac{I_i}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - D^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Para  $D=1$

$$I = (80/24) \cdot 10 = 33.34 \text{ mm/h}$$

Entrando con este valor y con la superficie de las rejillas en km<sup>2</sup> en la siguiente expresión se obtiene el caudal en m<sup>3</sup>/s.

$$Q = K \frac{C \cdot A \cdot I}{3,6}$$

Se obtienen las siguientes aportaciones puntuales para cada una de las alternativas:

ALTERNATIVA 1			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
<b>PV1</b>	<b>32,80</b>	PB1 (1+055,722)	Caudal PK- = 1,68 En Pozo= 0,10 Caudal PK+ = 1,96 <b>SUMA= 3,74</b>
<b>Estación Mar de Cristal - Parque Alfredo Kraus</b>	<b>42,60</b>		
Compensación 1	5,00		
Entrada aire presurización	9,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	5,60		
Ventilación Subestación			
<b>SE 1 + PB 1</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 2</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Ifema – Cárcavas</b>	<b>51,20</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación		PB2 (4+027.813)	<b>SUMA= 3,25</b> Caudal PK- = 2,43 En Pozo= 0,10 Caudal PK+ = 0,73
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,30		
Ventilación Subestación			
<b>PV 3</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	10,00		
Entrada aire presurización	6,00	PB3 (5+516.413)	Caudal PK- = 0,10 En Pozo= 0,10 Caudal PK+ = 1,60 <b>SUMA= 1,79</b>
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	9,20		
Ventilación inmisión	17,50		
Compensación 2	8,00		
Ventilación Subestación			
<b>SE 4 + PB 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 4</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 5</b>	<b>4,40</b>		
<b>SE 6 + PB 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Valdebebas Norte</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	9,00		

ALTERNATIVA 1			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,20		
Ventilación Subestación	9,00		
<b>PV 5</b>	<b>32,80</b>	PB4 (8+760.465)	<b>SUMA= 3,62</b> Caudal PK- = 2,80 En Pozo= 0,10 Caudal PK+ = 0,73
<b>SE 7</b>	<b>4,40</b>		
<b>SE8</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Aeropuerto T4</b>	<b>84,15</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
<b>SE 9 + PB 4</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 6</b>	<b>32,80</b>		

ALTERNATIVA 2			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
<b>PV1</b>	<b>32,80</b>	PB1 (1+055,722)	Caudal PK- = 1,68 En Pozo= 0,10 Caudal PK+ = 1,96 <b>SUMA= 3,74</b>
<b>Estación Mar de Cristal - Parque Alfredo Kraus</b>	<b>42,60</b>		
Compensación 1	5,00		
Entrada aire presurización	9,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	5,60		
Ventilación Subestación			
<b>SE 1 + PB 1</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 2</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Ifema – Cárcavas</b>	<b>51,20</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,40		

ALTERNATIVA 2			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,30		
Ventilación Subestación			
<b>PV 3</b>	<b>32,80</b>	ESTACIÓN PB2 (5+800)	Caudal PK- = 5,37 En Pozo= 1,77 Caudal PK+ = 3,25 <b>SUMA= 10,40</b>
<b>SE 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	10,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	9,20		
Ventilación inmisión	17,50		
Compensación 2	8,00		
Ventilación Subestación			
<b>PV 4</b>	<b>32,80</b>		
<b>Estación Hospital Zendal</b>	<b>62,50</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	9,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
<b>SE 4</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 5</b>	<b>32,80</b>		
<b>Estación Aeropuerto T4</b>	<b>79,75</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
Ventilación Subestación			
<b>SE 5</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 6</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 6</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Valdebebas Norte</b>	<b>71,95</b>		



ALTERNATIVA 2			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Compensación 1	9,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,20		
Ventilación Subestación	9,00		
<b>PV 7</b>	<b>32,80</b>		

ALTERNATIVA 3			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
<b>PV1</b>	<b>32,80</b>	PB1 (1+019,504)	Caudal PK- = 2,43 En Pozo= 0,73 Caudal PK+ = 1,24 <b>SUMA= 4,39</b>
<b>Estación Mar de Cristal – Calle de Arequipa</b>	<b>76,50</b>		
Compensación 1	12,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación	8,30		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	10,80		
Ventilación inmisión	18,00		
Compensación 2	9,25		
Ventilación Subestación			
<b>PV 2 + PB 1</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 1</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Ifema – Cárcavas</b>	<b>51,20</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,30		
Ventilación Subestación			
<b>PV 3</b>	<b>32,80</b>	PB2 ( 3+880.72)	
<b>SE 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	10,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación	9,00		

