

# PROYECTOS TÍPICOS - ESTACIONES DE BOMBEO

## ÍNDICE

---

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. EJEMPLO N° 1.....</b>	<b>2</b>
2.1. INTRODUCCIÓN.....	2
2.2. PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO.....	3
2.3. CAUDALES DE DISEÑO .....	5
2.4. VOLUMEN MÍNIMO DEL RESERVORIO DE DISTRIBUCIÓN .....	6
2.5. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO MÁS ECONÓMICO .....	8
2.6. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE BOMBEO CON LAS CURVAS COMERCIALES DE LAS BOMBAS ....	16
2.7. GOLPE DE ARIETE .....	17
2.8. DISPOSITIVO ANTIARIEETE - CÁMARA DE AIRE .....	19
2.9. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO.....	22
<b>3. EJEMPLO 2.....</b>	<b>24</b>
3.1. INTRODUCCIÓN.....	24
3.2. DIMENSIONAMIENTO .....	24
3.3. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO.....	26
<b>4. EJEMPLO 3.....</b>	<b>27</b>
4.1. INTRODUCCIÓN.....	27
4.2. DIMENSIONAMIENTO .....	27
4.3. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO.....	31
<b>5. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....</b>	<b>33</b>
5.1. MEMORIA DESCRIPTIVA Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	33

5.1.1. General.....	33
5.1.2. Punto de Alimentación.....	33
5.1.3. Tablero de Baja Tensión .....	33
5.1.4. Motores .....	35
5.1.5. Compensación de Energía Reactiva.....	35
5.1.6. Cables de Baja Tensión .....	35
5.1.7. Canalizaciones Eléctricas.....	36
5.1.8. Puesta a Tierra de las Instalaciones .....	38
5.1.9. Servicio e Iluminación.....	38
<b>5.2. MEMORIA DE CÁLCULO .....</b>	<b>40</b>
5.2.1. Elección de Conductores.....	40
5.2.2. Cálculo de la Corriente de Cortocircuito.....	40
5.2.3. Cálculo del Banco de Capacitores de Compensación e .....	41
5.2.4. Cálculo Alumbrado Interior .....	41

## LISTA DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

---

<b>Tabla 1.</b> Parámetros básicos de diseño.....	<b>4</b>
<b>Tabla 2.</b> Cómputo y presupuesto – Cañerías y electrobombas.....	<b>10</b>
<b>Tabla 3.</b> Determinación de la curva de la instalación .....	<b>16</b>
<b>Tabla 4.</b> Variación volumétrica del aire dentro del tanque amortiguador y presiones instantáneas ....	<b>21</b>
<b>Tabla 5.</b> Determinación de la curva del ANPA <sub>d</sub> .....	<b>30</b>
<b>Tabla 6.</b> Características particulares de los tableros .....	<b>34</b>

## FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Volumen mínimo $V_2$ . Método de Pincence para dos bombas .....	<b>7</b>
<b>Figura 2.</b> Determinación del diámetro más económico.....	<b>15</b>
<b>Figura 3.</b> Curva de la instalación y de una y dos bombas en paralelo para la cañería de impulsión...	<b>17</b>
<b>Figura 4.</b> Curva del ANPAd y ANPAr para la cañería de aspiración .....	<b>31</b>

## PLANOS

---

<b>Plano 1.</b> –Ejemplo 1: Caudal de diseño 778m <sup>3</sup> /h Planta.....	42
<b>Plano 2.</b> –Ejemplo 1: Caudal de diseño 778m <sup>3</sup> /h Planta Inferior.....	43
<b>Plano 3.</b> –Ejemplo 1: Caudal de diseño 778m <sup>3</sup> /h Corte F-F.....	44
<b>Plano 4.</b> –Ejemplo 1: Caudal de diseño 778m <sup>3</sup> /h Corte B-B .....	45
<b>Plano 5.</b> –Ejemplo 2: Caudal de diseño 778m <sup>3</sup> /h Planta nivel +1.50.....	46
<b>Plano 6.</b> –Ejemplo 2: Caudal de diseño 778m <sup>3</sup> /h Corte C-C.....	47
<b>Plano 7.</b> –Ejemplo 2: Caudal de diseño 778m <sup>3</sup> /h Corte D-D.....	48
<b>Plano 8.</b> –Ejemplo 3: Caudal de diseño 778m <sup>3</sup> /h Planta.....	49
<b>Plano 9.</b> –Ejemplo 3: Caudal de diseño 778 m <sup>3</sup> /h Corte A-A.....	50
<b>Plano 10.</b> –Ejemplo 3: Caudal de diseño 778 m <sup>3</sup> /h Corte B-B.....	51



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto contempla la construcción de una nueva estación de bombeo y la rehabilitación de un reservorio de distribución existente. Desde este último, de acuerdo al nivel líquido, arrancarán y pararán las electrobombas ubicadas en la estación de bombeo.

