ANEJO Nº10

OBRA DE TOMA Y TUBERÍA DE CAPTACIÓN

INDICE DEL ANEJO Nº10

OBRA DE TOMA Y TUBERÍA DE CAPTACIÓN

1. INDRODUCCIÓN 2
1.1. SISTEMA ACTUAL DE TOMAS Y ACEQUIAS 2
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PUNTO SELECCIONADO PARA LA CAPTACIÓN 3
2. CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA DE TOMA EN EL CANAL DE ZAIDÍN 5
3. DIMENSIONADO DE LA TUBERÍA DE CAPTACIÓN 6
3.1. DATOS DE PARTIDA 6
3.2. INTRODUCCIÓN 6
3.3. METODO DE CÁLCULO APLICADO 7
3.4. DEFINICIÓN DEL TRAZADO Y LONGITUD DE LA TUBERÍA 7
3.5. DETERMINACIÓN DE LAS COTAS DE RASANTE Y PENDIENTES 8
3.6. TUBERÍA ADOPTADA Y RESULTADOS DEL CÁLCULO 8
3.7. TENSIÓN DE ARRASTRE 9
3.8. CALCULO Y DIMENSIONADO DE LA TUBERÍA EN CARGA O EN SIFON 10
3.8.1. DATOS DE PARTIDA 10
3.8.2. CALCULOS HIDRAULICOS 11
3.8.3. DISEÑO DE LA TUBERÍA 13

1. INDRODUCCIÓN

1.1. SISTEMA ACTUAL DE TOMAS Y ACEQUIAS

La zona regable de la C.R. Nuestra Señora de la Alegría, objeto de la presente actuación, se abastece de agua del sistema de riegos del Canal de Aragón y Cataluña a través de 4 tomas distintas, 2 en el Canal de Zaidin, tomas Z-2.4 y Z-4.1, y otras 2 en la Acequia de San Sebastian, tomas S-2.1 y S-3.1.

Desde estas tomas se distribuye el agua a toda la superficie regable a través de una red de acequias, formada por cuatro acequias principales e independientes y un conjunto de ramales y brazales encargados de suministrar el agua a las diferentes parcelas que componen el sistema regable de la comunidad.

Partiendo de los listados de propietarios, superficies y parcelas facilitados por la propia Comunidad de Regantes Nuestra Señora La Alegría obtenemos que la superficie objeto de la presente modernización se abastece a través de cuatro tomas de riego independientes, de las cuales 2 se sitúan en la Acequia de San Sebastián y las otras 2 en el canal de Zaidín, con la siguiente distribución de superficies según acequia y toma de captación.

TOMA	Superficie (ha)	Caudal máximo suministrado por la toma (l/s)	Cota fondo inicio tubería/acequia de riego (m)
S-2.1	327,1987	130	354,10
S-3.1	144,1172		343,45
Z-2.4	135,7970	150	356,27
Z-4.1 Dcha.	218,7238		349,47

Desde cada una de las 4 tomas nacen sendas acequias de riego que distribuyen el agua por gravedad a toda la superficie regable según la siguiente distribución de superficies.

- Zona regable abastecida desde la Acequia de San Sebastián: 471,3159 ha
  - Toma S.2.1: 327,1987 ha
  - Toma S.3.1: 144,1172 ha
- Zona regable abastecida desde el Canal de Zaidín: 354,5208 ha
  - Toma Z 2.4: 135,7970 ha
  - Toma Z 4.1: 218,7238 ha

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PUNTO SELECCIONADO PARA LA CAPTACIÓN

La transformación del actual sistema de distribución del agua por acequias a un sistema presurizado de redes de tuberías a presión permitirá abordar la modernización de una manera integral sin tener en cuenta la actual sectorización de la C.R. condicionada por el sistema de acequias existente.

En la búsqueda de la solución ideal para el suministro de agua de la comunidad de regantes basándonos en que el sistema que ahora se proyecta es el de un sistema de riego presurizado se han tenido en cuenta las siguientes premisas y consideraciones:

- Se tratará de concentrar el abastecimiento de toda la superficie regable desde una única toma de tal manera que simplifique la solución adoptada ya que únicamente requerirá de una única balsa de pie de canal desde la que se abastezca la totalidad de la superficie regable concentrándose en ese punto la estación de bombeo, filtrado y suministro eléctrico. Esta solución permitirá minimizar el coste de la inversión y simplificar el manejo y gestión de la futura instalación.