ALTERNATIVA 3			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Entrada Equipos Subestación	12,25		<b>SUMA= 3,35</b> Caudal PK- = 2,43 En Pozo= 0,10 Caudal PK+ = 0,83
Entrada aire sala condensadoras	9,20		
Ventilación inmisión	17,50		
Compensación 2	8,00		
Ventilación Subestación			
<b>SE 3 + PB 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 4</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 4</b>	<b>4,40</b>	PB3 (5+419.312)	Caudal PK- = 0,10 En Pozo= 0,10 Caudal PK+ = 1,60 <b>SUMA= 1,79</b>
<b>SE 5 + PB 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Valdebebas Norte</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	9,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,20		
Ventilación Subestación	9,00		
<b>PV 5</b>	<b>32,80</b>	PB4 (8+613.364)	<b>SUMA= 3,62</b> Caudal PK- = 2,80 En Pozo= 0,10 Caudal PK+ = 0,73
<b>SE 6</b>	<b>4,40</b>		
<b>SE 7</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Aeropuerto T4</b>	<b>84,15</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
<b>SE 8 + PB 4</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 6</b>	<b>32,80</b>		

ALTERNATIVA 4			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
<b>PV1</b>	<b>32,80</b>	PB1 (1+019,504)	
<b>Estación Mar de Cristal – Calle de Arequipa</b>	<b>76,50</b>		
Compensación 1	12,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación	8,30		

ALTERNATIVA 4			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Entrada Equipos Subestación	12,25		Caudal PK- = 2,43 En Pozo= 0,73 Caudal PK+ = 1,24 <b>SUMA= 4,39</b>
Entrada aire sala condensadoras	10,80		
Ventilación inmisión	18,00		
Compensación 2	9,25		
Ventilación Subestación			
<b>PV 2 + PB 1</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 1</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Ifema – Cárcavas</b>	<b>51,20</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,30		
Ventilación Subestación		ESTACIÓN PB2 (5+800)	Caudal PK- = 5,37 En Pozo= 3,25 Caudal PK+ = 1,77 <b>SUMA= 10,40</b>
<b>PV 3</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	10,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	9,20		
Ventilación inmisión	17,50		
Compensación 2	8,00		
Ventilación Subestación			
<b>PV 4</b>	<b>32,80</b>		
<b>Estación Hospital Zendal</b>	<b>62,50</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	9,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
<b>SE 4</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 5</b>	<b>32,80</b>		
<b>Estación Aeropuerto T4</b>	<b>79,75</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,00		

ALTERNATIVA 4			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
Ventilación Subestación			
<b>SE 5</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 6</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 6</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Valdebebas Norte</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	9,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,20		
Ventilación Subestación	9,00		
<b>PV 7</b>	<b>32,80</b>		

#### a) Parada de bombas durante 4 h

Considerando en este caso una duración del aguacero igual al período de parada de bombas, es decir, igual a 4 h. y una Pd = 80 mm/ día, se obtiene

$$\frac{I}{I_d} = \left( \frac{I_i}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - D^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

$$(I_i / I_d) = 10^{0,623} = 4.19$$

$$I = 14.02 \text{ mm/h}$$

Entrando con este valor y con la superficie de las rejillas en km2 en la siguiente expresión se obtiene el caudal en m3/s.

$$Q = K \frac{C \cdot A \cdot I}{3,6}$$

Se obtienen las siguientes aportaciones puntuales para cada una de las alternativas:

ALTERNATIVA 1			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
<b>PV1</b>	<b>32,80</b>	PB1 (1+055,722)	Caudal PK- = 0,87 En Pozo= 0,05 Caudal PK+ = 1,02 <b>SUMA= 1,94</b>
<b>Estación Mar de Cristal - Parque Alfredo Kraus</b>	<b>42,60</b>		
Compensación 1	5,00		
Entrada aire presurización	9,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	5,60		
Ventilación Subestación			
<b>SE 1 + PB 1</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 2</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Ifema – Cárcavas</b>	<b>51,20</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,30		
Ventilación Subestación			
<b>PV 3</b>	<b>32,80</b>	PB2 (4+027.813)	<b>SUMA= 1,37</b> Caudal PK- = 1,02 En Pozo= 0,04 Caudal PK+ = 0,31
<b>SE 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	10,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	9,20		
Ventilación inmisión	17,50		
Compensación 2	8,00		
Ventilación Subestación			
<b>SE 4 + PB 2</b>	<b>4,40</b>	PB3 (5+516.413)	Caudal PK- = 0,04 En Pozo= 0,04 Caudal PK+ = 0,67 <b>SUMA= 0,75</b>
<b>PV 4</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 5</b>	<b>4,40</b>		
<b>SE 6 + PB 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Valdebebas Norte</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	9,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación			

ALTERNATIVA 1			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,20		
Ventilación Subestación	9,00		
<b>PV 5</b>	<b>32,80</b>	PB4 (8+760.465)	<b>SUMA= 1,52</b> Caudal PK- = 1,18 En Pozo= 0,04 Caudal PK+ = 0,31
<b>SE 7</b>	<b>4,40</b>		
<b>SE8</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Aeropuerto T4</b>	<b>84,15</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
<b>SE 9 + PB 4</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 6</b>	<b>32,80</b>		

