

**ANEJO Nº 7**

**IMPULSIÓN A Balsa.**

## **INTRODUCCIÓN**

A continuación se adjunta la documentación aportada por el equipo de Tragsatec correspondiente al cálculo y dimensionamiento de la impulsión del agua a la balsa de regulación desde su captación en el río Guadalquivir.

Dicha documentación consta del documento anejo propiamente dicho y de un apéndice en el que se presentan los planos elaborados por Tragsatec.

## **ÍNDICE**

<b>1.- CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA Balsa DE REGULACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1.- DATOS GENERALES .....	1
1.2.- ESTUDIO DE LA Balsa DE REGULACIÓN SEMANAL.....	1
1.3.- GRÁFICO DE REGULACIÓN SEMANAL .....	2
1.4.- CONCLUSIONES .....	4
<b>2.- CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN SECTOR IV .....</b>	<b>5</b>
2.1.- PERFIL LONGITUDINAL IMPULSIÓN .....	5
2.2.- DATOS GENERALES .....	7
2.3.- PARÁMETROS DE VELOCIDAD RECOMENDABLE .....	8
2.4.- COSTES TOTALES DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS PROPUESTAS .....	8
2.5.- CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....	11
2.6.- CÁLCULO DE LOS COSTES ENERGÉTICOS ACTUALIZADOS.....	14
2.6.1.- <i>Componentes de la facturación</i> .....	14
2.6.2.- <i>Modalidades Tarifarias</i> .....	15
2.6.3.- <i>Costes energéticos</i> .....	17
2.7.- COSTES TOTALES DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN .....	19
2.8.- TUBERÍA DE IMPULSIÓN SELECCIONADA.....	19
2.9.- DATOS DE LOS EQUIPOS DE IMPULSIÓN .....	21
2.10.- ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE DEL SECTOR IV.....	21
2.10.1.- <i>Datos de partida</i> .....	21
2.10.2.- <i>Tiempo de parada</i> .....	22
2.10.3.- <i>Celeridad de la onda de propagación</i> .....	23
2.10.4.- <i>Longitud crítica</i> .....	23
2.10.5.- <i>Análisis del perfil de la impulsión</i> .....	25
2.10.6.- <i>Dispositivo antiarriete</i> .....	26

## 1.- CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA Balsa DE REGULACIÓN

En el presente apartado se determinará cuál debe ser el volumen mínimo de la balsa de regulación para efectuar un manejo de regulación semanal, en la que aprovechando la discriminación horaria y los períodos tarifarios del sistema actual de facturación eléctrica, se realice el bombeo desde el río Guadalquivir hasta la balsa de regulación aprovechando las horas existentes en el período tarifario nº 6 (P6) que son las de menor coste. Estas horas se distribuyen de la siguiente forma, de lunes a viernes de 00:00 h a 08:00 h y los fines de semana 24 h.

### 1.1.- DATOS GENERALES

Proyecto: SECTOR IV DE LAS VEGAS ALTAS DEL RÍO GUADALQUIVIR

Superficie regable: 454 ha

Mes de máximas necesidades hídricas: Julio

Nº días mes máximas necesidades: 31 días

Necesidades Hídricas brutas mes máximas necesidades: 789.380,00 m<sup>3</sup>/mes

Caudal ficticio continuo: 0,65 l/s.ha

### 1.2.- ESTUDIO DE LA Balsa DE REGULACIÓN SEMANAL

Tal y como se ha comentado estudiaremos el mínimo volumen que debe tener la balsa para efectuar un sistema de regulación semanal.

Necesidades Hídricas diarias: 25.463,87 m<sup>3</sup>/día

Necesidades Hídricas semanales: 178.247,10 m<sup>3</sup>/semana

Modalidad Tarifaria: 3 ó 4

Bombeo limitado a Período Tarifario 6: Sí

	L	M	X	J	V	S	D
Nºhoras de P6	8	8	8	8	8	24	24

Nº total horas de bombeo en P6: 88 h/semana

Caudal mínimo de bombeo: 2.025,54 m<sup>3</sup>/h = 562,65 l/s

Nº máximo de horas de riego en la zona:	16	h/día		
Caudal mínimo de salida de agua:	1.591,49	m <sup>3</sup> /h	=	442,08 l/s
Nº máximo horas acumulación volumen (L-V):	8	h/día		
Máximo volumen acumulado (L-V):	16.204,28	m <sup>3</sup> /día		
Máximo volumen acumulado (S-D):	23.148,97	m <sup>3</sup> /día		
Volumen máximo acumulado en la balsa:	62.502,23	m <sup>3</sup> /semana		
Volumen de agua en la balsa el lunes 00:00 h:	46.297,95	m <sup>3</sup>		
Volumen de agua acumulado sábado 00:00h:	0,00	m <sup>3</sup>		

### 1.3.- GRÁFICO DE REGULACIÓN SEMANAL

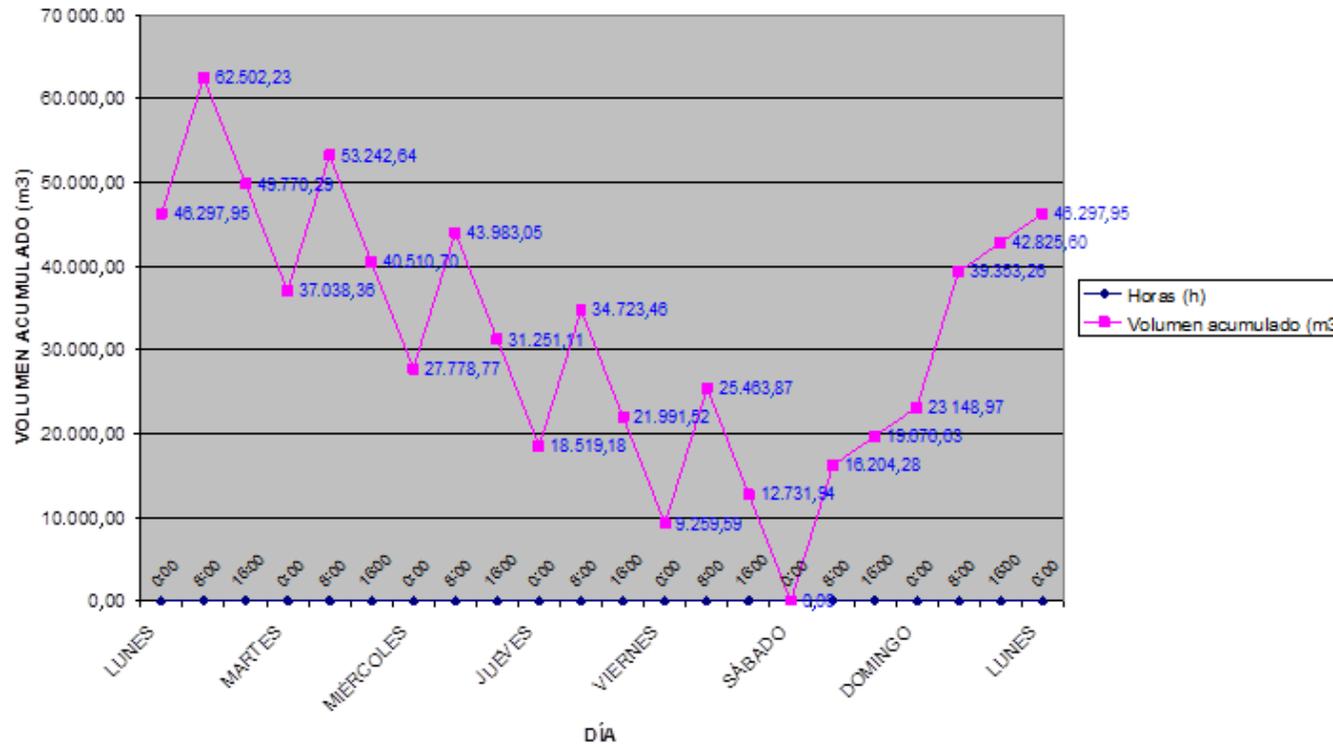
A raíz de los resultados anteriores podemos ver como el volumen mínimo de regulación que debe tener la balsa es de 62.502,23 m<sup>3</sup> y que el volumen que debe existir en la balsa al comienzo de la semana (Lunes 00:00 h) debe ser de 46.297,95 m<sup>3</sup>.

A continuación exponemos el gráfico de regulación de la balsa de toda la semana comenzando en el lunes a las 00:00 h.

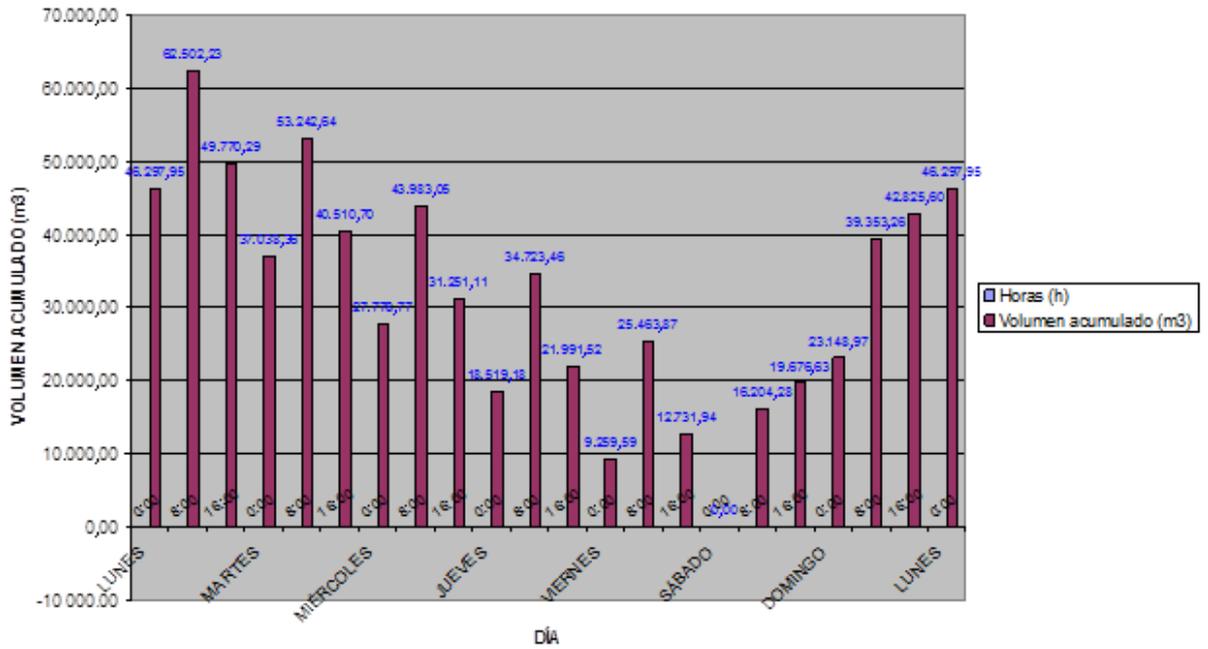
HORA	(h)	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES		
		0:00	8:00	16:00	0:00	8:00	16:00	0:00	8:00	16:00	0:00	8:00	16:00	0:00	8:00	16:00
V acumulado	(m <sup>3</sup> )	46.297,95	62.502,23	49.770,29	37.038,36	53.242,64	40.510,70	27.778,77	43.983,05	31.251,11	18.519,18	34.723,46	21.991,52	9.259,59	25.463,87	12.731,94

