

Proyecto de Instalaciones Eléctricas y Equipos del tramo Altza- Galtzaraborda

Anejo 5 – Cálculos de bombeo.

TTE-II-21004-PWS-IEE-ANX-0005
V1



We Make
Your Way Easier

Preparado para:



Nombre: Euskal Trenbide Sarea
Dirección: San Vicente 8, Edificio
Albia I. Planta 14. Bilbao.
CP: 48001

Preparado por :



Nombre: CAF Turnkey
& Engineering
Dirección: Laida Bidea,
Edificio 205,Zamudio
CP: 48170

Proyecto de Instalaciones Eléctricas y Equipos del tramo Altza-Galtzaraborda

Anejo 5 – Cálculos de bombeo.

TTE-II-21004-PWS-IEE-ANX-0005

V1

Revisión del documento		
Revisión	Fecha	Objetivo de la revisión
1	20/06/20224	Versión Inicial

<i>Preparado por</i>	APC	<i>Revisado por</i>	IAA	<i>Aprobado por</i>	BIR
Nombre	Ander Pérez Caro	Nombre	Iker Aizpuru Aragón	Nombre	Borja Irazu Rivero
Firma		Firma		Firma	
Fecha:	20/06/20224	Fecha:	20/06/20224	Fecha:	20/06/20224

Índice de Contenidos

1. Objeto	5
2. Cálculo	5
2.1. Datos de partida	5
2.2. Cálculo de las pérdidas de carga	5
2.2.1. Pérdidas continuas	5
2.2.2. Pérdidas localizadas	9
2.2.3. Pérdidas totales	11
2.3. Dimensionamiento de las tuberías de impulsión	12
2.4. Dimensionamiento de las bombas	12
3. Resultados	13

Índice de Tablas

Tabla 1. Caudales y alturas geométricas requeridas.....	5
Tabla 2. Pérdidas totales	11
Tabla 3. Altura manométrica de las bombas	12
Tabla 4. Resultados finales cálculos bombas	14

1. Objeto

El presente documento tiene por objeto el diseño y dimensionamiento de las bombas y las tuberías de impulsión a instalar en los pozos de bombeo contemplados en las estaciones de Altza y Galtzaraborda.

2. Cálculo

2.1. Datos de partida

A continuación, se indican el caudal a bombear y la altura geométrica a salvar por las bombas de los pozos de bombeo que ocupan este proyecto. Estos datos serán los utilizados posteriormente para el dimensionamiento de las bombas.

Pozo de bombeo	Caudal (l/s)	Altura geométrica (m)
Estación de Pasaia (Testero Altza)	51,16	17,81
Estación de Pasaia (Testero Galtzaraborda)	34,37	19,07
Estación de Galtzaraborda	270	6
Estación de Pasaia – Filtros Biológicos (Testero Altza)	3,06	17,81

Tabla 1. Caudales y alturas geométricas requeridas

Estos datos han sido obtenidos de los correspondientes proyectos de Obra Civil de Altza-Galtzaraborda.

2.2. Cálculo de las pérdidas de carga

La pérdida de carga en una tubería o canal es la pérdida de energía dinámica del fluido debida a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene.

Estas pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o localizadas, debido a circunstancias particulares: un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula.

2.2.1. Pérdidas continuas

Se realizarán los cálculos hidráulicos para obtener las pérdidas de carga continuas a lo largo de la tubería de impulsión debido a la fricción.

Los cálculos hidráulicos se han desarrollado mediante la aplicación de la fórmula de Darcy-Weisbach y el factor de fricción según Colebrook-White, según se indica en las fórmulas adjuntas:

$$h_c = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

Donde:

hc: pérdidas de carga continuas (m.c.a.)

f: factor de fricción (adimensional)

L: longitud resistente (m)

Q: caudal (m³/s)

g: la aceleración de la gravedad (m/s²)

D: diámetro de la conducción (m)

Para el cálculo del factor de fricción:

$$e = \frac{v \cdot D}{v_s}$$

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

$$\frac{1}{f_t^{1/2}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot f_t^{1/2}} \right)$$

Donde:

Re: número de Reynolds, determina el grado de turbulencia en el flujo.

v: velocidad del fluido (m/s)

v_s: viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

f_l: factor de fricción en régimen laminar (Re < 2500)

f_t: factor de fricción en régimen turbulento (Re ≥ 2500)

k: rugosidad absoluta de la conducción (m)

La tubería de impulsión de cada bomba y la tubería general de impulsión serán de acero.

Se comienza por el cálculo del número de Reynolds, para determinar el grado de turbulencia del agua. Para ello, es necesario antes conocer la velocidad a la que circula el agua por la tubería.