ALTERNATIVA 2			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
<b>PV1</b>	<b>32,80</b>	PB1 (1+055,722)	Caudal PK- = 0,70 En Pozo= 0,04 Caudal PK+ = 0,83 <b>SUMA= 1,57</b>
<b>Estación Mar de Cristal - Parque Alfredo Kraus</b>	<b>42,60</b>		
Compensación 1	5,00		
Entrada aire presurización	9,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	5,60		
Ventilación Subestación			
<b>SE 1 + PB 1</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 2</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Ifema – Cárcavas</b>	<b>51,20</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			

ALTERNATIVA 2			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,30		
Ventilación Subestación			
<b>PV 3</b>	<b>32,80</b>	ESTACIÓN PB2 (5+800)	Caudal PK- = 2,26 En Pozo= 0,75 Caudal PK+ = 1,37 <b>SUMA= 4,37</b>
<b>SE 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	10,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	9,20		
Ventilación inmisión	17,50		
Compensación 2	8,00		
Ventilación Subestación			
<b>PV 4</b>	<b>32,80</b>		
<b>Estación Hospital Zendal</b>	<b>62,50</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	9,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
<b>SE 4</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 5</b>	<b>32,80</b>		
<b>Estación Aeropuerto T4</b>	<b>79,75</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
Ventilación Subestación			
<b>SE 5</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 6</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 6</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Valdebebas Norte</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	9,00		
Entrada aire presurización	6,00		

ALTERNATIVA 2			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,20		
Ventilación Subestación	9,00		
<b>PV 7</b>	<b>32,80</b>		

ALTERNATIVA 3			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
<b>PV1</b>	<b>32,80</b>	PB1 (1+019,504)	Caudal PK- = 1,02 En Pozo= 0,31 Caudal PK+ = 0,52 <b>SUMA= 1,85</b>
<b>Estación Mar de Cristal – Calle de Arequipa</b>	<b>76,50</b>		
Compensación 1	12,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación	8,30		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	10,80		
Ventilación inmisión	18,00		
Compensación 2	9,25		
Ventilación Subestación			
<b>PV 2 + PB 1</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 1</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Ifema – Cárcavas</b>	<b>51,20</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,30		
Ventilación Subestación			
<b>PV 3</b>	<b>32,80</b>	PB2 ( 3+880.72)	
<b>SE 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	10,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	9,20		



ALTERNATIVA 3			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Ventilación inmisión	17,50		<b>SUMA= 1,41</b> Caudal PK- = 1,02 En Pozo= 0,04 Caudal PK+ = 0,35
Compensación 2	8,00		
Ventilación Subestación			
<b>SE 3 + PB 2</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 4</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 4</b>	<b>4,40</b>	PB3 (5+419.312)	Caudal PK- = 0,04 En Pozo= 0,04 Caudal PK+ = 0,67 <b>SUMA= 0,75</b>
<b>SE 5 + PB 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Valdebebas Norte</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	9,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,20		
Ventilación Subestación	9,00	PB4 (8+613.364)	<b>SUMA= 1,52</b> Caudal PK- = 1,18 En Pozo= 0,04 Caudal PK+ = 0,31
<b>PV 5</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 6</b>	<b>4,40</b>		
<b>SE 7</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Aeropuerto T4</b>	<b>84,15</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00	ESTACIÓN PB2 (5+600)	Caudal PK- = 2,26 En Pozo= 1,37 Caudal PK+ = 0,75 <b>SUMA= 4,37</b>
Compensación 2	13,50		
<b>SE 8 + PB 4</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 6</b>	<b>32,80</b>		

ALTERNATIVA 4			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
<b>PV1</b>	<b>32,80</b>	PB1 (1+019,504)	
<b>Estación Mar de Cristal – Calle de Arequipa</b>	<b>76,50</b>		
Compensación 1	12,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación	8,30		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	10,80		

ALTERNATIVA 4			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Ventilación inmisión	18,00		Caudal PK- = 1,02 En Pozo= 0,31 Caudal PK+ = 0,52 <b>SUMA= 1,85</b>
Compensación 2	9,25		
Ventilación Subestación			
<b>PV 2 + PB 1</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 1</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Ifema – Cárcavas</b>	<b>51,20</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,40		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	9,00	ESTACIÓN PB2 (5+600)	Caudal PK- = 2,26 En Pozo= 1,37 Caudal PK+ = 0,75 <b>SUMA= 4,37</b>
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,30		
Ventilación Subestación			
<b>PV 3</b>	<b>32,80</b>		
<b>SE 3</b>	<b>4,40</b>		
<b>Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia</b>	<b>71,95</b>		
Compensación 1	10,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	9,20		
Ventilación inmisión	17,50		
Compensación 2	8,00		
Ventilación Subestación			
<b>PV 4</b>	<b>32,80</b>		
<b>Estación Hospital Zenda</b>	<b>62,50</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	9,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación			
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
<b>SE 4</b>	<b>4,40</b>		
<b>PV 5</b>	<b>32,80</b>		
<b>Estación Aeropuerto T4</b>	<b>79,75</b>		
Compensación 1	13,50		
Entrada aire presurización	5,00		
Extracción Subestación	9,00		
Entrada Equipos Subestación	12,25		