HORA	(h)	SÁBADO			DOMINGO			LUNES
		0:00	8:00	16:00	0:00	8:00	16:00	0:00
V acumulado	(m <sup>3</sup> )	0,00	16.204,28	19.676,63	23.148,97	39.353,26	42.825,60	46.297,95

REGULACIÓN DE CAUDALES



REGULACION DE CAUDALES



1.4.- CONCLUSIONES

Por lo tanto como resumen de todos los cálculos efectuados se obtienen los siguientes resultados:

- Caudal mínimo de bombeo: 562,65 l/s  $\approx$  563 l/s
- Bombeo de lunes a viernes: 8 horas (00:00 h-08:00 h)
- Bombeo fines de semana: 24 horas
- Volumen máximo acumulado en la balsa: 62.502,23 m<sup>3</sup>
- Volumen total adoptado balsa de regulación: 65.693,00 m<sup>3</sup>

## 2.- CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN SECTOR IV

### 2.1.- PERFIL LONGITUDINAL IMPULSIÓN

Se ha efectuado un levantamiento topográfico del trazado de la conducción y de la zona de ubicación de la balsa de regulación. Para la cota del final de la conducción se ha considerado la cota de coronación de la balsa. A continuación se muestran los resultados:

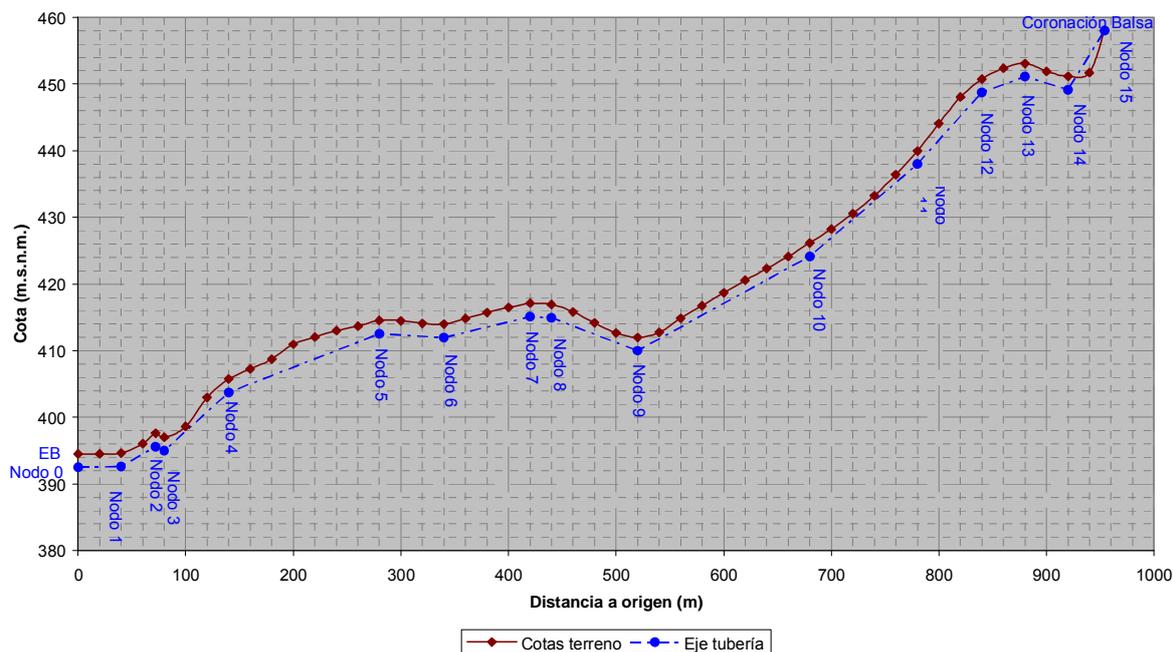
Distancia		Cota	Cota Aprox.
Parcial	A origen	Terreno	Eje tubería
(m)	(m)	(m.s.n.m.)	(m.s.n.m.)
0	0	394,5	392,5
20	20	394,5	392,5
20	40	394,63	392,63
20	60	396,06	394,06
11,96	71,96	397,6	395,6
8,04	80	396,98	394,98
20	100	398,61	396,61
20	120	403	401
20	140	405,75	403,75
20	160	407,24	405,24
20	180	408,75	406,75
20	200	410,96	408,96
20	220	412,04	410,04
20	240	412,99	410,99
20	260	413,69	411,69
20	280	414,53	412,53
20	300	414,5	412,5
20	320	414,08	412,08
20	340	413,98	411,98
20	360	414,81	412,81
20	380	415,71	413,71
20	400	416,47	414,47
20	420	417,09	415,09
20	440	416,94	414,94
20	460	415,8	413,8
20	480	414,17	412,17
20	500	412,66	410,66
20	520	412	410
20	540	412,76	410,76
20	560	414,85	412,85
20	580	416,75	414,75
20	600	418,67	416,67
20	620	420,55	418,55
20	640	422,34	420,34
20	660	424,11	422,11
20	680	426,15	424,15
20	700	428,24	426,24
20	720	430,58	428,58
20	740	433,24	431,24

Distancia		Cota	Cota Aprox.
Parcial	A origen	Terreno	Eje tubería
(m)	(m)	(m.s.n.m.)	(m.s.n.m.)
20	760	436,4	434,4
20	780	439,97	437,97
20	800	444,09	442,09
20	820	448,03	446,03
20	840	450,74	448,74
20	860	452,35	450,35
20	880	453,1	451,1
20	900	451,9	449,9
20	920	451,16	449,16
20	940	451,7	449,7
13,89	953,89	<b>458</b>	458

A partir de estas cotas se han establecido unos nodos de cálculo para efectuar el dimensionamiento de la tubería. Se han empleado las cotas del eje de la tubería, considerando una profundidad media de 2 m.

Cota Cál.	Distancia		Nodos
Eje tubería	A origen	Parcial	Cálculo
(m.s.n.m.)	(m)	(m)	
392,5	0	0	Nodo 0
392,63	40	40	Nodo 1
395,6	71,96	31,96	Nodo 2
394,98	80	8,04	Nodo 3
403,75	140	60	Nodo 4
412,53	280	140	Nodo 5
411,98	340	60	Nodo 6
415,09	420	80	Nodo 7
414,94	440	20	Nodo 8
410	520	80	Nodo 9
424,15	680	160	Nodo 10
437,97	780	100	Nodo 11
448,74	840	60	Nodo 12
451,1	880	40	Nodo 13
449,16	920	40	Nodo 14
458	953,89	33,89	Nodo 15-Balsa

PERFIL LONGITUDINAL IMPULSIÓN SECTOR IV



2.2.- DATOS GENERALES

CAUDAL A IMPULSAR:	563,00	l/s
ALTURA GEOMÉTRICA DE ELEVACIÓN:	65,50	m
PRESIÓN RESIDUAL:	0,00	m.c.a
LONGITUD DE LA IMPULSIÓN:	954,00	m
PERIODO DE AMORTIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES:	25	años
TASA ANUAL DE INTERÉS:	5,00	%
TIEMPO ANUAL DE BOMBEO EN HORAS PUNTA:	0,00	horas
TIEMPO ANUAL DE BOMBEO EN HORAS LLANO:	0,00	horas
TIEMPO ANUAL DE BOMBEO EN HORAS VALLE:	1.265,42	horas
TIPO DE TARIFA ELÉCTRICA A EMPLEAR (3 ó 4)	3 ó 4	
EQUIPOS DE BOMBEO INSTALADOS:	2	grupos
EQUIPOS DE BOMBEO DE RESERVA:	1	grupos
COSTE DE LA EXCAVACIÓN DE LA ZANJA:	3,83	€/m <sup>3</sup>
COSTE DE LA CAMA DE ARENA (D=7 km):	26,13	€/m <sup>3</sup>
COSTE DEL RELLENO SELECCIONADO DE LA ZANJA:	8,75	€/m <sup>3</sup>
COSTE DEL TAPADO, COMPACTADO Y EXTENDIDO MATERIAL SOBRANTE:	3,25	€/m <sup>3</sup>

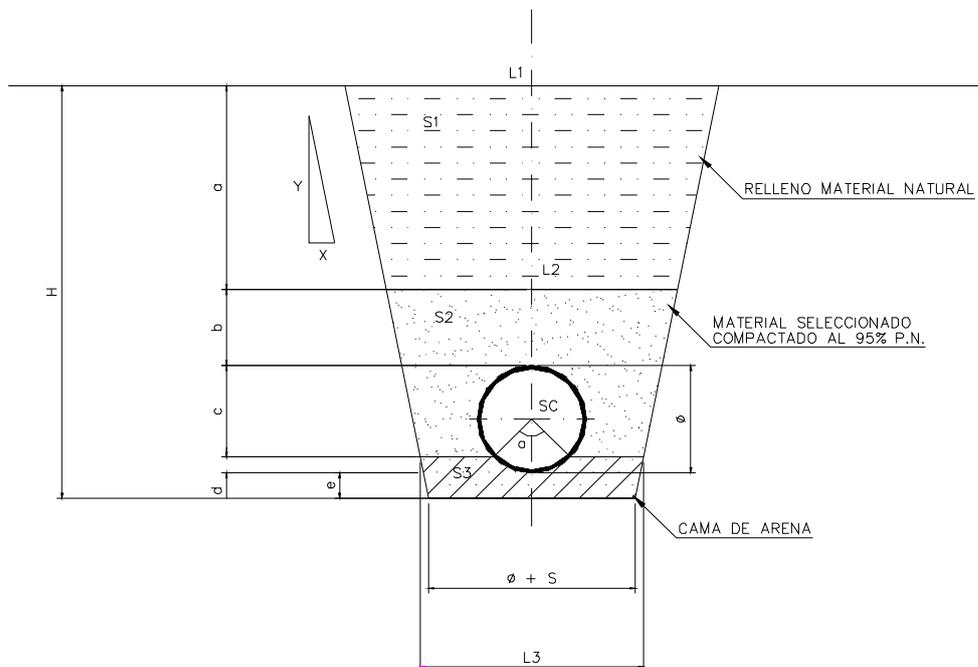
### 2.3.- PARÁMETROS DE VELOCIDAD RECOMENDABLE

Velocidad máx. admisible (m/s):	2,00	Hasta DN:	500	mm
Velocidad máx. admisible (m/s):	2,35	Hasta DN:	1.200	mm
Velocidad máx. admisible (m/s):	2,50	DN mayor de:	1.200	mm
Velocidad mín. admisible (m/s):	0,50			

Con este rango de velocidades máximas se tantearán diámetros desde los 600 mm hasta los 800 mm aproximadamente.