- Priorizar la elección de la toma ubicada a mayor cota, lo que permitirá minimizar los costes energéticos y a ser posible que se ubique en la parte más alta de la zona regable.

- Priorizar aquellas tomas más centradas con respecto a la superficie regable que minimicen la longitud de tubería a instalar.

- Tener en cuenta la disponibilidad e idoneidad de terrenos próximos a la captación para el emplazamiento de una balsa de pie de canal.

- Considerar la proximidad de la captación seleccionada con respecto a los terrenos donde se vaya a emplazar la balsa elevada con el objetivo de minimizar la longitud de la tubería de impulsión.

- Prever la posibilidad de que desde esa toma se pueda ampliar la dotación de caudal suministrado desde el Canal de Zaidin o bien desde la Acequia de San Sebastian.

Teniendo en cuenta las premisas anteriores obtenemos que la **toma Z-2.4 del Canal de Zaidin** cumple con los condicionantes establecidos y objetivos planteados por lo que se

concluye que la solución óptima para el suministro hídrico de la superficie de la C.R. se realice a través de esta toma que concentrará la totalidad de los caudales concesionales.

Hay que tener en cuenta que esta solución pasa necesariamente por la solicitud de agrupación de caudales y la modificación de la toma para adaptarla al nuevo caudal concentrado.

Si bien, la demanda actual máxima se situaría en torno a los 500 l/s se ha solicitado la ampliación de la toma para un caudal máximo de 670 l/s en previsión de potenciales ampliaciones futuras o abastecimientos para otros usos.

Toma Z-2.4 sobre el Canal de Zaidin

Tras la consulta a la Comunidad de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña sobre la intención de ampliar la actual toma Z-2.4 con el objeto de concentrar en una única toma todos los caudales de la CR se nos informa que se autoriza el suministro de todo el caudal desde una única toma del Canal de Zaidín cuyas características se recogen en el siguiente apartado.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA DE TOMA EN EL CANAL DE ZAIDÍN

La captación de caudales para toda la comunidad de regantes se realizará desde un único punto de toma, coincidente con la que actualmente ya tiene en la **toma del Canal de Zaidín Z-2.4**, si bien será necesario la sustitución de los actuales equipos de regulación y medida diseñados para un caudal máximo de 100 l/s por otros que permitirán el suministro de hasta un **caudal máximo de 670 l/s,** si bien el caudal máximo normal que se producirá en la comunidad de regantes será de 457 l/s.

Las actuaciones y elementos a instalar en la toma serán los siguientes:

- Integración en **Centro de Control de la nueva toma en Pk 2,4 del Canal de Zaidín** consistente en la automatización de las almenaras, la alimentación electica fotovoltaica un armario de control y mando local, así como la programación e integración en el Centro de Control para sistema remoto.
- Instalación de una **compuerta de nivel constante** aguas abajo en carga tipo 16/360.
- Instalación de una **compuerta modular de caudal constante para 550 l/s** fraccionable en múltiplos de 50 l/s, para una variación de nivel de 15cm.
- Instalación de una **compuerta modular de caudal constante para 120 l/s** fraccionable en múltiplos de 10 l/s, para una variación de nivel de 10cm.
- Instalación de una **compuerta plana mural de 800x800 mm,** de acero inoxidable AISI 304 con accionamiento mediante reductor y cremallera.

3. DIMENSIONADO DE LA TUBERÍA DE CAPTACIÓN

3.1. DATOS DE PARTIDA

Se detallan a continuación las cotas de los diferentes elementos y terreno que se han tenido en cuenta para el diseño y cálculo de la tubería de captación y elementos de regulación y protección.

- Cota de descarga de las almenaras de la obra de toma: .....356,20 m.s.n.m.
- Nivel máximo ordinario de la balsa .....:355,25 m.s.n.m.
- Nivel máximo extraordinario de la balsa:.....355,55 m.s.n.m.
- Cota del terreno en la zona de captación.....359,00 m.s.n.m.
- Cota máxima del terreno en el tramo de la conducción.....359,50 m.s.n.m.
- Cota mínima del terreno en el tramo de la conducción .....356,45 m.s.n.m.
- Cota del terreno en la arqueta de entrada de agua a la balsa:.....356,45 m.s.n.m.

3.2. INTRODUCCIÓN

Basándonos en las cotas del terreno, captación y balsa de regulación se ha determinado que la solución técnicamente más adecuada para el transporte de los caudales concesionales desde la captación de agua en la toma Z-2.4 del Canal de Zaidín hasta la balsa de captación sea por gravedad, entrando en carga la tubería únicamente cuando se alcance el nivel máximo de agua embalsada en la balsa y comenzase a evacuarse el excedente de agua por el labio del aliviadero.