ALTERNATIVA 4			
ZONA DE ENTRADA	A (m2)	Zona de Evacuación	Caudal lluvia a desaguar (l/s)
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	13,50		
Ventilación Subestación			
SE 5	4,40		
PV 6	32,80		
SE 6	4,40		
Estación Valdebebas Norte	71,95		
Compensación 1	9,00		
Entrada aire presurización	6,00		
Extracción Subestación			
Entrada Equipos Subestación	12,25		
Entrada aire sala condensadoras	12,50		
Ventilación inmisión	14,00		
Compensación 2	9,20		
Ventilación Subestación	9,00		
PV 7	32,80		

### 2.3.1. Caudal de filtración

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 1 l/(km·s).
- Tramo ejecutado con tuneladora: 1 l/(km·s).
- Tramo ejecutado en belga: 2,1 l/(km·s).
- Tramo ejecutado entre pantallas y estaciones: 1.2 l/(km·s).

No obstante, se considera adecuado mayorar estos valores con un coeficiente de seguridad de 1.5.

Los caudales de infiltración asociados a cada tramo de túnel, con sus puntos de evacuación, se adjuntan en la tabla presentadas a continuación para cada una de las alternativas:

ALTERNATIVA 1					
ESTRUCTURA	PK INICIO	PK FINAL	Longitud (m)	Profundidad (m)	Caudal de infiltración (l/s)
PV 1	0+014,989			39,241	
Fondo de saco	0+000,000	0+302,75	302,75		

ALTERNATIVA 1					
ESTRUCTURA	PK INICIO	PK FINAL	Longitud (m)	Profundidad (m)	Caudal de infiltración (l/s)
Estación Mar de Cristal - Parque Alfredo Kraus	0+302,75	0+423,50	120,75		Caudal PK- = 2,475 En Pozo= 0,055 Caudal PK+ = 2,130 <b>SUMA= 5,258</b>
Túnel	0+423,500	1+055,722	632,222		
Ramal conexión L11 - L8	0+000,000	0+442,511	442,511		
SE 1 + PB 1	1+055,722			36,835	
Túnel	1+055,722	1+213,576	157,854		
PV 2	1+213,576			31,363	
Túnel	1+213,576	1+503,909	290,333		
SE 2	1+503,909			24,273	
Túnel	1+503,909	2+251,990	748,081		
Estación Ifema – Cárcavas	2+251,99	2+391,99	140		
Túnel	2+391,990	2+893,324	501,334		Caudal PK- = 2,673 En Pozo= 0,047 Caudal PK+ = 1,064 <b>SUMA= 3,783</b>
PV 3	2+893,324			25,078	
Túnel	2+893,324	3+193,130	299,806		
SE 3	3+193,130			33,186	
Túnel	3+193,130	3+405,070	211,94		
Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia	3+405,07	3+545,07	140		
Túnel	3+545,070	4+027,813	482,743		
SE 4 + PB 2	4+027,813			31,139	
Túnel	4+027,813	4+703,090	675,277		
PV 4	4+703,090			33,726	
Túnel	4+703,090	4+859,992	156,902		Caudal PK- = 1,332 En Pozo= 0,028 Caudal PK+ = 1,244 <b>SUMA= 2,603</b>
SE 5	4+859,992			24,573	
Túnel	4+859,992	5+566,413	706,421		
SE 6 + PB 3	5+566,413			18,355	
Túnel	5+566,413	6+227,820	661,407		
Estación Valdebebas Norte	6+227,82	6+367,82	140		
Túnel	6+367,820	7+061,999	694,179		
SE 7	7+061,999			23,938	
Túnel	7+061,999	7+236,079	174,08		
PV 5	7+236,079			30,346	
Túnel	7+236,079	7+800,470	564,391		Caudal PK- = 3,798 En Pozo= 0,595 Caudal PK+ = 1,244 <b>SUMA= 4,574</b>
SE8	7+800,470			27,436	
Túnel	7+800,470	8+229,900	429,43		
Estación Aeropuerto T4	8+229,90	8+369,90	140		
Fondo de saco	8+369,900	8+760,465	390,565		
SE 9 + PB 4	8+760,465			29,580	
Túnel	8+760,465	9+157,382	396,917		
PV6	9+157,382			33,836	
Túnel	9+157,382	9+243,843	86,461		