### 2.4.- COSTES TOTALES DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS PROPUESTAS

Para el cálculo de la tubería de impulsión tantearemos tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y de Hormigón Postesado con Camisa de Chapa (HPCCH) con junta elástica.



Las características generales de la zanja serán

**Ancho mínimo de zanja**

350	< DN (mm) ≤	700	Dext (m) + 0,6
700	< DN (mm) ≤	800	Dext (m) + 0,85

<b>Talud:</b>	H:	1
	V:	5

Ángulo cama                       $\alpha$ :        90        °

Para el caso del PEAD:

- a = 0,85 m
- b = 0,15 m
- e = 0,15 m

Para el caso del HPCCH:

- a = 0,5 m
- b = 0,6 m
- e = 0,15 m

De acuerdo con estos parámetros obtenemos los siguientes resultados:

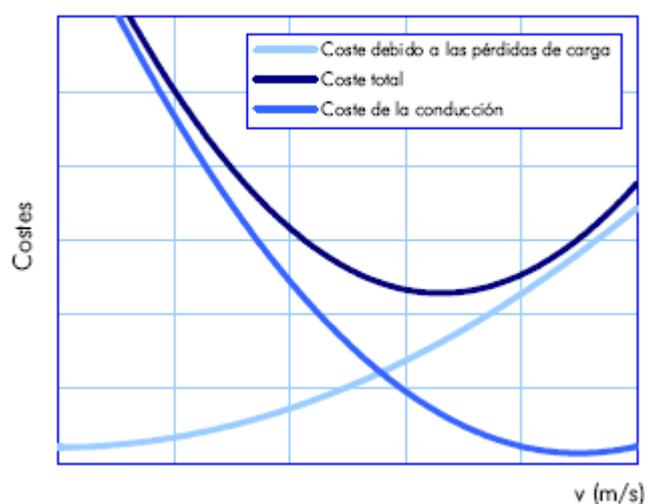
PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS DE LAS VEGAS DEL GUADALQUIVIR. VEGAS ALTAS. SECTOR IV. PROVINCIA DE JAÉN. FASES I Y II.

DN-PN mm-atm.	Material	D. int. mm	D. ext. mm	esp. mm	PVP tubo (€/m.l.)	Piez esp (€/m.l.)	Cost instal (€/m.l.)	Gastos Generales (€/m.l.)	Excav. (m3/m.l.)	Cama are (m3/m.l.)	Relleno sel (m3/m.l.)	Tap y ext (m3/m.l.)	Mov. tierras (€/m.l.)	COSTE TOTAL (€/m.l.)
630-6	PE AD 100	581,8	630,0	24,1	86,35	11,05	13,68	4,00	3,776	0,274	0,703	2,487	35,86	<b>150,93</b>
630-10	PE AD 100	555,2	630,0	37,4	125,45	16,05	14,66	5,60	3,776	0,274	0,703	2,487	35,86	<b>197,62</b>
630-16	PE AD 100	515,6	630,0	57,2	181,36	23,20	16,05	7,90	3,776	0,274	0,703	2,487	35,86	<b>264,36</b>
710-6	PE AD 100	655,6	710	27,2	109,77	14,04	17,08	5,07	4,890	0,383	1,041	3,070	47,83	<b>193,79</b>
710-10	PE AD 100	625,8	710	42,1	159,44	20,40	20,60	7,20	4,890	0,383	1,041	3,070	47,83	<b>255,47</b>
800-6	PE AD 100	738,8	800	30,6	139,03	17,78	18,45	6,30	5,121	0,396	1,103	3,119	49,75	<b>231,31</b>
800-10	PE AD 100	705,2	800	47,4	202,18	25,86	22,31	8,98	5,121	0,396	1,103	3,119	49,75	<b>309,08</b>

DN-PN mm-atm.	Material	D. int. mm	D. ext. mm	esp. mm	PVP tubo (€/m.l.)	Piez esp (€/m.l.)	Cost instal (€/m.l.)	Gastos Generales (€/m.l.)	Excav. (m3/m.l.)	Cama are (m3/m.l.)	Relleno sel (m3/m.l.)	Tap y ext (m3/m.l.)	Mov. tierras (€/m.l.)	COSTE TOTAL (€/m.l.)
600-9	HPCCH	600	750	75	123,24	23,65	17,04	5,61	4,750	0,337	1,771	2,200	49,65	<b>219,18</b>
600-11	HPCCH	600	750	75	124,28	23,85	17,06	5,65	4,750	0,337	1,771	2,200	49,65	<b>220,49</b>
600-13,5	HPCCH	600	750	75	126,98	24,37	17,13	5,76	4,750	0,337	1,771	2,200	49,65	<b>223,89</b>
600-16	HPCCH	600	750	75	129,58	24,86	17,20	5,87	4,750	0,337	1,771	2,200	49,65	<b>227,16</b>
700-6,5	HPCCH	700	880	90	156,36	30,00	17,87	6,97	5,328	0,379	1,990	2,352	55,35	<b>266,56</b>
700-9	HPCCH	700	880	90	157,00	30,12	17,88	7,00	5,328	0,379	1,990	2,352	55,35	<b>267,35</b>
700-11	HPCCH	700	880	90	160,18	30,74	17,96	7,13	5,328	0,379	1,990	2,352	55,35	<b>271,36</b>
700-13,5	HPCCH	700	880	90	165,64	31,78	18,10	7,35	5,328	0,379	1,990	2,352	55,35	<b>278,22</b>
700-16	HPCCH	700	880	90	169,68	32,56	18,20	7,52	5,328	0,379	1,990	2,352	55,35	<b>283,30</b>
800-6,5	HPCCH	800	964	82	173,58	33,31	18,93	7,70	6,358	0,475	2,468	2,686	67,08	<b>300,60</b>
800-9	HPCCH	800	964	82	177,27	34,01	19,02	7,85	6,358	0,475	2,468	2,686	67,08	<b>305,24</b>
800-11	HPCCH	800	964	82	182,40	35,00	19,15	8,06	6,358	0,475	2,468	2,686	67,08	<b>311,69</b>
800-13,5	HPCCH	800	964	82	188,34	36,14	19,30	8,31	6,358	0,475	2,468	2,686	67,08	<b>319,17</b>
800-16	HPCCH	800	964	82	195,79	37,57	19,49	8,61	6,358	0,475	2,468	2,686	67,08	<b>328,54</b>

## 2.5.- CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN

Tantaremos los costes de instalación para cada uno de los diámetros y materiales propuestos, obteniendo una altura manométrica en cabecera que utilizaremos más adelante para calcular los costes energéticos. La solución óptima será en la que la suma de los costes de instalación y los costes energéticos actualizados para el período de amortización considerado sea mínima.



La pérdida de carga unitaria se calculará mediante la fórmula de Darcy-Weisbach, por ser actualmente la de mayor aceptación, y cuya expresión es:

$$j = f \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g} \quad ; \quad j = \frac{8fQ^2}{\pi^2 g D^5}$$

El factor adimensional  $f$  (factor de fricción) se determina recurriendo al análisis dimensional y estableciendo unos parámetros adimensionales en los que estén incluidos todos los factores de los que depende dicho factor de fricción, estos son:

- $\varepsilon/D$  relación entre la rugosidad absoluta del material y su diámetro, conocida como rugosidad relativa ( $\varepsilon r$ ), que nos da la idea de la magnitud de las asperezas de la superficie interior de la conducción.
  - o Rugosidad Absoluta PEAD: 0,01 mm
  - o Rugosidad Absoluta HPCCH: 0,25 mm
- Re (número de Reynolds), refleja la influencia en las pérdidas de la viscosidad,  $\mu$  del fluido, causante de las tensiones cortantes y, por tanto, de las fuerzas de rozamiento.

En consecuencia, se tendrá definitivamente:

$$j = f(\varepsilon/D, \text{Re}) \frac{8Q^2}{D^5 g \pi^2}$$

expresión denominada como ecuación fundamental de pérdidas.

En el caso de tratarse de un flujo laminar ( $\text{Re} < 2.000$ ), se obtiene  $f$  mediante la fórmula de Poiseuille que lo expresa con toda exactitud:

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

En caso contrario, se obtendrá el factor de fricción mediante la fórmula de White-Colebrook, unánimemente aceptada en todos los tratados de hidráulica y que presenta la propiedad de que para tubos lisos ( $\varepsilon=0$ ), los resultados coinciden con los de Von Karman, mientras que para  $\text{Re}$  elevados y tubos rugosos concuerda totalmente con la expresión de Nikuradse. El único inconveniente de esta fórmula reside en la necesidad de realizar sucesivas iteraciones por figurar el factor  $f$  de forma implícita; sin embargo, hoy día con el uso de ordenadores el problema está completamente resuelto. La fórmula en cuestión es la siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Para el cálculo de la Pérdida de Carga Total, se considera un porcentaje correspondiente a singularidades del **5%**, así mismo se han considerado las pérdidas existentes en los puntos de cambio de diámetro interior, las pérdidas de carga en bomba y válvulas y se ha descontado la altura de velocidad.

Así mismo se establece un margen de seguridad para el cálculo de los timbrajes de 10 m.c.a. con respecto a la máxima presión calculada en cada punto que en este caso será la presión dinámica.

La altura manométrica  $H_m$  se obtiene sumando a las pérdidas de carga totales el desnivel geométrico y la presión residual.