El estanque de distribución tendrá dimensiones pequeñas si se lo compara con otro de almacenamiento, por lo que será necesario determinar si su volumen es lo suficientemente grande, como para no generar arranques frecuentes en las bombas que perjudiquen sus motores.

Si las dimensiones requeridas fuesen menores a las existentes, sería necesario reemplazar o aumentar la capacidad del reservorio o utilizar bombas con velocidades rotacionales variables que permitan cambiar el caudal para diferentes situaciones del servicio.

Se presentan tres ejemplos diferentes de estaciones de bombeo:

- Ejemplo I: Las electrobombas aspiran desde una cisterna de almacenamiento enterrada o de un embalse o enlagunamiento e impulsan a una cisterna de distribución. Las bombas de eje horizontal, se ubican por debajo del nivel mínimo del líquido. No será necesario en este caso, utilizar dispositivos especiales para el cebado de las mismas o bombas autocebantes.
- Ejemplo II: Las electrobombas aspiran desde un canal que capta de otro principal e impulsan a una cisterna de distribución. Las bombas utilizadas son de eje vertical y están sumergidas dentro del agua, con los motores colocados a un nivel superior del nivel líquido.
- Ejemplo III: En líneas generales, es el mismo caso del ejemplo I, pero las bombas son del tipo horizontal autocebantes ubicadas a un nivel superior con respecto al nivel líquido de aspiración.

Las distintas soluciones presentadas en este proyecto son de carácter general y pueden servir de ejemplo para proyectistas que deban dimensionar y calcular distintos componentes del sistema. El diseñador deberá adecuar el proyecto a las características locales en donde se implanten las obras.

En general deberá contemplarse para el proyecto de las estaciones de bombeo todas las recomendaciones establecidas en la Fundamentación (Capítulo VI) y Normas (Capítulo 9), Estaciones de Bombeo de Agua Cruda y Tratada.

Siempre que sea posible, es preferible evitar las cañerías de aspiración con cargas negativas, por las dificultades operativas en el proceso de cebado y para minimizar el peligro de cavitación en las bombas.

## 2. EJEMPLO N° 1

### 2.1. INTRODUCCIÓN

El proyecto contempla la impulsión desde una cisterna de almacenamiento a otra elevada de distribución. El arranque y parada de los equipos ubicados sobre la primera, será efectuada de acuerdo a los niveles líquidos que tenga la segunda.

El ejemplo es válido también para el caso general de bombeo desde un embalse o enlagunamiento.

La cañería de aspiración tiene carga positiva, lo que permite colocar bombas horizontales convencionales sin ningún dispositivo de cebado. Se prevé la colocación de una válvula esclusa sobre la misma, colocada con el volante de accionamiento ubicado hacia abajo, para evitar la generación de burbujas perjudiciales para el correcto funcionamiento de las bombas. La válvula esclusa es colocada para poder aislar a las bombas en el momento que se haga el desmontaje, sin necesidad de vaciar la cisterna de almacenamiento.

La cañería de aspiración será colocada en forma horizontal para evitar puntos altos que faciliten la generación de burbujas de aire.

La cámara seca tendrá un pozo de achique para poder evacuar el agua que se infiltre del sistema, ya sea por fisuras en el hormigón que divide la cámara húmeda con la seca, o por el ingreso de agua por rotura en las cañerías u otro tipo de contingencia.

El proyecto general de esta estación de bombeo, se encuentra desarrollado en los planos adjuntos correspondientes a este ejemplo de cálculo.

El proceso de diseño, comprende los siguientes pasos:

- Determinación de los parámetros básicos de diseño para conocer los caudales con los que se dimensionarán las instalaciones.
- Determinación del volumen útil líquido mínimo que debe tener la cisterna de distribución para que las bombas no tengan arranques sucesivos nocivos para sus motores eléctricos.
- Cálculo del diámetro más económico de la cañería de impulsión a través del método del Valor Presente Neto de los siguientes costos: construcción de la tubería, electrobombas, mantenimiento de las instalaciones y energía eléctrica.
- Determinación del caudal de bombeo y de la altura manométrica de acuerdo a las curvas de las bombas comerciales brindadas por un determinado fabricante. Además, cálculo de estos parámetros mediante un método de aproximación cuando no fuese posible definir las bombas comerciales a utilizar durante la etapa del proyecto.
- Asegurar la integridad física de las instalaciones, determinando el golpe de ariete en la impulsión y dimensionando una cámara de aire para amortiguar el efecto nocivo del mismo.