ALTERNATIVA 2					
ESTRUCTURA	PK INICIO	PK FINAL	Longitud (m)	Profundidad (m)	Caudal de infiltración (l/s)
PV 1	0+014,989			39,241	Caudal PK- = 2,475 En Pozo= 0,055 Caudal PK+ = 2,130 <b>SUMA= 5,258</b>
Fondo de saco	0+000,000	0+302,75	302,75		
Estación Mar de Cristal - Parque Alfredo Kraus	0+302,75	0+423,50	120,75		
Túnel	0+423,500	1+055,722	632,222		
Ramal conexión L11 - L8	0+000,000	0+442,511	442,511		
SE 1 + PB 1	1+055,722			36,835	
Túnel	1+055,722	1+213,576	157,854		
PV 2	1+213,576			31,363	
Túnel	1+213,576	1+503,909	290,333		
SE 2	1+503,909			24,273	
Túnel	1+503,909	2+251,990	748,081		
Estación Ifema – Cárcavas	2+251,99	2+391,99	140		
Túnel	2+391,990	2+893,324	501,334		
PV 3	2+893,324			25,078	
Túnel	2+893,324	3+193,130	299,806		
SE 3	3+193,130			33,186	
Túnel	3+193,130	3+405,070	211,94		
Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia	3+405,07	3+545,07	140		
Túnel	3+405,070	3+827,402	422,332		
PV 4	3+827,40			28,865	
Túnel	3+827,402	4+282,240	454,838		
Estación Hospital Zandal	4+282,24	4+422,24	140		
Salto de Carnero	0+000,00	0+227,62	227,624		
Túnel	4+422,240	4+978,435	556,195		
SE 4	4+978,44			26,314	
Túnel	4+978,435	5+317,283	338,848		
PV 5	5+317,28			26,725	
Túnel	5+317,283	5+717,260	399,977		
Estación Aeropuerto T4	5+717,26	5+857,26	140		
Túnel	5+857,260	6+286,686	429,426		
SE 5	6+286,69			27,444	
Túnel	6+286,686	6+851,077	564,391		
PV 6	6+851,08			30,346	
Túnel	6+851,077	7+025,158	174,081		
SE 6	7+025,16			28,650	
Túnel	7+025,158	7+719,340	694,182		Caudal PK- = 6,299 En Pozo= 0,252 Caudal PK+ = 4,159 <b>SUMA= 10,710</b>
Estación Valdebebas Norte	7+719,34	7+859,34	140		
Fondo de saco	7+859,340	8+496,705	637,365		
PV 7	8+496,71			18,598	
Fondo de saco	8+496,705	8+496,755	0,05		

ALTERNATIVA 3					
ESTRUCTURA	PK INICIO	PK FINAL	Longitud (m)	Profundidad (m)	Caudal de infiltración (l/s)
PV 1	0+007,666			36,186	Caudal PK- = 2,567 En Pozo= 0,046 Caudal PK+ = 1,916 <b>SUMA= 4,529</b>
Fondo de saco	0+000,000	0+411,44	411,44		
Estación Mar de Cristal – Calle de Arequipa	0+411,44	0+551,44	140		
Túnel	0+551,440	1+019,504	468,064		
Ramal conexión L11 - L8	0+000,000	0+298,887	298,887		
PV 2 + PB 1	1+019,504			30,451	
Túnel	1+019,504	1+356,808	337,304		
SE 1	1+356,808			24,273	
Túnel	1+356,808	2+104,890	748,082		
Estación Ifema – Cárcavas	2+104,89	2+244,89	140		
Túnel	2+244,890	2+746,223	501,333		
PV 3	2+746,223			25,078	
Túnel	2+746,223	3+046,029	299,806		Caudal PK- = 2,583 En Pozo= 0,047 Caudal PK+ = 1,064 <b>SUMA= 3,693</b>
SE 2	3+046,029			33,186	
Túnel	3+046,029	3+257,960	211,931		
Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia	3+257,96	3+397,96	140		
Túnel	3+397,960	3+880,712	482,752		
SE 3 + PB 2	3+880,712			31,139	
Túnel	3+880,712	4+555,989	675,277		
PV 4	4+555,989			33,726	
Túnel	4+555,989	4+712,891	156,902		
SE 4	4+712,891			24,573	
Túnel	4+712,891	5+419,312	706,421		
SE 5 + PB 3	5+419,312			18,355	
Túnel	5+419,312	6+080,710	661,398		Caudal PK- = 1,332 En Pozo= 0,028 Caudal PK+ = 1,244 <b>SUMA= 2,603</b>
Estación Valdebebas Norte	6+080,71	6+220,71	140		
Túnel	6+220,710	6+914,898	694,188		
SE 6	6+914,898			23,938	
Túnel	6+914,898	7+088,978	174,08		
PV 5	7+088,978			30,346	
Túnel	7+088,978	7+653,369	564,391		
SE 7	7+653,369			27,436	
Túnel	7+653,369	8+082,800	429,431		
Estación Aeropuerto T4	8+082,80	8+222,80	140		
Fondo de saco	8+222,800	8+613,364	390,564		
SE 8 + PB 4	8+613,364			29,580	
Túnel	8+613,364	9+010,281	396,917		Caudal PK- = 3,798 En Pozo= 0,595 Caudal PK+ = 1,244 <b>SUMA= 4,574</b>
PV 6	9+010,281			33,836	
Túnel	9+010,281	9+096,742	86,461		