La potencia en CV se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$N = \frac{Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta}$$

A continuación se muestran los resultados para cada uno de los diámetros ensayados:

D.N. (mm)	Material	Caudal (l/s)	J total (m.c.a.)	Junitaria (m.c.a./m)	Altura manométrica (m.c.a.)	Timbraje (atm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Coste (€m)	Coste total (€)
630	PEAD	563	5,77	0,00605	71,27	6	2,12	673,89	150,93	101.710,22
						10	2,33	280	197,62	55.333,60
								953,89		157.043,82

D.N. (mm)	Material	Caudal (l/s)	J total (m.c.a.)	Junitaria (m.c.a./m)	Altura manométrica (m.c.a.)	Timbraje (atm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Coste (€m)	Coste total (€)
710	PEAD	563	3,07	0,00322	68,57	6	1,67	673,89	193,79	130.593,14
						10	1,83	280	255,47	71.531,60
								953,89		202.124,74

D.N. (mm)	Material	Caudal (l/s)	J total (m.c.a.)	Junitaria (m.c.a./m)	Altura manométrica (m.c.a.)	Timbraje (atm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Coste (€m)	Coste total (€)
800	PEAD	563	1,73	0,00181	67,23	6	1,31	673,89	231,31	155.877,50
						10	1,44	280	309,08	86.542,40
								953,89		242.419,90

D.N. (mm)	Material	Caudal (l/s)	J total (m.c.a.)	Junitaria (m.c.a./m)	Altura manométrica (m.c.a.)	Timbraje (atm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Coste (€m)	Coste total (€)
600	HPCCH	563	5,92	0,00620	71,42	9	1,99	953,89	219,18	209.073,61
								953,89		209.073,61

D.N. (mm)	Material	Caudal (l/s)	J total (m.c.a.)	Junitaria (m.c.a./m)	Altura manométrica (m.c.a.)	Timbraje (atm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Coste (€m)	Coste total (€)
700	HPCCH	563	2,71	0,00284	68,21	6,5	1,46	813,89	266,56	216.950,52
						9	1,46	140	267,35	37.429,00
								953,89		254.379,52

D.N. (mm)	Material	Caudal (l/s)	J total (m.c.a.)	Junitaria (m.c.a./m)	Altura manométrica (m.c.a.)	Timbraje (atm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Coste (€m)	Coste total (€)
800	HPCCH	563	1,38	0,00145	66,88	6,5	1,12	813,89	300,6	244.655,33
						9	1,12	140	305,24	42.733,60
								953,89		287.388,93

## **2.6.- CÁLCULO DE LOS COSTES ENERGÉTICOS ACTUALIZADOS**

### **2.6.1.- Componentes de la facturación**

Para el cálculo de los costes energéticos se ha prestado especial atención a los cambios efectuados en la tarificación eléctrica en España a partir del 1 de julio de 2.008. A partir de esta fecha, desaparecen las tarifas generales de alta tensión, la tarifa horaria de potencia y las tarifas de riegos de alta tensión.

Las tarifas de acceso de alta tensión son:

- Tarifa 3.1.A: tarifa de 3 períodos para tensiones de 1 a 36 kV. Será de aplicación a los suministros en tensiones comprendidas entre 1 y 36 kV con potencia contratada en todos los períodos tarifarios igual o inferior a 450 kW
- Tarifas 6: tarifas generales para alta tensión. Serán de aplicación a cualquier suministro en tensiones comprendidas entre 1 y 36 kV con potencia contratada en alguno de los períodos tarifarios superior a 450 kW y a cualquier suministro en tensiones superiores a 36 kV
- Para ambas tarifas debe cumplirse que la potencia demandada en un período tarifario ( $P_{n+1}$ ) debe ser igual o mayor que la contratada en el período tarifario anterior ( $P_n$ )

En el caso de este estudio siempre deben contratarse más de 450 kW por lo tanto la tarifa de acceso a emplear será la 6.

Para el cálculo de los costes energéticos se han tenido en cuenta los siguientes conceptos:

- Término de facturación por potencia
- Término de facturación de energía activa
- Impuesto eléctrico

#### Término de facturación por potencia:

- Para cada uno de los períodos tarifarios se contratará una potencia, aplicable todo el año
- El término de facturación de potencia (anual) es el sumatorio de los productos de la potencia a facturar en cada período tarifario por el precio del término de potencia del período:

- $FP = \sum \text{Potencia a facturar}_i * \text{Precio TP}_i$
- En las Tarifas 6 la potencia a facturar en cada período tarifario será la potencia contratada.
- Cada mes se facturará la doceava parte de dicho término.

#### Término de facturación de energía activa:

- Será el sumatorio resultante de multiplicar la energía consumida y medida por contador en cada período tarifario por el precio del término de energía correspondiente.

- $$\sum_{i=1}^{i=n} Ei \cdot t_{ei}$$

- o  $Ei$  = energía consumida en el período tarifario  $i$
- o  $t_{ei}$  = precio del término de energía en el período tarifario  $i$  (€/kW.h)

#### Impuesto eléctrico

- El consumo de electricidad está gravado por el impuesto Eléctrico que supone el 4,864% sobre el resultado de multiplicar por 1,05113 todos los conceptos relacionados con la potencia demandada y el consumo eléctrico

#### I.V.A.

- El I.V.A. correspondiente a la electricidad es el general, es decir el 18%. En el caso de este estudio el IVA no se ha considerado en el cálculo de los costes de instalación (ejecución material) y por tanto tampoco se va a considerar en el caso de los costes eléctricos para que toda la comparación importe sea sin I.V.A.

### **2.6.2.- Modalidades Tarifarias**

Para el cálculo de las estimaciones económicas del estudio de alternativas, se han empleado los precios de la energía que aparecen en la “Propuesta de Iberdrola para Riegos”, incluida dentro de las “Ofertas de Iberdrola en el Mercado Libre”.

Dentro de estas ofertas, sólo serán de aplicación a las infraestructuras existentes las siguientes modalidades:

- Modalidad 3: Binómica de 6 precios para suministros con potencia superior a 450 kW

Grupo Tarifario	Término de Potencia (Orden IET/843/2012)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
6.1 (c€/ kW.año)	1.768,31	884,92	647,61	647,61	647,61	295,48
6.1 (€/ kW.año)	17,68	8,85	6,48	6,48	6,48	2,95

Grupo Tarifario	Término de Energía					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
6.1 (c€/ kW.h)	13,1781	11,3662	11,0304	9,9734	9,3271	6,9915
6.1 (€/ kW.h)	0,1318	0,1137	0,1103	0,0997	0,0933	0,0699

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	1º JUNIO	2º JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECEMBRE	
00 a 01	PERIODO 6													00 a 01
01 a 02	PERIODO 6													01 a 02
02 a 03	PERIODO 6													02 a 03
03 a 04	PERIODO 6													03 a 04
04 a 05	PERIODO 6													04 a 05
05 a 06	PERIODO 6													05 a 06
06 a 07	PERIODO 6													06 a 07
07 a 08	PERIODO 6													07 a 08
08 a 09	PERIODO 6													08 a 09
09 a 10	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	09 a 10
10 a 11	PERIODO 1	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	10 a 11
11 a 12	PERIODO 1	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	11 a 12
12 a 13	PERIODO 1	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	12 a 13
13 a 14	PERIODO 1	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	13 a 14
14 a 15	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	14 a 15
15 a 16	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	15 a 16
16 a 17	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	16 a 17
17 a 18	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	17 a 18
18 a 19	PERIODO 1	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	18 a 19
19 a 20	PERIODO 1	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	19 a 20
20 a 21	PERIODO 1	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	20 a 21
21 a 22	PERIODO 1	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	21 a 22
22 a 23	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	22 a 23
23 a 24	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 4	PERIODO 2	23 a 24

**PERIODO 6 : ADEMAS DE LAS HORAS SEÑALADAS, TODAS LAS HORAS DE FINES DE SEMANA Y FIESTAS NACIONALES ( o autonómicas que las sustituyan)**

- Modalidad 4: Binómica de 9 precios para suministros con potencia superior a 450 kW

Grupo Tarifario	Término de Potencia (Orden IET/843/2012)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
6.1 (c€/ kW.año)	1.768,31	884,92	647,61	647,61	647,61	295,48
6.1 (€/ kW.año)	17,68	8,85	6,48	6,48	6,48	2,95

Grupo Tarifario	Término de Energía								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6-Valles	P6-Agos-P	P6-Sab-P	P6-Dom-P
6.1 (c€/ Kw.h)	13,1781	11,3662	11,0304	9,9734	9,3271	6,5265	9,7966	8,2618	7,4071
6.1 (€/ Kw.h)	0,1318	0,1137	0,1103	0,0997	0,0933	0,0653	0,0980	0,0826	0,0741

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB.	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
02 a 01													02 a 01
01 a 02													01 a 02
02 a 03													02 a 03
03 a 04													03 a 04
04 a 05					PS U								04 a 05
05 a 06													05 a 06
06 a 07													06 a 07
07 a 08													07 a 08
08 a 09						P4			P4				08 a 09
09 a 10						P2	P2						09 a 10
10 a 11	P1		P4			P3	P1	PS	P3		P4	P1	10 a 11
11 a 12	P1		P4			P3	P1	PS	P3		P4	P1	11 a 12
12 a 13				PS	PS			Punta		PS			12 a 13
13 a 14								Agosto					13 a 14
14 a 15							P1	P1					14 a 15
15 a 16													15 a 16
16 a 17													16 a 17
17 a 18													17 a 18
18 a 19													18 a 19
19 a 20	P1		P3			P4			P4		P3	P1	19 a 20
20 a 21													20 a 21
21 a 22							P2	P2					21 a 22
22 a 23	P2		P4								P4		22 a 23
23 a 24													23 a 24

HORARIO DE FINES DE SEMANA			
	SABADO	DOMINGO	
00 a 01			00 a 01
01 a 02			01 a 02
02 a 03			02 a 03
03 a 04		P6	03 a 04
04 a 05			04 a 05
05 a 06			05 a 06
06 a 07			06 a 07
07 a 08			07 a 08
08 a 09			08 a 09
09 a 10			09 a 10
10 a 11			10 a 11
11 a 12			11 a 12
12 a 13			12 a 13
13 a 14	P6 - Sab		13 a 14
14 a 15			14 a 15
15 a 16			15 a 16
16 a 17		P6 - Dom	16 a 17
17 a 18			17 a 18
18 a 19			18 a 19
19 a 20			19 a 20
20 a 21			20 a 21
21 a 22			21 a 22
22 a 23			22 a 23
23 a 24			23 a 24

En el mes de máxima demanda que es el mes de julio existen 8 horas en P6, 8 horas en P2 y 8 horas en P1.

### 2.6.3.- Costes energéticos

Se remarca en este apartado que todos los costes, incluidos los energéticos son sin IVA para poder compararlos todos dentro del contexto de ejecución material.