## 2.2. PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

Se ha previsto el bombeo de agua potable desde una cisterna de almacenamiento a otra de distribución ubicada a una cota superior, desde donde se proveerá por acción gravitatoria a una localidad "AAA". Se bombeará a través de dos electrobombas que impulsan sobre un múltiple común a ambas y estarán ubicadas a un nivel inferior con respecto al nivel líquido a succionar. Se colocará una tercera de reserva instalada de la misma manera que las otras dos.

En el siguiente ejemplo se dimensionarán las electrobombas, la cañería de impulsión (diámetro más económico) y la cámara de aire para amortiguar el golpe de ariete.

Las características de la localidad "AAA" se encuentran en la **Tabla 1**, "Parámetros básicos de diseño", en donde cada fila tiene el siguiente significado:

- 1). Población total "AAA": Es la población esperada durante el período de diseño, en este caso fijado en 20 años.
- 2). % Población servida con agua potable: Es el porcentaje de personas conectadas al sistema. Se espera una evolución anual como la presentada en la **Tabla 1**.
- 3). Población Servida con agua Potable: Surge del producto de los dos anteriores.
- 4). Dotación de Producción: Es la cantidad de agua unitaria producida. Se ha supuesto una disminución de la misma a través del tiempo, a los fines de este ejemplo, considerando a futuro una disminución del agua no contabilizada por reducción de las pérdidas.
- 5). Coeficiente máximo diario: Es la relación entre el caudal máximo diario " $Q_D$ " y medio diario " $Q_C$ ".
- 6). Coeficiente máximo horario: Es la relación entre el caudal máximo horario " $Q_E$ " y máximo diario " $Q_D$ ".
- 7). Coeficiente máximo total: Es la relación entre el caudal máximo horario " $Q_E$ " y medio diario " $Q_C$ " y surge del producto de los dos anteriores.