/ Pozo de bombeo N°1

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{0,05116}{3,1416 \cdot \frac{0,2^2}{4}} = 1,628 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu_s} = \frac{1,628 \cdot 0,2}{1,569 \cdot 10^{-6}} = 207520,714 \text{ (Regimen turbulento)}$$

Como se trata de un régimen turbulento, se utiliza su fórmula correspondiente y mediante iteración se obtiene el factor de fricción:

(Rugosidad absoluta acero: $K=0,1 \text{ mm}$)

$$\frac{1}{f_t^{1/2}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot f_t^{1/2}} \right) \rightarrow f_t = 0,01875$$

Pérdidas de carga continuas:

$$h_c = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} = 0,01875 \cdot \frac{8 \cdot 181,23 \cdot 0,05116^2}{3,1416^2 \cdot 9,81 \cdot 0,2^5} = 2,297 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{0,03437}{3,1416 \cdot \frac{0,2^2}{4}} = 1,094 \text{ m/s}$$

/ Pozo de bombeo N°2

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{0,03437}{3,1416 \cdot \frac{0,2^2}{4}} = 1,094 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu_s} = \frac{1,094 \cdot 0,2}{1,569 \cdot 10^{-6}} = 139451,88 \text{ (Regimen turbulento)}$$

Como se trata de un régimen turbulento, se utiliza su fórmula correspondiente y mediante iteración se obtiene el factor de fricción:

(Rugosidad absoluta acero: $K=0,1 \text{ mm}$)

$$\frac{1}{f_t^{1/2}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot f_t^{1/2}} \right) \rightarrow f_t = 0,01952$$

Pérdidas de carga continuas:

$$h_c = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} = 0,01952 \cdot \frac{8 \cdot 73,43 \cdot 0,03437^2}{3,1416^2 \cdot 9,81 \cdot 0,2^5} = 0,437 \text{ m}$$

/ Pozo de bombeo N°3

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{0,27}{3,1416 \cdot \frac{0,4^2}{4}} = 2,149 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu_s} = \frac{2,149 \cdot 0,4}{1,569 \cdot 10^{-6}} = 547737,41 \text{ (Regimen turbulento)}$$

Como se trata de un régimen turbulento, se utiliza su fórmula correspondiente y mediante iteración se obtiene el factor de fricción:

(Rugosidad absoluta acero: $K=0,1 \text{ mm}$)

$$\frac{1}{f_t^{1/2}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot f_t^{1/2}} \right) \rightarrow f_t = 0,01576$$

Pérdidas de carga continuas:

$$h_c = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} = 0,01576 \cdot \frac{8 \cdot 149 \cdot 0,27^2}{3,1416^2 \cdot 9,81 \cdot 0,4^5} = 1,381 \text{ m}$$

/ Pozo de bombeo N°4

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{0,00306}{3,1416 \cdot \frac{0,05^2}{4}} = 1,56 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu_s} = \frac{1,56 \cdot 0,05}{1,569 \cdot 10^{-6}} = 49713,19 \text{ (Regimen turbulento)}$$

Como se trata de un régimen turbulento, se utiliza su fórmula correspondiente y mediante iteración se obtiene el factor de fricción:

(Rugosidad absoluta acero: $K=0,1 \text{ mm}$)

$$\frac{1}{f_t^{1/2}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot f_t^{1/2}} \right) \rightarrow f_t = 0,02652$$

Pérdidas de carga continuas:

$$h_c = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} = 0,02652 \cdot \frac{8 \cdot 181,23 \cdot 0,00306^2}{3,1416^2 \cdot 9,81 \cdot 0,05^5} = 11,9 \text{ m}$$

2.2.2. Pérdidas localizadas

Como se ha indicado anteriormente, además de las pérdidas de carga por rozamiento, se producen otro tipo de pérdidas originadas en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección, juntas, válvulas...) y que se deben a fenómenos de turbulencia.

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

h_l: pérdida de carga localizada (m.c.a.)

K: coeficiente empírico (adimensional)

v: velocidad media del flujo (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

El coeficiente K dependerá del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería.

A continuación, se muestran los valores de K para cada caso y sus pérdidas de carga correspondientes:

/ Pozo de bombeo N°1

Codos de 90 grados:

$$K = 0,9$$

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,9 * \frac{1,628^2}{2 * 9,81} = 0,122 \text{ m}$$

Válvula de no retorno:

$$K = 2,5$$

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 2,5 * \frac{1,628^2}{2 * 9,81} = 0,338 \text{ m}$$

/ Pozo de bombeo N°2

Codos de 90 grados:

$$K = 0,9$$

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,9 * \frac{1,094^2}{2 * 9,81} = 0,055 \text{ m}$$

Válvula de no retorno:

$$K = 2,5$$

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 2,5 * \frac{1,094^2}{2 * 9,81} = 0,1525 \text{ m}$$

/ Pozo de bombeo N°3

Codos de 90 grados:

$$K = 0,9$$

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,9 * \frac{2,149^2}{2 * 9,81} = 0,212 \text{ m}$$

Codo de 15 grados:

$$K = 0,15$$

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,15 * \frac{2,149^2}{2 * 9,81} = 0,035 \text{ m}$$