ALTERNATIVA 4					
ESTRUCTURA	PK INICIO	PK FINAL	Longitud (m)	Profundidad (m)	Caudal de infiltración (l/s)
PV 1	0+007,666			36,186	Caudal PK- = 2,567 En Pozo= 0,046 Caudal PK+ = 1,916 <b>SUMA= 4,496</b>
Fondo de saco	0+000,000	0+411,44	411,44		
Estación Mar de Cristal – Calle de Arequipa	0+411,44	0+551,44	140		
Túnel	0+551,440	1+019,504	468,064		
Ramal conexión L11 - L8	0+000,000	0+298,887	298,887		
PV 2 + PB 1	1+019,504			30,451	
Túnel	1+019,504	1+356,808	337,304		
SE 1	1+356,808			24,273	
Túnel	1+356,808	2+104,890	748,082		
Estación Ifema – Cárcavas	2+104,89	2+244,89	140		
Túnel	2+244,890	2+746,223	501,333		Caudal PK- = 6,208 En Pozo= 0,252 Caudal PK+ = 4,159 <b>SUMA= 10,552</b>
PV 3	2+746,223			25,078	
Túnel	2+746,223	3+046,029	299,806		
SE 2	3+046,029			33,186	
Túnel	3+046,029	3+257,960	211,931		
Estación Intercambiador - Ciudad de la Justicia	3+257,96	3+397,96	140		
Túnel	3+257,960	3+680,301	422,341		
PV 4	3+680,30			28,865	
Túnel	3+680,301	4+135,110	454,809		
Estación Hospital Zenda	4+135,11	4+271,84	136,73		
Salto de Carnero	0+000,00	0+227,62	227,624		
Túnel	4+271,840	4+831,334	559,494		
SE 3	4+831,33			26,314	
Túnel	4+831,334	5+170,182	338,848		
PV 6	5+170,18			26,725	
Túnel	5+170,182	5+570,150	399,968		
Estación Aeropuerto T4	5+570,15	5+710,15	140		
Túnel	5+710,150	6+139,585	429,435		
SE 4	6+139,59			27,444	
Túnel	6+139,585	6+703,976	564,391		
PV 7	6+703,98			30,346	
Túnel	6+703,976	6+878,057	174,081		
SE 5	6+878,06			28,650	
Túnel	6+878,057	7+572,240	694,183		
Estación Valdebebas Norte	7+572,24	7+712,24	140		
Fondo de saco	7+712,240	8+349,604	637,364		
PV 8	8+349,60			18,598	
Fondo de saco	8+349,604	8+349,654	0,05		

## 2.3.2. Resumen de caudales

### a) Funcionamiento Normal

Con la hipótesis de funcionamiento normal del sistema, una duración del aguacero de 1 h, los caudales máximos acumulados en los puntos de bombeo son los que se reflejan en el siguiente cuadro para cada una de las alternativas:

Caudal (l/s)			Pozo bombeo
Infiltración	Rejillas	Total	
<b>ALTERNATIVA 1</b>			
5,258	3,74	9,00	PB1 (1+055,722)
3,783	3,25	7,04	PB2 (4+027.813)
2,603	1,79	4,40	PB3 (5+516.413)
4,574	3,62	8,20	PB4 (8+760.465)
<b>ALTERNATIVA 2</b>			
5,258	3,74	9,00	PB1 (1+055,722)
10,710	10,40	21,11	ESTACIÓN PB2 (5+800)
<b>ALTERNATIVA 3</b>			
4,529	4,39	8,92	PB1 (1+019,504)
3,693	3,35	7,04	PB2 (3+880.72)
2,603	1,79	4,40	PB3 (5+419.312)
4,574	3,62	8,20	PB4 (8+613.364)
<b>ALTERNATIVA 4</b>			
4,496	4,39	8,89	PB1 (1+019,504)
10,552	10,40	20,95	ESTACIÓN PB2 (5+600)

### a) Parada de bombas durante 4 h

Con la hipótesis de parada de bombas durante 4 horas, los caudales máximos acumulados en los puntos de bombeo son los que se reflejan en el siguiente cuadro para cada una de las alternativas:

Caudal (l/s)			Pozo bombeo
Infiltración	Rejillas	Total	
<b>ALTERNATIVA 1</b>			
5,258	1,941	7,20	PB1 (1+055,722)
3,783	1,368	5,15	PB2 (4+027.813)
2,603	0,755	3,36	PB3 (5+516.413)
4,574	1,523	6,10	PB4 (8+760.465)
<b>ALTERNATIVA 2</b>			