Los costes energéticos para el PEAD serán:

D.N. (mm)	Qt (l/s)	Nº Ud (ud)	Altura mano. (m.c.a.)	Qb (l/s)	Nb Pto func. (kW)	Nb Punto func. (CV)	Nmotor (kW)	Nmotor (CV)	Nmotor (CV)	Ntotal motor (kW)	N serv. Aux (kW)	N total Inst. (kW)	N max cons. (kW)
630	563	2	71,269	281,5	249,00	338,55	315	428	425	630	10	640	498
710	563	2	68,57	281,5	239,91	326,19	315	428	425	630	10	640	479,82
800	563	2	67,23	281,5	235,23	319,82	315	428	425	630	10	640	470,46

D.N. (mm)	MODALIDAD TARIFARIA 3				MODALIDAD TARIFARIA 4			
	F. Potencia (€año)	F. Consumo (€año)	I.E. (€año)	F. Total (€año)	F. Potencia (€año)	F. Consumo (€año)	I.E. (€año)	F. Total (€año)
630	2.350,70	44.059,01	2.372,79	48.782,50	2.350,70	42.594,62	2.297,92	47.243,24
710	2.350,70	42.449,70	2.290,51	47.090,91	2.350,70	41.038,81	2.218,37	45.607,88
800	2.350,70	41.622,49	2.248,22	46.221,41	2.350,70	40.239,09	2.177,49	44.767,28

Se observa que la modalidad tarifaria 4 es la más barata y por tanto será la que se escoja para continuar con los cálculos.

Los costes energéticos actualizados considerando un interés del 5% y una tasa de inflación en los precios de la energía del 3% para un período de amortización de las instalaciones de 25 años serán:

D.N. (mm)	Modalidad Tarifaria	Costes Energéticos (€año)	Período Amort. (años)	Interés (%)	Inflación (%)	Factor correc. Infl.	Tasa Actualización	Costes Energéticos Actual. (€)
630	4	47.243,24	25	5%	3,0%	0,019	19,66	928.690,18
710	4	45.607,88	25	5%	3,0%	0,019	19,66	896.542,88
800	4	44.767,28	25	5%	3,0%	0,019	19,66	880.018,67

Los costes energéticos para el HPCCH serán:

D.N. (mm)	Qt (l/s)	Nº Ud (ud)	Altura mano. (m.c.a.)	Qb (l/s)	Nb Pto func. (kW)	Nb Punto func. (CV)	Nmotor (kW)	Nmotor (CV)	Nmotor (CV)	Ntotal motor (kW)	N serv. Aux (kW)	N total Inst. (kW)	N max cons. (kW)
600	563	2	71,415	281,5	249,57	339,32	315	428	425	630	10	640	499,14
700	563	2	68,205	281,5	238,65	324,47	315	428	425	630	10	640	477,30
800	563	2	66,88	281,5	234,3	318,56	315	428	425	630	10	640	468,6

D.N. (mm)	MODALIDAD TARIFARIA 3				MODALIDAD TARIFARIA 4			
	F. Potencia (€año)	F. Consumo (€año)	I.E. (€año)	F. Total (€año)	F. Potencia (€año)	F. Consumo (€año)	I.E. (€año)	F. Total (€año)
600	2.350,70	44.159,86	2.377,94	48.888,50	2.350,70	42.692,13	2.302,90	47.345,73
700	2.350,70	42.227,64	2.279,16	46.857,50	2.350,70	40.824,12	2.207,40	45.382,22
800	2.350,70	41.457,93	2.239,80	46.048,43	2.350,70	40.080,00	2.169,35	44.600,05

Se observa que la modalidad tarifaria 4 es la más barata y por tanto será la que se escoja para continuar con los cálculos.

Los costes energéticos actualizados considerando un interés del 5% y una tasa de inflación en los precios de la energía del 3% para un período de amortización de las instalaciones de 25 años serán:

D.N. (mm)	Modalidad Tarifaria	Costes Energéticos (€/año)	Período Amort. (años)	Interés (%)	Inflación (%)	Factor correc. Infl.	Tasa Actualización	Costes Energéticos Actual. (€)
600	4	47.345,73	25	5%	3%	0,019	19,66	930.704,89
700	4	45.382,22	25	5%	3%	0,019	19,66	892.106,94
800	4	44.600,05	25	5%	3%	0,019	19,66	876.731,33

## 2.7.- COSTES TOTALES DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN

En función de los costes de instalación de las tuberías y de los costes energéticos actualizados se pueden establecer los costes totales:

Para la tubería de PEAD:

D.N. (mm)	Material	Caudal (l/s)	Altura manométrica (m.c.a.)	Potencia Instalada (kW)	COSTES				Total Actualizado (€)
					Costes instalación tuberías (€)	Valvulería (€)	Equipos (€)	Energéticos Actual. (€)	
630	PEAD	563	71,269	640	157.043,82	3.140,88	384.000	928.690,18	1.472.874,88
710	PEAD	563	68,57	640	202.124,74	4.042,49	384.000	896.542,88	1.486.710,12
800	PEAD	563	67,23	640	242.419,90	4.848,40	384.000	880.018,67	1.511.286,97

Para la tubería de HPCCH:

D.N. (mm)	Material	Caudal (l/s)	Altura manométrica (m.c.a.)	Potencia Instalada (kW)	COSTES				Total Actualizado (€)
					Costes instalación tuberías (€)	Valvulería (€)	Equipos (€)	Energéticos Actual. (€)	
600	HPCCH	563	71,415	640	209.073,61	4.181,47	384.000	930.704,89	1.527.959,98
700	HPCCH	563	68,205	640	254.379,52	5.087,59	384.000	892.106,94	1.535.574,05
800	HPCCH	563	66,88	640	287.388,93	5.747,78	384.000	876.731,33	1.553.868,04

## 2.8.- TUBERÍA DE IMPULSIÓN SELECCIONADA

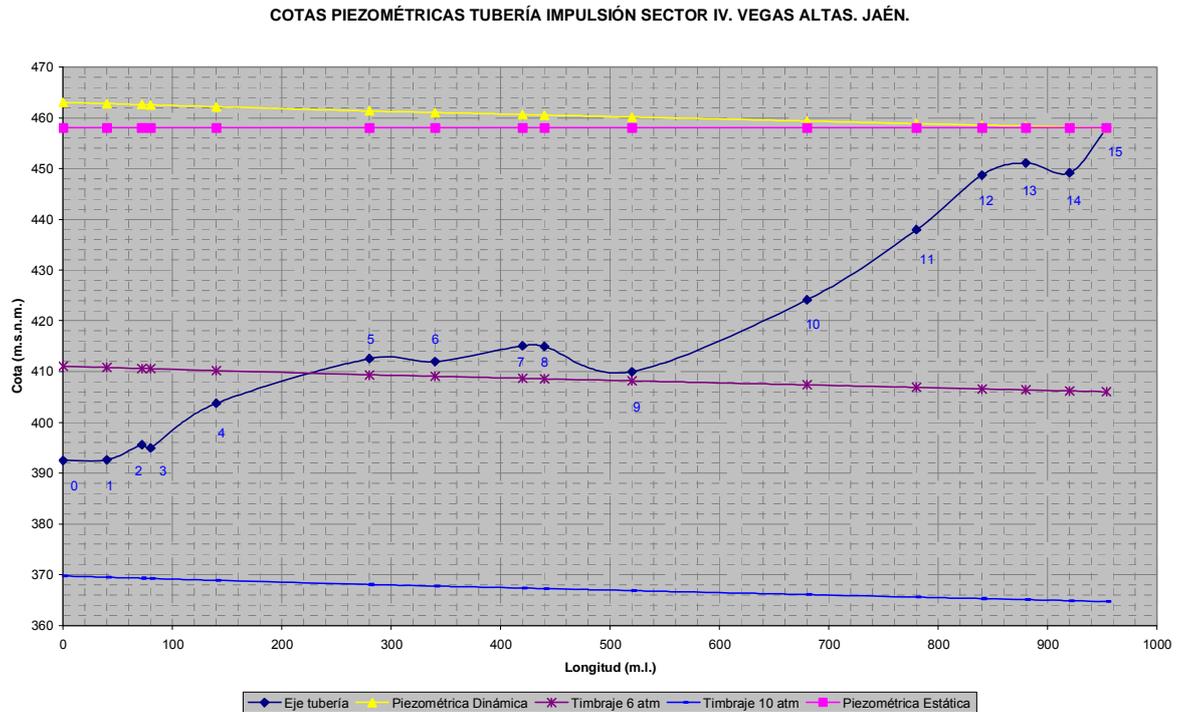
A la vista de los resultados anteriores y basándose en el estudio de costes efectuado se concluye que la tubería óptima de impulsión de la de diámetro **630 mm de PEAD**.

Los resultados son los siguientes:

- P.K. 0+000 – P.K. 0+280.....630 PEAD PN 10.....L= 280 m
- P.K. 0+280 – P.K. 0+954.....630 PEAD PN 6 .....L= 674 m

Nodo Inicial	Nodo Final	Li-i-1 (m.l.)	Cota nodo final (m.s.n.m.)	ΣL (m.l.)	Q (l/s)	V (m/s)	DN (mm)	Di (mm)	PN/DP (atm)	Material	Presión		Cota Piezométrica		
											Estática (m.c.a.)	Dinámica (m.c.a.)	Estática (m.s.n.m.)	Dinámica (m.s.n.m.)	
Ni-1	Ni														
0	0	0	392,5	0	563	2,33	630					65,50	70,55	458,00	463,05
0	1	40,00	392,63	40,00	563	2,33	630	555,2	10	PEAD		65,37	70,17	458,00	462,80
1	2	31,96	395,60	71,96	563	2,33	630	555,2	10	PEAD		62,40	67,00	458,00	462,60
2	3	8,04	394,98	80,00	563	2,33	630	555,2	10	PEAD		63,02	67,57	458,00	462,55
3	4	60,00	403,75	140,00	563	2,33	630	555,2	10	PEAD		54,25	58,42	458,00	462,17
4	5	140,00	412,53	280,00	563	2,33	630	555,2	10	PEAD		45,47	48,82	458,00	461,35
5	6	60,00	411,98	340,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		46,02	49,07	458,00	461,05
6	7	80,00	415,09	420,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		42,91	45,56	458,00	460,65
7	8	20,00	414,94	440,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		43,06	45,61	458,00	460,55
8	9	80,00	410,00	520,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		48,00	50,15	458,00	460,15
9	10	160,00	424,15	680,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		33,85	35,21	458,00	459,36
10	11	100,00	437,97	780,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		20,03	20,89	458,00	458,86
11	12	60,00	448,74	840,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		9,26	9,83	458,00	458,57
12	13	40,00	451,10	880,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		6,90	7,27	458,00	458,37
13	14	40,00	449,16	920,00	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		8,84	9,01	458,00	458,17
14	15	33,89	458,00	953,89	563	2,12	630	581,8	6	PEAD		0,00	0,00	458,00	458,00

El gráfico de líneas piezométricas relativo a esta conducción es:



## 2.9.- DATOS DE LOS EQUIPOS DE IMPULSIÓN

A partir de los datos obtenidos para la tubería de 630 PEAD podemos establecer las características que deberán tener los equipos de impulsión. Se dispondrán 2 grupos de bombeo:

Nº de grupos de bombeo :	2		
Caudal unitario de bombeo :	281,50	l/s	
Altura manométrica de impulsión :	71,3	m.c.a.	
Peso específico del Fluido :	1.000	kg/m <sup>3</sup>	
Rendimiento Hidráulico de la bomba :	0,862		
Rendimiento Eléctrico del motor :	0,9164		
Rendimiento conjunto del grupo motor-bomba :		0,79	
Potencia absorbida por el Motor Eléctrico de la Red :		249,00	kW
Potencia máxima consumida:	498,00	kW	
Potencia motor comercial:	315	kW	
Potencia total Grupos EB :	630,00	kW	

En el Anejo de la Estación de Bombeo se realiza una descripción más exacta de los grupos de bombeo aportando sus curvas.