Los condicionantes que se han tenido en cuenta han sido los siguientes:

- La tubería de captación deberá tener un recubrimiento mínimo en todo su trazado de 1,00 m.
- La sobreelevación máxima del agua que se pueda producir en la captación en la situación más desfavorable de evacuación de agua con la balsa llena no podrá alcanzar la cota mínima de las almenaras adoptándose en este caso la cota 356,20.
- Deberá tener una capacidad de transporte de agua de al menos 650 l/s, que es el caudal máximo que se ha solicitado, si bien la demanda actual es de 460 l/s.
- La velocidad mínima se fija en 0,5 m/s, con la finalidad de evitar por una parte la sedimentación y el crecimiento de vegetación y por otro lado por razones económicas.

- La velocidad máxima se fija en 2 m/s con la finalidad de evitar riesgos de erosión, aunque el tipo de tubería a instalar permitirá la circulación del fluido en condiciones normales de hasta 3 m/s, sin embargo y en aras de permitir un mejor manejo del agua no se recomienda alcanzar velocidades tan elevadas.
- El factor fundamental que condicionará el diámetro necesario para cumplir con los requisitos o condicionantes técnicos establecidos es la fijación de la pendiente.
- Las velocidades en las conducciones a instalar no deberán ser excesivamente elevadas, considerando una velocidad máxima óptima de 1,5 m/s.
- Dado que se ha previsto que la tubería de captación entre en carga cuando alcance alturas próximas al nivel máximo de agua embalsado se opta por la instalación de tubería de presión, en nuestro caso se elige tubería de PRFV PN6.

3.3. METODO DE CÁLCULO APLICADO

Para la determinación de los caudales y velocidades que tendrán lugar bajo las condiciones hidráulicas específicas en cada tramo se ha recurrido a la fórmula de Manning:

$$Q(m^3/s) = \frac{S}{n} \cdot R^{(2/3)} \cdot I^{(1/2)}$$

Donde:

"S" es la sección transversal.

"c" es el coeficiente de Manning, el cual para tuberías de PRFV alcanza un valor de 0,01.

"R" es el radio hidráulico.

"I" es la pendiente.

3.4. DEFINICIÓN DEL TRAZADO Y LONGITUD DE LA TUBERÍA

El trazado de la tubería será el más corto entre la arqueta de captación y la arqueta aliviadero de entrada de agua a la balsa. La longitud resultante de esta tubería es de 127 metros.

3.5. DETERMINACIÓN DE LAS COTAS DE RASANTE Y PENDIENTES

La pendiente de la tubería estará marcada por el desnivel existente entre el inicio y final del tramo de acequia sobre el que se va a desarrollar la actuación.

La cota de la rasante de la zanja vendrá determinada por la cota mínima del terreno y los recubrimientos mínimos adoptados en 1,00 m. En nuestro caso la cota mínima del terreno es de 356,45 m.s.n.m. Consideramos que la rasante mínima de tubería estará ubicada en la cota 354,05 justo en la conexión de la tubería con la arqueta aliviadero de la balsa.

3.6. TUBERÍA ADOPTADA Y RESULTADOS DEL CÁLCULO

Partiendo de la tipología de tubería adoptada (PRFV) y teniendo en cuenta las pendientes disponibles y los caudales máximos que deberá ser capaz de transportar la tubería (650 l/s), se ha realizado un cálculo por tanteo mediante la aplicación de la fórmula de Manning de las diferentes opciones de diámetro posibles obteniéndose como sección hidráulicamente más adecuada la correspondiente a una **tubería de PRFV de DN800 mm.**

Datos de partida considerados en el cálculo:

DN Comercial (mm)	PRFV 800
Diametro interior (m)	0,782
Radio (m)	0,391
Rugosidad	0,0100
Longitud tubería	127 m
Desnivel	0,40 m
Pendiente (m/m)	0,0031

Resultados:

A continuación, se muestran los resultados del cálculo simulando el comportamiento de la tubería tanto para el caudal de cálculo o de diseño 450 l/s como para otros caudales posibles indicando el caudal máximo previsto de 650 l/s y el caudal máximo que podría transportar la tubería.