Caudal (l/s)			Pozo bombeo
Infiltración	Rejillas	Total	
5,258	1,572	6,83	PB1 (1+055,722)
10,710	4,372	15,08	ESTACIÓN PB2 (5+800)
<b>ALTERNATIVA 3</b>			
4,529	1,848	6,38	PB1 (1+019,504)
3,693	1,409	5,10	PB2 ( 3+880.72)
2,603	0,755	3,36	PB3 (5+419.312)
4,574	1,523	6,10	PB4 (8+613.364)
<b>ALTERNATIVA 4</b>			
4,496	1,848	6,34	PB1 (1+019,504)
10,552	4,372	14,92	ESTACIÓN PB2 (5+600)

## 2.4. COMPROBACIÓN HIDRÁULICA DEL DRENAJE DEL TÚNEL

Para justificar hidráulicamente la capacidad de los elementos de drenaje proyectados se utiliza la fórmula de Manning-Strikler recogida por la Instrucción 5.2-IC "Drenaje Superficial":

$$J = \frac{n^2 v^2}{R_H^{4/3}} \quad V = \frac{Q}{S_M}$$

siendo:

J = pendiente; J=1‰

n = n° de Manning; n=0,015

v = velocidad (m/s)

Q = caudal (m³/s)

S<sub>M</sub> = superficie mojada (m²)

P<sub>M</sub> = perímetro mojado (m)

R<sub>H</sub> = radio Hidráulico (m)

Se ha realizado la comprobación para los siguientes casos:

- Canaleta de hormigón de 0,2x0,4 m con una pendiente del 0,5%
- Tubo de hormigón vibropresado de φ 400 con una pendiente de 0,5 %

En ambos casos el caudal máximo que puede circular por cada elemento es mucho mayor a los obtenidos en los apartados anteriores:

	Pendiente %	Velocidad (m/s)	Caudal (l/s)
CANALETA	0.5	0.70	70
TUBO	0.5	1.02	127

## 3. BOMBEO

### 3.1. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE LOS ALJIBES

Se dispondrá de un aljibe por cada punto de bombeo. Para el dimensionamiento del aljibe, se considerará que debe tener un volumen suficiente para almacenar el agua recogida tanto por infiltración como por precipitación durante una duración de 4h (tiempo máximo considerado de parada de bombas).

Así pues, partiendo de los caudales anteriormente indicados, la capacidad del pozo se calcula aplicando la siguiente formula:

$$V_{\text{pozo}} (m^3) = Qx \frac{4x3.600}{1.000}$$

Resultando los siguientes volúmenes de pozo requeridos:

La geometria de los pozos, a excepcióndel ubicado en estación, es de un circulo de diametro 8,30 m (superficie 54,08 m2), en el caso de la estación la geometria es rectangular con una superficie de 81 m2. Las alturas para cada uno de los pozos es la siguiente:

Volumen (m3)			Altura del pozo (m)	Resguardo 1 m (m)	Pozo bombeo
Infiltración	Rejillas	Total	(m)	(m)	
<b>ALTERNATIVA 1</b>					
75,711	27,955	103,67	1,92	2,92	PB1 (1+055,722)
54,479	19,698	74,18	1,37	2,37	PB2 (4+027.813)
37,490	10,868	48,36	0,89	1,89	PB3 (5+516.413)
65,862	21,932	87,79	1,62	2,62	PB4 (8+760.465)
<b>ALTERNATIVA 2</b>					
75,711	22,638	98,35	1,82	2,82	PB1 (1+055,722)
154,223	62,955	217,18	2,68	3,68	ESTACIÓN PB2 (5+800)
<b>ALTERNATIVA 3</b>					
65,220	26,609	91,83	1,70	2,70	PB1 (1+019,504)
53,184	20,290	73,47	1,36	2,36	PB2 ( 3+880.72)
37,490	10,868	48,36	0,89	1,89	PB3 (5+419.312)
65,862	21,932	87,79	1,62	2,62	PB4 (8+613.364)
<b>ALTERNATIVA 4</b>					

64,737	26,609	91,35	1,69	2,69	PB1 (1+019,504)
151,951	62,955	214,91	2,65	3,65	ESTACIÓN PB2 (5+800)

### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

En el pozo se dispondrán tres bombas sumergidas con funcionamiento alternativo.

Las bombas se dimensionan para un caudal 2 veces el caudal normal estimado. La tensión de funcionamiento será de 400v.

$$Q_{\text{bombeo}} = 2 \times Q$$

Los criterios básicos de dimensionamiento de las bombas serán:

- Serán del tipo centrífugas sumergibles, formando un solo cuerpo, el motor, bomba, partes mecánicas y conexiones eléctricas. Todo el conjunto, previsto para estar total y parcialmente sumergido.
- Sistema separativo de evacuación de aguas.
- Los aljibes y grupos de bombeo se dotarán de alarmas de nivel y estarán conectadas al centro local y/o remoto del Control Metropolitano.
- Equipamiento de una tubería de impulsión por bomba desde aljibes a red de alcantarillado.