## 2.10.-ESTUDIO DEL GOLPE DE ARIETE DEL SECTOR IV

### 2.10.1.-Datos de partida

Es fundamental en toda impulsión estudiar las posibles sobrepresiones o depresiones que pudieran producirse como consecuencia de la parada brusca de los equipos de bombeo; tal caso puede presentarse ante un corte inesperado de la energía eléctrica.

El estudio se va a realizar mediante el método de Mendiluce siendo los datos de partida los siguientes:

CAUDAL IMPULSADO:	563	l/s
DESNIVEL GEOMÉTRICO:	65,5	m
ALTURA MANOMÉTRICA:	71,3	m.c.a.
Nº DE TRAMOS DISTINTOS (Max. 15):	2	tramos

Las características de los distintos tramos en que se divide la impulsión son:

Tramo	DN (mm)	D interior (mm)	Timbraje (atm)	Espesor (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
1	630	555,2	10	37,4	2,33	280
2	630	581,8	6	24,1	2,12	674
Equivalente	630	573,99		28,00	2,18	954

De estos valores se obtiene una impulsión equivalente de las siguientes características:

LONGITUD TOTAL:	954	m
DIÁMETRO INTERIOR EQUIVALENTE:	573,99	mm
VELOCIDAD EQUIVALENTE:	2,18	m/s
ESPESOR EQUIVALENTE:	28	mm
MÓDULO DE ELASTICIDAD EQUIVALENTE:	$10^8$	Kg/m <sup>2</sup>

### 2.10.2.-Tiempo de parada

Resulta éste de la siguiente expresión de Mendiluce:

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot V}{g \cdot H_m}$$

En la que:

T = Tiempo de parada, en segundos:

C = Coeficiente adimensional que toma los siguientes valores:

C = 1,0	cuando $H_m / L < 0,2$	C = 0,4	cuando $H_m / L = 0,35$ aprox.
C = 0,8	cuando $H_m / L = 0,25$ aprox.	C = 0,2	cuando $H_m / L = 0,37$ aprox.
C = 0,6	cuando $H_m / L = 0,35$ aprox.	C = 0	cuando $H_m / L = 0,4$ aprox.

K= Coeficiente experimental adimensional, cuyo valor depende de la longitud de la impulsión y vale:

K=2	para $L < 500$ m
K=1,75	para $L = 500$ m
K=1,5	para $500 < L < 1.500$ m
K=1,25	para $L = 1.500$ m aprox.
K=1	para $L > 1.500$ m

L = Longitud de la impulsión, en metros.

v = Velocidad de circulación del fluido, en m/s.

g = aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>.

Hm = Altura manométrica total, en m.c.a.

En nuestro caso se obtienen:  $C = 1$  y  $K = 1,5$

Resultando un tiempo de parada de:  $T = 5,46$  s

### 2.10.3.-Celeridad de la onda de propagación

Para conocer la forma de calcular la sobrepresión; es decir, para elegir la fórmula que se debe emplear, es preciso conocer el valor de la celeridad de la onda, para lo que emplearemos la siguiente expresión de Allievi:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D_m}{e}}}$$

En la que:

$a$ = Velocidad de propagación de la onda, en m/s

$D_m$ = Diámetro de la fibra media del tubo, en mm

$e$ = Espesor del tubo, en mm

$K = 10^{10}/E$ ; siendo  $E$ , el Módulo de elasticidad del material.

En nuestro caso tendremos  $a = 216$  m/s

### 2.10.4.-Longitud crítica

La longitud crítica es aquella distancia que separa el final de la impulsión del punto crítico o de coincidencia de los valores de Michaud y Allievi y nos determina si la impulsión es "corta" o "larga". Viene dada por la siguiente expresión:

$$L_c = \frac{a \cdot T}{2}$$

Si  $L_c > L$  la impulsión es "corta" y el máximo golpe de ariete vendrá dado por la siguiente expresión de Michaud:  $\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot V}{g \cdot T}$

Si  $L_c < L$  la impulsión es "larga" y la sobrepresión que origina el golpe de ariete se obtiene mediante a fórmula de Allievi:  $\Delta H = \frac{a \cdot V}{g}$

En todo el tramo que exceda de la longitud crítica, mientras que en el resto de la tubería, el golpe de ariete será el dado por la fórmula de Michaud, decreciente con la distancia al final.

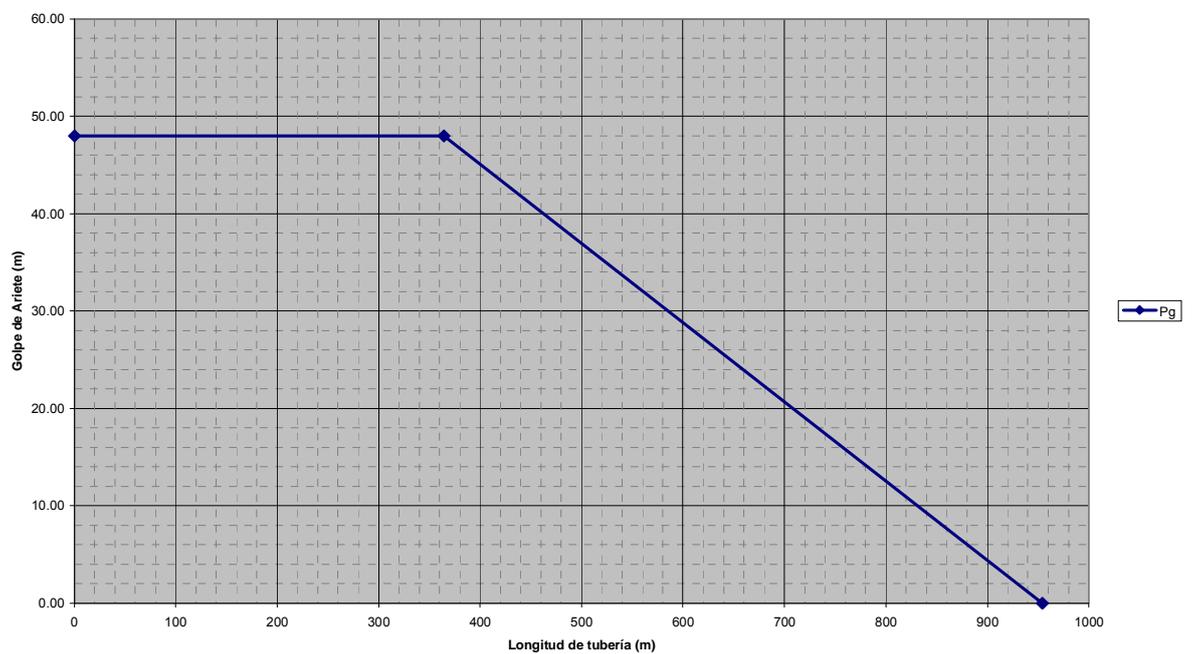
En nuestro caso resulta:  $L=954 \text{ m} > L_c = 589,68 \text{ m}$ . con lo que la impulsión es larga.

La máxima sobrepresión que se alcanzará en el origen de la impulsión es de:

$$\Delta H = 48 \text{ m.c.a.}$$

Por lo tanto el golpe de ariete es creciente desde el final de la conducción hasta la longitud 589,68 m medida desde el final de la conducción (364,32 m desde el origen). A partir de ese momento se mantiene constante y cumple la fórmula de Allievi.

Variación del Golpe de Ariete positivo en Impulsiones Largas.(Allievi)