# ENOHSA ENTE NACIONAL DE OBRAS HÍDRICAS DE SANEAMIENTO

MUNICIPALIDAD DE "AAA"		-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
PROVINCIA DE "BBB"		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ENHOSa																							
<b>PARAMETROS BASICOS DE DISEÑO</b>																							
POBLACION TOTAL "AAA"	(hab)		21.818	22.582	23.345	24.109	24.873	25.636	26.225	26.815	27.404	27.993	28.582	29.127	29.673	30.218	30.764	31.309	31.593	31.876	32.160	32.444	32.727
% POBLACION SERVIDA CON AGUA POTABLE	(%)		80,00	81,00	82,00	83,00	84,00	85,00	86,00	87,00	88,00	89,00	90,00	91,00	91,80	92,44	92,95	93,36	93,69	95,00	95,00	95,00	95,00
POBLACION SERVIDA CON AGUA POTABLE	(hab)		17.455	18.291	19.143	20.011	20.893	21.791	22.554	23.329	24.115	24.914	25.724	26.506	27.240	27.934	28.595	29.231	29.599	30.283	30.552	30.821	31.091
Q <sub>0</sub> = DOTACION DE PRODUCCION	(L/hab*d)		300	296	292	288	284	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Q <sub>0</sub> = CAUDAL MEDIO DIARIO =	(m³/d)		5.236	5.414	5.590	5.763	5.934	6.101	6.315	6.532	6.752	6.976	7.203	7.422	7.627	7.821	8.007	8.186	8.288	8.479	8.555	8.630	8.705
α <sub>1</sub> = COEFICIENTE MAXIMO DIARIO =			1,40	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
α <sub>2</sub> = COEFICIENTE MAXIMO HORARIO =			1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
α <sub>1</sub> = α <sub>1</sub> * α <sub>2</sub> = COEFICIENTE MAXIMO TOTAL =			2,10	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
Q <sub>1</sub> = CAUDAL MAXIMO HORARIO	(L/s)		127,27	122,20	126,16	130,07	133,92	137,71	142,53	147,42	152,39	157,44	162,56	167,50	172,14	176,53	180,71	184,72	187,05	191,37	193,07	194,77	196,48
<b>DIAMETRO MAS ECONOMICO</b>																							
<b>ALTERNATIVA I: DIAMETRO 400 mm</b>																							
COSTO DE LA CAÑERÍA	(\$)		123.060																				
COSTO ELECTROBOMBAS	(\$)		37.500											45.000									
COSTO DE MANTENIMIENTO	(\$)			3.211	3.211	3.211	3.211	3.211	3.211	3.211	3.211	3.211	3.211	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361
COSTO DE ENERGIA ELECTRICA	(\$)		55.641	57.631	59.397	61.238	63.050	64.834	67.104	69.409	71.749	74.124	76.598	80.978	83.220	85.340	87.362	89.303	90.428	92.516	93.339	94.163	94.986
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	(\$)		160.560	58.852	60.742	62.608	64.449	66.262	68.045	70.315	72.620	74.960	77.335	126.949	84.339	86.581	88.701	90.723	92.664	93.789	95.877	96.701	97.524
<b>VALOR PRESENTE COSTOS</b>	(\$)		160.560	52.547	48.423	44.563	40.958	37.599	34.474	31.907	29.330	27.031	24.900	36.495	21.648	19.842	18.150	16.575	15.115	13.660	12.468	11.228	10.110
<b>VALOR PRESENTE NETO ALTERNATIVA I</b>	(\$)		<b>716.586</b>																				
<b>ALTERNATIVA II: DIAMETRO 500 mm</b>																							
COSTO DE LA CAÑERÍA	(\$)		189.714																				
COSTO ELECTROBOMBAS	(\$)		33.750											41.250									
COSTO DE MANTENIMIENTO	(\$)			4.469	4.469	4.469	4.469	4.469	4.469	4.469	4.469	4.469	4.469	4.619	4.619	4.619	4.619	4.619	4.619	4.619	4.619	4.619	4.619
COSTO DE ENERGIA ELECTRICA	(\$)		33.300	34.431	35.548	36.649	37.734	38.801	40.160	41.539	42.940	44.361	46.241	47.647	48.966	50.214	51.404	52.546	53.208	54.437	54.921	55.405	55.890
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	(\$)		223.464	37.769	38.900	40.017	41.118	42.203	43.271	44.629	46.009	47.409	48.831	92.111	52.267	53.586	54.833	56.023	57.165	57.827	59.056	59.540	60.025
<b>VALOR PRESENTE COSTOS</b>	(\$)		223.464	33.722	31.011	28.483	26.132	23.947	21.922	20.188	18.582	17.096	15.722	26.480	13.416	12.280	11.220	10.235	9.325	8.422	7.680	6.913	6.223
<b>VALOR PRESENTE NETO ALTERNATIVA II</b>	(\$)		<b>578.064</b>																				
<b>ALTERNATIVA III: DIAMETRO 600 mm</b>																							
COSTO DE LA CAÑERÍA	(\$)		237.804																				
COSTO ELECTROBOMBAS	(\$)		33.000											40.500									
COSTO DE MANTENIMIENTO	(\$)			5.416	5.416	5.416	5.416	5.416	5.416	5.416	5.416	5.416	5.416	5.566	5.566	5.566	5.566	5.566	5.566	5.566	5.566	5.566	5.566
COSTO DE ENERGIA ELECTRICA	(\$)		32.862	33.978	35.080	36.167	37.238	38.291	39.632	40.993	42.375	43.778	45.380	46.760	48.054	49.279	50.446	51.567	52.216	53.422	53.898	54.373	54.848
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	(\$)		270.804	38.278	39.394	40.496	41.583	42.654	43.707	45.048	46.409	47.791	49.194	91.446	52.326	53.620	54.845	56.012	57.133	57.782	58.988	59.464	59.939
<b>VALOR PRESENTE COSTOS</b>	(\$)		270.804	34.177	31.405	28.824	26.427	24.203	22.143	20.377	18.744	17.234	15.839	26.288	13.431	12.288	11.222	10.233	9.320	8.416	7.671	6.904	6.214
<b>VALOR PRESENTE NETO ALTERNATIVA III</b>	(\$)		<b>627.757</b>																				

Tabla 1. Parámetros básicos de diseño

## 2.3. CAUDALES DE DISEÑO

De la **Tabla 1** surgen los caudales de diseño de las instalaciones. Para el dimensionamiento de las obras civiles de la estación de bombeo, debe considerarse el caudal máximo horario del último año del período de diseño, y para el de las bombas de primera etapa, el décimo año, considerado como final en la vida útil de las mismas.