La disposición de la tubería de entrada al pozo de bombeo será tal que esté por debajo del nivel mínimo de trabajo de las bombas, es decir, que esté sumergida para evitar que se transmitan por ella olores al resto del túnel.

Se establecen los siguientes modos de funcionamiento de la instalación:

- Modo de funcionamiento automático normal. La regulación del pozo (arranque /parada de bombas, estimación de caudales, alarmas) se realiza mediante un sensor analógico de nivel y el controlador automático.
- Modo de funcionamiento automático de emergencia. Además del sistema de control constituido por el sensor analógico de nivel y el controlador, existirá un sistema redundante que permitirá el modo de funcionamiento automático de emergencia, consistente en una boya superior para la señalización digital nivel alto y el consiguiente accionamiento de las bombas, lógica cableada, y una boya inferior para la señalización digital de nivel bajo, y, de forma eventual, para la parada de las bombas.

Para la elección del tipo de bombas, además del caudal a bombear es necesario conocer la altura manométrica.

Seguidamente, se calculan las pérdidas de carga en la conducción para el caudal de diseño, que sumadas a la altura geométrica de bombeo dan la altura manométrica necesaria.

$$H_m = H_g + \Delta H$$

La altura geométrica viene dada por la diferencia entre la cota de entrega de la tubería de impulsión (cota superior) y la cota del nivel de agua en el pozo de bombeo (cota inferior).

Pozo bombeo	Caudal calculo (l/s)	Cota superior	Cota superior	Hg (m)
<b>ALTERNATIVA 1</b>				
PB1 (1+055,722)	18,0	676,18	634,93	41,25
PB2 (4+027.813)	14,1	649,31	614,30	35,01
PB3 (5+516.413)	8,8	647,04	625,29	21,75
PB4 (8+760.465)	16,4	624,08	590,38	33,70
<b>ALTERNATIVA 2</b>				
PB1 (1+055,722)	18,0	676,18	635,03	41,15
ESTACIÓN PB2 (5+800)	42,2	611,50	589,32	22,18
<b>ALTERNATIVA 3</b>				
PB1 (1+019,504)	17,8	673,33	638,68	34,65
PB2 (3+880.72)	14,1	649,31	614,31	35,00
PB3 (5+419.312)	8,8	647,04	625,29	21,75
PB4 (8+613.364)	16,4	624,08	590,38	33,70
<b>ALTERNATIVA 4</b>				
PB1 (1+019,504)	17,8	673,33	638,68	34,64
ESTACIÓN PB2 (5+800)	41,9	611,50	589,35	22,15

En cuanto a las pérdidas de carga, éstas se deben al rozamiento con las paredes del tubo a lo largo del trayecto y al paso del flujo por válvulas y piezas especiales, por lo que se distinguen pérdidas localizadas y de rozamiento.

Para la obtención de las pérdidas de carga, lineales más singulares, se utiliza la fórmula de "Colebrook":

$$\Delta H = \frac{f}{D} L \frac{V^2}{2g} + \sum k \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

AH: Perdidas de carga

f: Coeficiente de fricción

g: aceleración de la gravedad (m2/s)

D: Diametro del tubo (m)

L: Longitud del tubo (m)

V: Velocidad media en el tubo (m/s)

K: Rugosidad del material

Las tuberías de impulsión proyectadas serán de acero inoxidable.

Se ha adoptado un valor conservador para el coeficiente de rugosidad del material de  $k = 0,25$  mm. este valor es superior a los indicados por los fabricantes de estas tuberías, así, queda reflejado el envejecimiento que sufrirán las paredes de las tuberías con el paso del tiempo y el incremento de la resistencia por fricción que comportará este fenómeno.

El coeficiente de fricción “f” se calcula a partir de la fórmula de Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Dónde:

Re: Número de Reynolds

Para el cálculo de las pérdidas de cargas singulares, debidas a los codos y tes de las tuberías, se consideran los siguientes coeficientes:

Elementos	k
Codo 90º	0,290
Codo 45º	0,170
Codo 22,5º	0,100
Codo 11,25º	0,090
Válvula compuerta	0,300
Válvula retención	1,500
Carrete desmontaje	0,200
Ventosa	0,200
Vaciado	0,200
Descarga	1,000

La solución adoptada para el bombeo de calados superiores a 14 l/s consiste en la instalación de bombas sumergibles con impulsor adaptativo y diámetro de salida de bomba de 80 mm. La potencia nominal es de 14 kW, 2 polos, frecuencia 50 Hz y N° de Fases 3.

La solución adoptada para el bombeo de calados inferiores a 14 l/s consiste en la instalación de bombas sumergibles con impulsor adaptativo y diámetro de salida de bomba de 80 mm. La potencia nominal es de 7,4 kW, 2 polos, frecuencia 50Hz y N° de Fases 3.