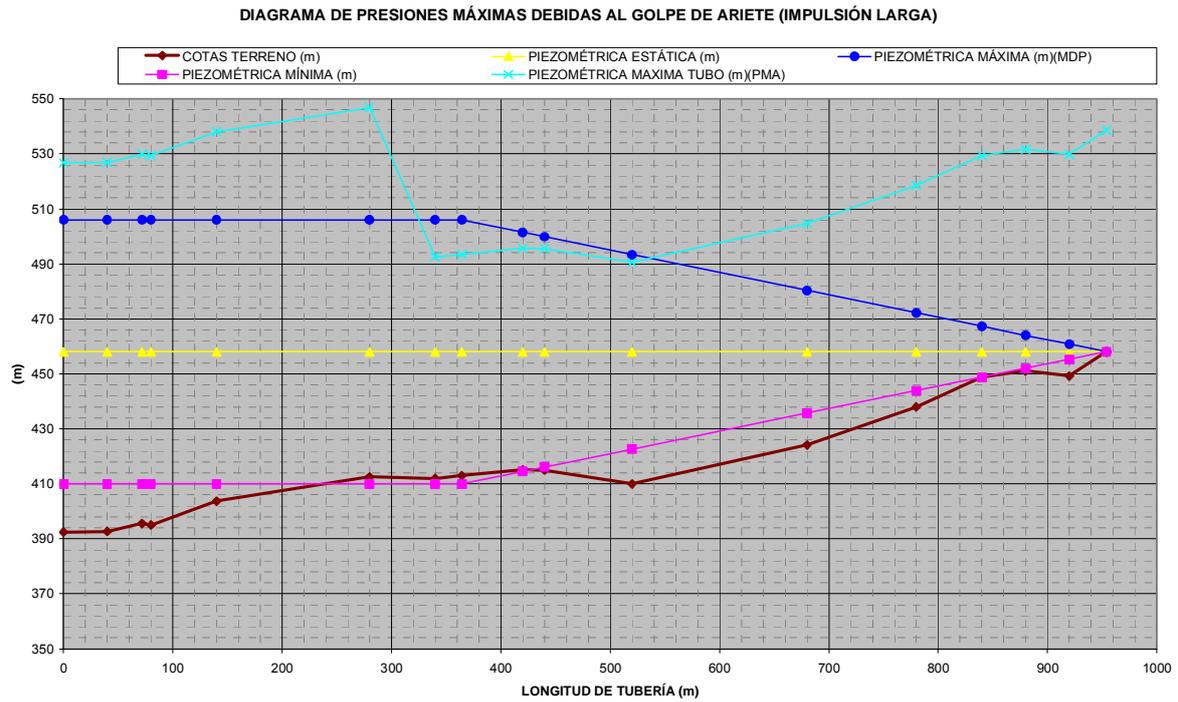


## 2.10.5.-Análisis del perfil de la impulsión

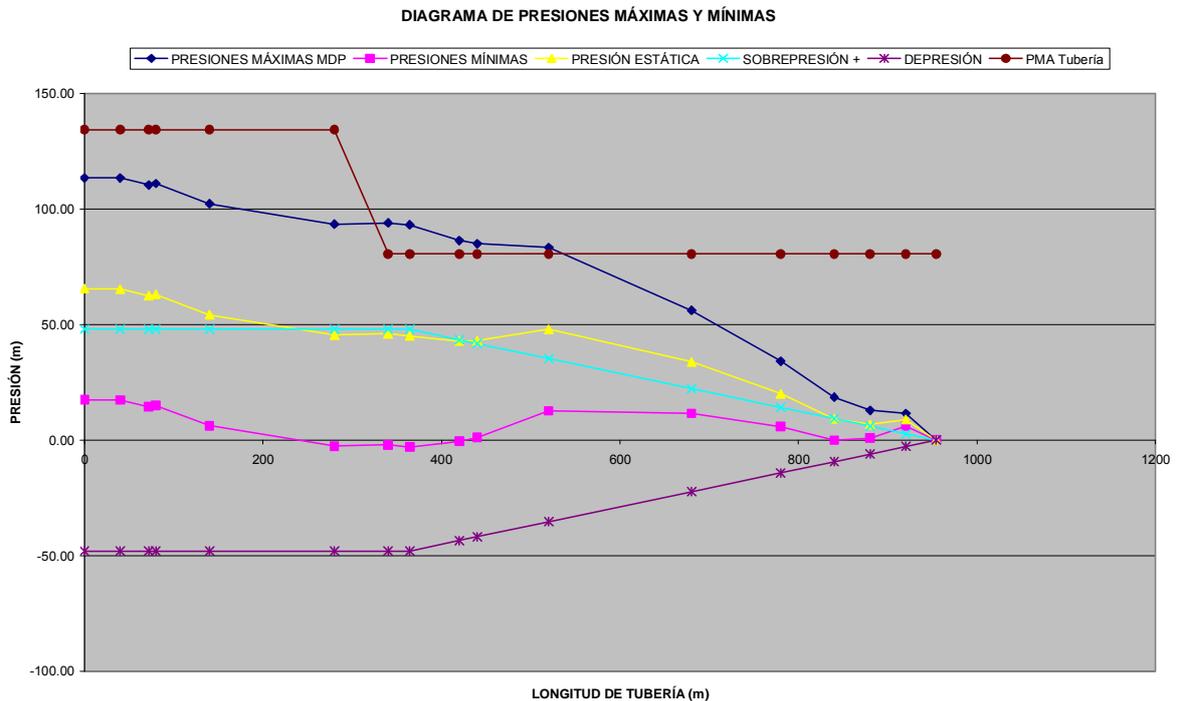
Sección	$\Sigma L$ (m)	Zi (m.s.n.m.)	Pmax (m.c.a.)	Pmin (m.c.a.)	Piez. Máx (m.s.n.m.)	Piez. Min (m.s.n.m.)	PFA (atm)	PFA (m.c.a.)	PMA (m.c.a.)	Observación
0	0	392,50	113,50	17,50	506,00	410,00	10,00	103,30	134,29	
1	40	392,63	113,37	17,37	506,00	410,00	10,00	103,30	134,29	
2	71,96	395,60	110,40	14,40	506,00	410,00	10,00	103,30	134,29	
3	80	394,98	111,02	15,02	506,00	410,00	10,00	103,30	134,29	
4	140	403,75	102,25	6,25	506,00	410,00	10,00	103,30	134,29	
5	280	412,53	93,47	-2,53	506,00	410,00	10,00	103,30	134,29	
6	340	411,98	94,02	-1,98	506,00	410,00	6,00	61,98	80,574	Sobrepresión
Cambio zona	364,32	412,93	93,07	-2,93	506,00	410,00	6,00	61,98	80,574	Sobrepresión
7	420	415,09	86,38	-0,56	501,47	414,53	6,00	61,98	80,574	Sobrepresión
8	440	414,94	84,90	1,22	499,84	416,16	6,00	61,98	80,574	Sobrepresión
9	520	410,00	83,33	12,67	493,33	422,67	6,00	61,98	80,574	Sobrepresión
10	680	424,15	56,15	11,55	480,30	435,70	6,00	61,98	80,574	
11	780	437,97	34,19	5,87	472,16	443,84	6,00	61,98	80,574	
12	840	448,74	18,54	-0,02	467,28	448,72	6,00	61,98	80,574	
13	880	451,10	12,92	0,88	464,02	451,98	6,00	61,98	80,574	
14	920	449,16	11,61	6,07	460,77	455,23	6,00	61,98	80,574	
15	954	458,00	0,00	0,00	458,00	458,00	6,00	61,98	80,574	

La presión máxima en la instalación es de 113,50 m.c.a. en el origen, pero al ser la Presión Máxima Admisible (PMA) de la tubería en ese punto de 134,29 m.c.a. (para  $C=1,25$ ) no existirán ahí problemas de sobrepresión. La presión mínima es de -2,93 m.c.a. al no llegar a -10,33 m.c.a. tampoco existirán importantes problemas de depresiones. Sin embargo existen problemas de sobrepresión en otras zonas del trazado, desde el p.k. 0+340 hasta p.k.0+520, tramo en el cual la presión máxima (MDP) a la que está solicitada la tubería es mayor que la PMA de la tubería. Por lo tanto habrá que prever algún tipo de dispositivo para disminuir esa sobrepresión.

A continuación se muestra el perfil con las piezométricas:



El gráfico de presiones será:



### 2.10.6.-Dispositivo antiarriete

Cuando una parada brusca de las bombas en una impulsión da lugar a un golpe de ariete sin movimiento apreciable del agua, la energía cinética queda automáticamente transformada en energía de ondas. Estas ondas se mueven a velocidades enormes y se

reflejan prácticamente en todo su valor, de manera que, las depresiones y sobrepresiones máximas son muy semejantes.

La utilización de válvulas de retención como dispositivos antiariete no es recomendable ya que producen perturbaciones más que mitigarlas. Se emplearán en la estación de bombeo para evitar el refluo de caudales pero no para el golpe de ariete.

Para actuar contra el golpe de ariete dispondremos un calderín. Con el dimensionamiento del dispositivo antiariete se busca disponer de la masa de agua suficiente para absorber, con su movimiento, esa energía cinética.

En el cálculo de un calderín se trata de plantear sucesivos balances de energías que intervienen tanto en el movimiento del agua como en la expansión inicial y compresión sucesiva del volumen de aire o gas contenido en el calderín. Las energías que intervienen son las siguientes:

- Energía cinética
- Energía de rozamiento
- Energía de gravedad
- Energía de expansión (calderín)
- Energía de compresión (calderín)

Los datos de partida para el cálculo del calderín serán:

### **1.- DATOS DE PARTIDA**

Longitud de la impulsión L =	954	m
Caudal impulsado $Q_1$ =	0,563	m <sup>3</sup> /s
Diámetro interno de la tubería de impulsión D medio =	0,574	m
Altura geométrica desde la unión tubería-calderín hasta el vertido del agua H =	65,5	m
Pérdida de carga en la impulsión =	5,34	m
Altura manométrica $h_0$ =	<b>71,27</b>	m
Presión absoluta en el calderín en régimen de impulsión $P_0$ =	<b>81.597</b>	kp/m <sup>2</sup>
Coefficiente de pérdida de carga de Darcy B (estimado) =	<b>0,0011</b>	s <sup>2</sup> /m
Volumen de aire en el calderín en régimen de impulsión (valor que se comprueba): $V_0$ =	6,0	m <sup>3</sup>

### **2.- CÁLCULOS HIDRÁULICOS. BALANCES ENERGÉTICOS**

#### **2.1.- Primera ecuación. Caída del nivel de agua en el calderín desde el punto de régimen de impulsión hasta la máxima depresión**

Energía cinética:	$E_{c1} =$	<b>59.658</b>	kp/m
Energía de expansión:	$E_{ex1} =$	<b>1.223.958</b>	$[1-(1+\alpha_1)^{-0,4}]$ kp/m

Energía de rozamiento:  $E_{r1} = 16.020 \alpha_1$  kpm,  
 Energía de gravedad:  $E_{g1H} = 454.980 \alpha_1$  kpm

Condición a cumplir:  $E_{c1} + E_{ex1} = E_{r1} + E_{g1H} \longrightarrow \alpha_1 = 0,53735968$

Tamaño mínimo del calderín a instalar:  $V_1 = 9,22$  m<sup>3</sup>  
 Presión absoluta mínima en calderín y en tubería:  $P_1 = 44.688$  kp/m<sup>2</sup> = **4,47** kp/cm<sup>2</sup>

Presión relativa mínima en el calderín y en la tubería:  $P'_1 = 3,44$  kp/cm<sup>2</sup> = **34,36** m.c.a.

**2.2.- Segunda ecuación. Subida del nivel de agua en el calderín desde el punto de máxima depresión hasta el punto en que estaba en régimen de impulsión**

Energía cinética:  $E_{c2} = 188.215 Q_2^2$  kpm  
 Energía de expansión:  $E_{ex1} = 193.438$  kpm  
 Energía de rozamiento:  $E_{r2} = 27.159 Q_2^2$  kpm,  
 Energía de gravedad:  $E_{g1H} = 244.488$  kpm

Condición a cumplir:  $E_{c2} + E_{ex1} + E_{r2} = E_{g1H} \quad Q_2 = 0,4869$  m<sup>3</sup>/s

**2.3.- Tercera ecuación. Subida del nivel de agua en el calderín desde el punto de régimen de impulsión hasta el punto de máxima sobrepresión**

Energía cinética:  $E_{c2} = 44.612$  kpm  
 Energía de gravedad:  $E_{g3H} = 454.980 \alpha_2$  kpm  
 Energía de rozamiento:  $E_{r3} = 11.980 \alpha_2$  kpm  
 Energía de compresión:  $E_{co3} = -1.223.958 [1-(1-\alpha_2)^{0,4}]$  kpm

Condición a cumplir:  $E_{c2} + E_{g3H} = E_{r3} + E_{co3} \longrightarrow \alpha_2 = 0,270085629$

Volumen de aire en el calderín en máxima compresión:  $V_2 = 4,38$  m<sup>3</sup>  
 Presión absoluta máxima en el calderín y en la tubería:  $P_2 = 126.793$  kp/m<sup>2</sup> = **12,68** kp/cm<sup>2</sup>

Presión relativa máxima en el calderín y en la tubería:  $P'_2 = 11,65$  kp/cm<sup>2</sup> = **116,46** m.c.a.