/ Pozo de bombeo N°4

Codos de 90 grados:

$$K = 0,9$$

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,9 * \frac{1,56^2}{2 * 9,81} = 0,111 \text{ m}$$

Válvula de no retorno:

$$K = 2,5$$

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 2,5 * \frac{1,56^2}{2 * 9,81} = 0,31 \text{ m}$$

2.2.3. Pérdidas totales

Las pérdidas de carga totales (Δh_T) se obtendrán mediante la suma de las pérdidas continuas y las localizadas:

$$\Delta h_T = h_c + h_l$$

Una vez calculadas los dos tipos de pérdidas de carga, las pérdidas totales para cada pozo de bombeo son:

Pozo de bombeo	Δh_T (m)
Nº1	3,367
Nº2	0,81
Nº3	1,628
Nº4	12,321

Tabla 2. Pérdidas totales

Una vez obtenido el valor de las pérdidas de carga, se calculará la altura manométrica que deberá impulsar cada bomba:

$$h_{man} = h_{geom} + \Delta h_T$$

Donde:

h_{man} : Altura manométrica a impulsar (m.c.a.)

h_{geom} : Altura geométrica a salvar (m.c.a.)

Δh_T :: Pérdidas de carga totales (m.c.a.)

Pozo de bombeo	h_{man} (m)
Nº1	21,177
Nº2	19,88
Nº3	7,628

Nº4	30,13
-----	-------

Tabla 3. Altura manométrica de las bombas

2.3. Dimensionamiento de las tuberías de impulsión

Para el dimensionamiento de las tuberías de impulsión se ha tenido en cuenta la velocidad del agua por la conducción, calculada con la siguiente fórmula:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}$$

Donde:

v = velocidad de fluido (m/s)

Q = caudal del fluido (m³/s)

A = área de la sección transversal de la tubería (m²)

Tratándose de agua residual, las tuberías se dimensionan buscando trabajar con velocidades entre 0,6 m/s y 2 m/s cuando sea posible.

2.4. Dimensionamiento de las bombas

Teniendo en cuenta los puntos de trabajo necesarios, se ha dimensionado el número de bombas a instalar y la potencia de las mismas. Debido a la gran cantidad de caudal, en el pozo de bombeo situado en la estación de Galtzaraborda se ha decidido colocar 3 bombas y para el resto de los pozos 2 bombas.

Por razones de eficiencia energética y seguridad, se proyecta la instalación de tres bombas en los pozos con caudales superiores a 60 l/s.

Por un lado, la mayor parte del tiempo los pozos no trabajan en su punto de trabajo máximo, para el cual está calculado el punto de trabajo necesario. Por tanto, la instalación con 3 bombas en lugar de 2 supone un ahorro de energía, al permitir el uso de una única bomba de menor potencia para bombear el agua a expulsar.

Por otro lado, en situaciones con grandes cantidades de agua a bombear, los pozos con caudales superiores a 60 l/s se consideran especialmente críticos, por lo que conviene asegurar una mayor disponibilidad de las instalaciones de bombeo, la cual se consigue por medio de una tercera bomba.

Los pozos con dos bombas se dimensionan de manera que cada bomba sea capaz de impulsar al menos la estimación de caudal total del pozo. De esta forma siempre habrá una bomba de reserva.

Los pozos con tres bombas se dimensionan de forma que cada bomba sea capaz de impulsar al menos la mitad de la estimación de caudal de cada pozo. En caso de llegar al punto de trabajo estudiado funcionarían en paralelo 2 de las 3 bombas para impulsar el caudal. Por lo que en este pozo de bombeo, al trabajar 2 bombas en paralelo la potencia necesaria por bomba sería menor que si solo trabajase 1 sola bomba.

Para los dos pozos situados en la estación de Pasaia se han instalado tuberías de impulsión de acero de 200 mm de diámetro y en cambio para el pozo de Galtzaraborda una tubería de impulsión de acero de 400 mm de diámetro. Para el pozo de los filtros biológicos situado en la estación de Pasaia se han instalado tuberías de impulsión de 50 mm de diámetro.

3. Resultados

Aplicando las fórmulas y criterios arriba descritos en cada uno de los pozos de bombeo que ocupan este proyecto, se han obtenido los puntos de trabajo (caudal y altura manométrica) necesarios, el número de bombas y la potencia de dichas bombas para cada caso.

A continuación, se presentan el resumen de los resultados obtenidos:

Pozo de bombeo	Punto de trabajo		Nº de bombas	Potencia aprox. (kW)	Diámetro tubería de impulsión (mm)
	Caudal (l/s)	Altura manométrica (m)			
Estación de Pasaia (Testero Altza)	51,16	21,177	2	13	200
Estación de Pasaia (Testero Galtzaraborda)	34,37	19,88	2	9	200
Estación de Galtzaraborda	270	7,628	3	30	400
Estación de Pasaia – Filtros Biológicos (Testero Altza)	3,06	30,13	2	2,4	50

Tabla 4. Resultados finales cálculos bombas