régimen de funcionamiento

Altura de agua (y)	**0,10**	**0,26**	**0,39**	**0,49**	**0,65**	**0,78**
Angulo de llenado (RAD)	1,495	2,462	3,128	**3,640**	4,601	6,283
Angulo de llenado (º)	86	141	179	**209**	264	360
Sección hidráulica	0,038	0,140	0,238	**0,315**	0,428	0,480
Perimetro mojado	0,58	0,96	1,22	**1,42**	1,80	2,46
Radio hidráulico	0,07	0,15	0,19	**0,22**	0,24	0,20

Resultados del cálculo

Velocidad (m/s)	**0,91**	**1,55**	**1,89**	**2,05**	**2,15**	**1,89**
Caudal (m3/s)	**0,03**	**0,22**	**0,45**	**0,65**	**0,92**	**0,91**
Caudal (l/s)	**35**	**218**	**449**	**646**	**921**	**908**

Tensión de arrastre

Número de froude	0,90	0,97	0,97	0,94	0,85	0,68
Tensión de arrastre (N/m2)	2,01	4,50	6,01	**6,83**	7,35	6,04

La Tensión de Arrastre debe ser superior a entre 1 y 2 N/m2

Analizando los resultados obtenidos del calculo obtenemos que para la tubería proyectada el nivel del agua que se alcanzará en su interior para transportar el caudal de diseño de 450 l/s será de 39 cm, encontrándose aproximadamente a un 50% de su capacidad máxima de transporte (921 l/s) bajo las condiciones de pendiente establecidas (0,3%).

3.7. TENSIÓN DE ARRASTRE

La tensión de arrastre es el esfuerzo tangencial unitario ejercido por él liquido sobre el colector y, consecuentemente, sobre el material en él depositado. El criterio de la tensión de arrastre para fines de cálculo de colectores busca establecer una pendiente para el tramo que sea capaz de provocar una tensión suficiente como para arrastrar el material que se deposita en el fondo y evitar así la acumulación de depósitos sobre el lecho o base de la tubería.

La tensión tractriz es proporcional a la pendiente del canal, en condiciones de escurrimiento uniforme (caudal constante).

La ecuación fundamental para el cálculo de la tensión tractil viene dada por la siguiente formula:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot i$$

donde:

τ: Tensión tractriz (N/m2).

$r \cdot g$: Peso específico del agua (9810 N/m3).

R : Radio hidráulico (m).

i : Pendiente del colector (m/m).

En este método debe cumplirse que para el caudal mínimo (*Q.* min diario), la tensión tráctriz mínima no debe ser inferior a la tensión tractriz mínima de diseño:

$$\tau \text{ min cálculo} >= \tau \text{ min diseño}$$

donde: τ min diseño = 1 ~ 2 N/m^2 o de 0,2 ~ 0,4 kg/m^2

En la tabla anterior se muestran los resultados del cálculo realizado de la tensión obteniéndose unos valores mínimos de tensión tractil de 2 N/m^2, mientras que para el caudal de diseño obtenemos un valor de 6,01 N/m^2, lo que indica que **para la sección de tubería proyectada, pendientes disponibles y caudales previstos no se prevé la acumulación de materiales en el fondo de la tubería.**

3.8. CALCULO Y DIMENSIONADO DE LA TUBERÍA EN CARGA O EN SIFON

3.8.1. DATOS DE PARTIDA

- **Pendiente y diferencia de cota:**

Según se ha determinado en el apartado anterior la pendiente de la tubería será del 0,3% y el desnivel entre los extremos de la tubería obtenido será de 0,40 m. Partiendo de la cota de la rasante de la tubería en la entrada a la arqueta aliviadero situada en la cota 354,65, obtenemos que la cota de la rasante de la tubería en la arqueta de la obra de toma se emplazará en la cota 355,05 y la cota de la generatriz superior de la tubería en la 355,85. (355,05 + 0,8 m)

El nivel máximo de agua que se alcanzará en el aliviadero cuando se este evacuando la máxima avenida de diseño calculada se sitúa en la cota 355,55 (Labio del aliviadero 0,30 m).