**2.4. Conclusión. Dimensiones del calderín a instalar**

Se opta por un calderín cilíndrico vertical, cuyo tamaño mínimo ha de ser: **9,22** m<sup>3</sup>

A la vista de los resultados obtenidos en el estudio del golpe de ariete, en los que se puede observar que existen depresiones que no llegan a cavitación y sobrepresiones que exceden la PMA de los tubos, se calcula, un calderín hidroneumático a vejiga, con las siguientes características:

- Presión de hinchado en régimen de impulsión= 7,13 kg/cm<sup>2</sup>, (6,98 bar)
- Volumen de aire en régimen de impulsión= 6 m<sup>3</sup>
- Presión mínima en el calderín= 34,36 m.c.a.
- Presión máxima en calderín= 116,46 m.c.a.
- Volumen total seleccionado calderín= 10 m<sup>3</sup>

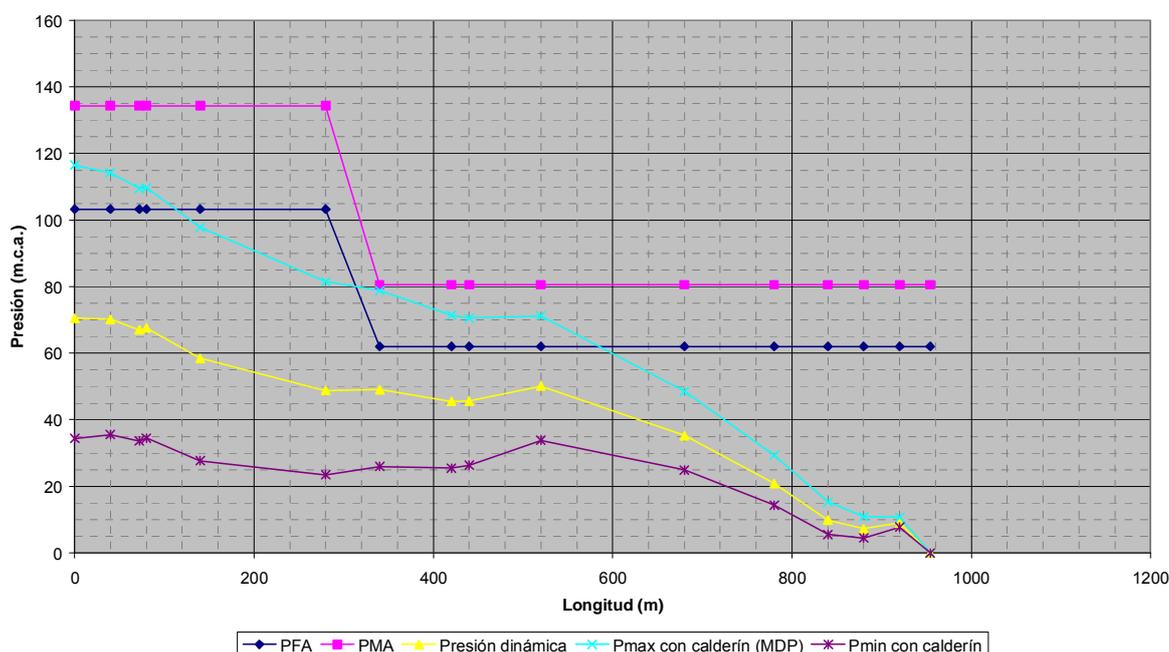
Se ha seleccionado un calderín horizontal ya que no existen problemas de espacio, por que tiene ciertas ventajas comparativas frente a los verticales, a saber:

- Mejor trabajo de la vejiga en posición horizontal
- Mayor facilidad de mantenimiento y conservación
- Menor deterioro de la vejiga al no estar colgando
- Menores necesidades de cimentación
- Menor impacto paisajístico

Con este dispositivo se nos garantizan las siguientes presiones a lo largo de la impulsión:

Nodo Inicial Ni-1	Nodo Final Ni	Cota nodo Li-i-1 (m.l.)	Cota nodo final (m.s.n.m.)	ΣL (m.l.)	DATOS RELATIVOS A LA TUBERÍA			PRESIONES		
					PFA (atm)	PFA (m.c.a.)	PMA (m.c.a.)	Dinámica (m.c.a.)	P max calder. (m.s.n.m.)	P min calder. (m.s.n.m.)
0	0	0	392,5	0	10	103,3	134,29	70,55	116,46	34,36
0	1	40	392,63	40	10	103,3	134,29	70,17	114,20	35,53
1	2	31,96	395,6	71,96	10	103,3	134,29	67,00	109,52	33,61
2	3	8,04	394,98	80	10	103,3	134,29	67,57	109,71	34,49
3	4	60	403,75	140	10	103,3	134,29	58,42	97,73	27,68
4	5	140	412,53	280	10	103,3	134,29	48,82	81,48	23,47
5	6	60	411,98	340	6	61,98	80,574	49,07	78,82	25,98
6	7	80	415,09	420	6	61,98	80,574	45,56	71,44	25,48
7	8	20	414,94	440	6	61,98	80,574	45,61	70,52	26,28
8	9	80	410	520	6	61,98	80,574	50,15	71,18	33,83
9	10	160	424,15	680	6	61,98	80,574	35,21	48,49	24,90
10	11	100	437,97	780	6	61,98	80,574	20,89	29,33	14,35
11	12	60	448,74	840	6	61,98	80,574	9,83	15,35	5,54
12	13	40	451,1	880	6	61,98	80,574	7,27	10,85	4,48
13	14	40	449,16	920	6	61,98	80,574	9,01	10,66	7,73
14	15	34	458	954	6	61,98	80,574	0,00	0,00	0,00

GRÁFICO DE PRESIONES EN LA IMPULSIÓN CON CLADERÍN

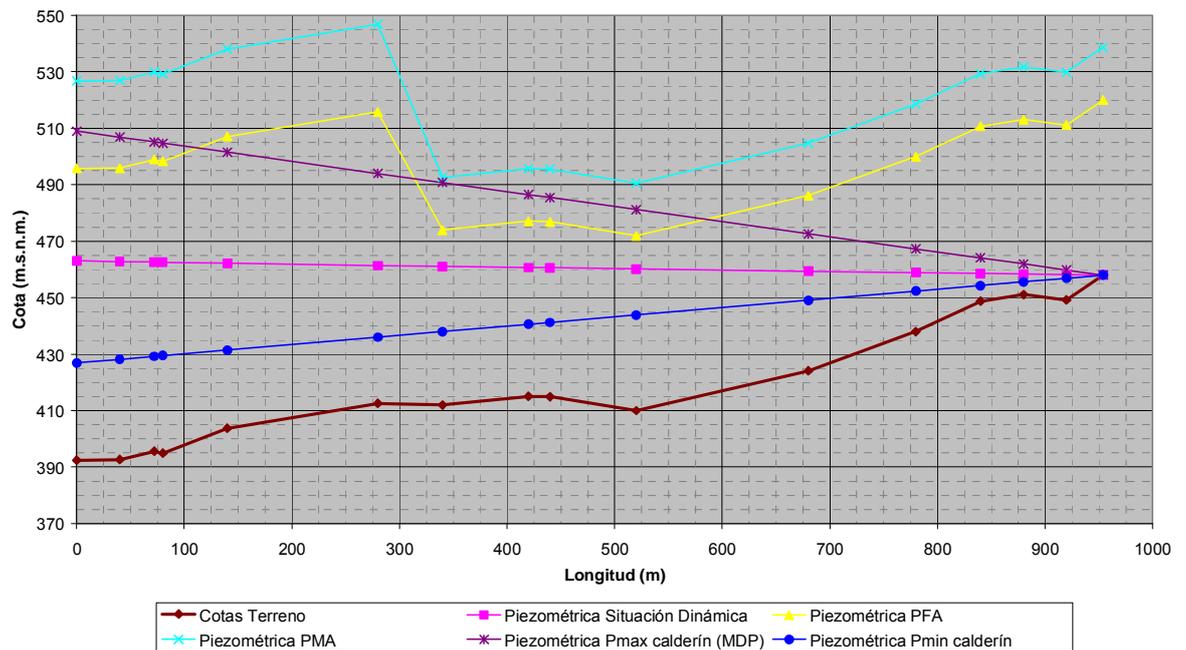


Se observa como la línea de presiones máximas con calderín (MDP) siempre queda por debajo de la línea de PMA de la tubería.

Las líneas piezométricas serán:

Nodo Inicial Ni-1	Nodo Final Ni	Li-i-1 (m.l.)	Cota nodo final (m.s.n.m.)	ΣL (m.l.)	LÍNEA PIEZOMÉTRICA				
					Dinámica (m.s.n.m.)	PFA (m.s.n.m.)	PMA (m.s.n.m.)	P max calder. (m.s.n.m.)	P min calder. (m.s.n.m.)
0	0	0	392,5	0	463,05	495,8	526,79	508,96	426,86
0	1	40	392,63	40	462,80	495,93	526,92	506,83	428,16
1	2	31,96	395,6	71,96	462,60	498,9	529,89	505,12	429,21
2	3	8,04	394,98	80	462,55	498,28	529,27	504,69	429,47
3	4	60	403,75	140	462,17	507,05	538,04	501,48	431,43
4	5	140	412,53	280	461,35	515,83	546,82	494,01	436,00
5	6	60	411,98	340	461,05	473,96	492,554	490,80	437,96
6	7	80	415,09	420	460,65	477,07	495,664	486,53	440,57
7	8	20	414,94	440	460,55	476,92	495,514	485,46	441,22
8	9	80	410	520	460,15	471,98	490,574	481,18	443,83
9	10	160	424,15	680	459,36	486,13	504,724	472,64	449,05
10	11	100	437,97	780	458,86	499,95	518,544	467,30	452,32
11	12	60	448,74	840	458,57	510,72	529,314	464,09	454,28
12	13	40	451,1	880	458,37	513,08	531,674	461,95	455,58
13	14	40	449,16	920	458,17	511,14	529,734	459,82	456,89
14	15	34	458	954	458,00	519,98	538,574	458,00	458,00

PIEZOMÉTRICAS IMPULSIÓN CON CALDERÍN



Se observa como la línea Piezométrica de presiones máximas con calderín (MDP) siempre queda por debajo de la línea Piezométrica de PMA de la tubería.

En los planos, presupuesto y pliego de condiciones se dan más detalles de los citados dispositivos.

El Autor del Anejo, por TRAGSATEC

Fdo.: Diego Naranjo Hernández

Ingeniero Agrónomo

**APÉNDICE I**  
**PLANOS.**



**Leyenda**

- Eje conducción
- ▲ Ventosas
- Desagües
- ▶ Cambio de características tubería