- **Caudal:** Normal de 450 l/s y máximo de 670 l/s

- **Materiales y diámetros**: tubería de PRFV DN800 PN6 SN10.000

- **Longitud de la conducción**: 127 m

3.8.2. CALCULOS HIDRAULICOS

- **Ecuaciones fundamentales de la energía:**

Para que cumpla su función el diseño del sifón, se debe de proceder como sigue:

Se analizará en la posiciones 1 y 2, para lo cual se aplicara la ecuación de la energía específica:

Energía especifica:

$$H_f = z_i + y_i + \frac{v_i^2}{2g}$$

Donde

Z_i: carga de posición

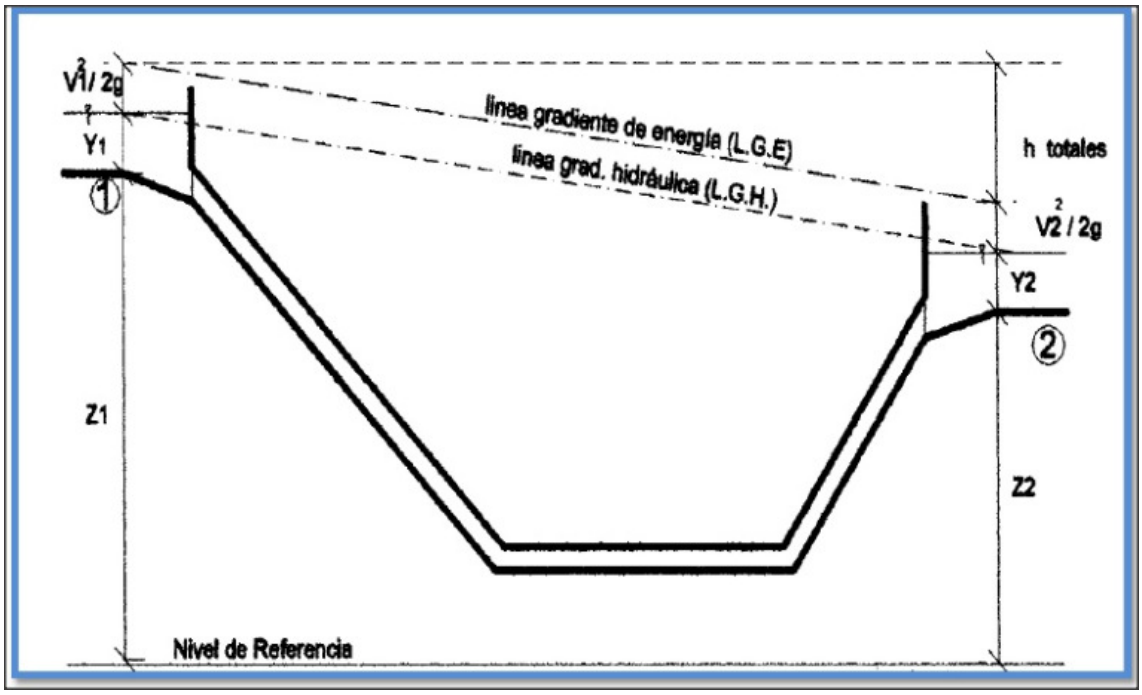
Y_i: carga de presión

$V_i/2g$: carga de velocidad (g=9.81 m/s^2)

ΔH: carga hidráulica

$$\Delta H = E_1 - E_2 = (z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g}) - (z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g})$$

Se debe cumplir que la carga hidráulica debe ser mayor a la suma de todas las pérdidas que se generan en el sifón.



La circulación del agua entre las arquetas de entrada y salida de la tubería que formará el sifón se producirá mediante un sistema de vasos comunicantes, donde el caudal trasegado dependerá de la diferencia de cota entre ambos puntos, de la sección de la tubería a instalar y de las pérdidas de carga originadas en el sistema.

La pérdida de carga total máxima admisible que se podrá producir en el sistema, para garantizar que no se sobrepasa la altura máxima de agua fijada en la arqueta de captación se deduce de la aplicación del teorema de Bernouilli entre las arquetas de entrada y salida, despreciando el término cinético:

$$h_r = Z_1 - Z_2 = 356{,}20 - 355{,}55 = 0{,}65 \text{ m}$$

- **<u>Formulación para el cálculo de tuberías:</u>**

Las tuberías se han calculado mediante la fórmula de Darcy-Weisbach de expresión:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

donde:

Hf = Pérdida de carga en mca.

f = Factor de fricción (adimensional).

L = Longitud del tramo en m.

D = Diámetro interior de la tubería en m.

V = Velocidad de la tubería en m/sg.

g = Aceleración de la gravedad 9,8 m/s2.

El factor de fricción se ha calculado por la fórmula de White Colebrook, de expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{Ka}{3{,}71D}\right)$$

donde:

Re = Nº de Reynolds.

Ka = Coeficiente de rugosidad absoluta.

- **<u>Criterios hidráulicos:</u>**

Tipo de líquido:.....agua limpia a una temperatura de 15º.

Viscosidad cinemática del agua a 15º..... 1,14 x 10^{-6} m^2/s.

Velocidades:

Velocidad máxima:.....2,0 m/s.

Velocidad mínima:.....0,5 m/s.

Fórmula de cálculo de pérdidas de carga: ..... Prandtl-Colebrook.

Rugosidad del PRFV (ka) .....0,01 mm.

3.8.3. DISEÑO DE LA TUBERÍA

- **Pérdidas de carga en las conducciones:**

A partir de las expresiones anteriores y partiendo de la longitud del sifón y caudal trasegado calculamos las velocidades y pérdidas de carga:

Tubería	Diámetro interior	Velocidad	Nº de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdidas de carga (hr+hs)
	(m)	(m/s)			(mca)
PRFV DN800 PN6	0,7840	1,35	9,26E+05	0,0120	0,191

- **Pérdidas de carga singulares en los elementos:**

Para el cálculo de las pérdidas de carga localizadas en los elementos singulares que componen el sifón utilizaremos la siguiente expresión:

$$hs = Ks \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Siendo Ks un coeficiente adimensional que depende del tipo de singularidad y V de la velocidad media en el interior de la tubería.

La pérdida de carga total en el interior de la tubería será el sumatorio de las pérdidas de carga producidas por rozamiento más las que se producen en cada singularidad.

Valores de Ks considerados para los diferentes elementos singulares:

Entrada a arqueta: 1,00

Salida a arqueta: 0,50

	Pérdida de carga (m)				
Elemento	**Codo 45º**	**Salida arqueta**	**Entrada arqueta**	**Tubería**	**Total (m)**
Nº elementos	**2**	**1**	**1**	**1**	
Ks	0,14	0,50	1,00		
PRFV DN800 PN6	0,004	0,046	0,092	0,191	**0,33**

Cálculo de longitudes equivalentes de tubería:

Las pérdidas de carga localizadas pueden expresarse como una longitud de tubería. El método consiste en hallar la longitud de una tubería recta del mismo diámetro cuya pérdida de carga continua equivale a la pérdida real en el elemento singular.

$$hs = K_s \cdot \frac{V^2}{2g} = f \cdot \frac{L_e}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \Rightarrow L_e = \frac{K_s \cdot D}{f}$$

La pérdida de carga total en una tubería de longitud *L* con *i* singularidades de longitud equivalente L_{ei} será la que produce una tubería del mismo diámetro de longitud total:

$$L_{ei} = L + \sum L_{ei}$$

	Longitud equivalente (m)				
Elemento	**Codo 45º**	**Salida arqueta**	**Entrada arqueta**	**Tubería**	**Total (m)**
Nº elementos	**2**	**1**	**1**	**1**	
Ks	0,14	0,50	1,00		
PRFV DN800 PN6	14	33	65	128	**240**

Cálculo de la sobrelevación máxima alcanzada:

A partir de la formulación descrita de Darcy-Weisbach y teniendo en cuenta la longitud de tubería equivalente obtenida a partir de las pérdidas de carga singulares, obtenemos el diámetro mínimo de tubería capaz de transportar el caudal de diseño con la diferencia de cota existente entre las arquetas de entrada y salida del sifón.

$$Q(l/h) = \left[\frac{\Delta h}{f \cdot \left(\frac{L}{D^5} \right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

	Desnivel (m)	Long. Equiv. (m)	Diámetro int. (mm)	f	Caudal (l/s)	Vel. m/s
PRFV DN800 PN6	**0,1630**	**240**	**782**	**0,0119**	**450**	**1,22**
PRFV DN800 PN6	**0,3440**	**240**	**782**	**0,0120**	**670**	**1,35**

Mediante el cálculo realizado obtenemos que para la tubería seleccionada **de PRFV DN800** se producirá una **sobrelevación en la arqueta de captación de 16,3 cm** y el agua circulará a una velocidad de 1,22 m/s, mientras que para el caudal máximo de 670 l/s la sobreelevación será de 34,4 cm y la velocidad de 1,35 m/s.

La cota máxima de agua que se alcanzará en la arqueta de toma será 34,4 cm (0,35 m) superior al nivel máximo extraordinario que se alcanzará en la balsa (355,55), es decir, alcanzará la cota 355,90 m.s.n.m.

La cota máxima alcanzada por el nivel de agua en la arqueta de toma se encontrará 30 cm por debajo de la cota máxima de agua que podrá darse en la arqueta de toma (356,20) para no interferir en la salida de agua de los elementos de medición de la obra de toma.