En estaciones elevadoras que bombean durante las 24 hs, es conveniente adoptar una relación “m” (Coeficiente de bombeo = Cociente entre la capacidad máxima de bombeo y el caudal máximo horario) superior a “1”.

En pequeñas instalaciones se puede adoptar hasta “1,25”, y en grandes estaciones de bombeo, desde “1,00” a “1,10”. Para instalaciones intermedias puede recurrirse a valores que se encuentren entre los enunciados, según el criterio del proyectista.

En este ejemplo de cálculo se adopta  $m = 1,10$ , lo que permite estar un 10 % por encima del caudal máximo horario, por si surgiera alguna diferencia práctica en la cuantificación de los caudales de diseño.

Los caudales de diseño de la Estación de Bombeo serán:

$Q_{E10}$	= caudal máximo horario décimo año	=	162.56 L/s
$Q_{E20}$	= caudal máximo horario vigésimo año	=	196.48 L/s
m	= coeficiente de bombeo	=	1.10
$Q_{bt10}$	= caudal de bombeo total décimo año	=	178.82 L/s
$Q_{bt20}$	= caudal de bombeo total vigésimo año	=	216.13 L/s

En el presente proyecto se ha adoptado la instalación de tres bombas, dos de las cuales funcionarán en forma permanente y una tercera de reserva. La cantidad de bombas a colocar en la estación de bombeo queda a criterio del proyectista, el cual debe evaluar la conveniencia o no de utilizar una o varias que bombeen sobre una única cañería de impulsión o que cada una de ellas lo haga individualmente.

A mayor cantidad de bombas colocadas sobre un mismo múltiple de impulsión, mayor será la disipación de energía total del sistema, aunque si la misma es larga, construir cañerías de impulsión separadas para cada bomba puede resultar muy oneroso.

Si se utiliza una única bomba cuando los caudales son bajos, funcionará escasas horas con mayores posibilidades de ingreso de aire a las cañerías. Además, éstas estarán sujetas a mayor fatiga del material por sobrepresiones máximas y mínimas (golpe de ariete) más frecuentes que para el caso en donde funcionen varias bombas en forma escalonada de acuerdo a las necesidades del servicio. Otro problema adicional, es que tendrán mayores intensidades eléctricas de arranque, lo cual encarecerá las instalaciones electromecánicas. Bombas de mayores tamaños a veces necesitan de tecnologías más complicadas que bombas menores, siendo a veces más difíciles de conseguir en el mercado comercial, lo cual las hace más onerosas.

Si cada bomba impulsa en forma individual, a mayor cantidad de máquinas mejor funcionarán las instalaciones eléctricas e hidráulicas, porque los distintos arranques y paradas estarán en forma escalonada, aunque las tareas de mantenimiento se incrementen en función del número de equipos colocados.

## 2.4. VOLUMEN MÍNIMO DEL RESERVORIO DE DISTRIBUCIÓN

Se ha supuesto que desde una cisterna de almacenamiento se bombea a otra de distribución la cual controla el arranque y parada de las electrobombas. Por lo tanto, es necesario determinar el volumen mínimo que debe tener esta última para que las máquinas funcionen correctamente. Al respecto debe tenerse en cuenta que se ha previsto la colocación de tres bombas, dos en funcionamiento y una tercera de reserva.

Al Volumen " $V_1$ " (volumen útil mínimo para la primera bomba) se lo magnificó por un factor de seguridad  $c = 1,15$  para evitar posibles errores en la determinación de los caudales reales. Al volumen " $V_2$ " (volumen útil mínimo para la segunda bomba) no es necesario aplicarle el coeficiente  $c = 1,15$  porque surge como proporción del " $V_1$ " que ya tiene aplicado este incremento y que influye en forma proporcional sobre " $V_2$ ".

El factor de simultaneidad " $f_s$ " es el cociente entre el caudal de bombeo cuando funciona una sola bomba y el caudal total de bombeo cuando impulsan todas simultáneamente.

Cuando las bombas funcionan en paralelo y cada una tiene una cañería de impulsión individual, el caudal se incrementará en forma proporcional de acuerdo al número de bombas que impulsen. Por ejemplo, si está funcionando una bomba y se enciende una segunda de iguales características, se duplicará el caudal de bombeo total, y se triplicará si se enciende una tercera similar a las otras dos.

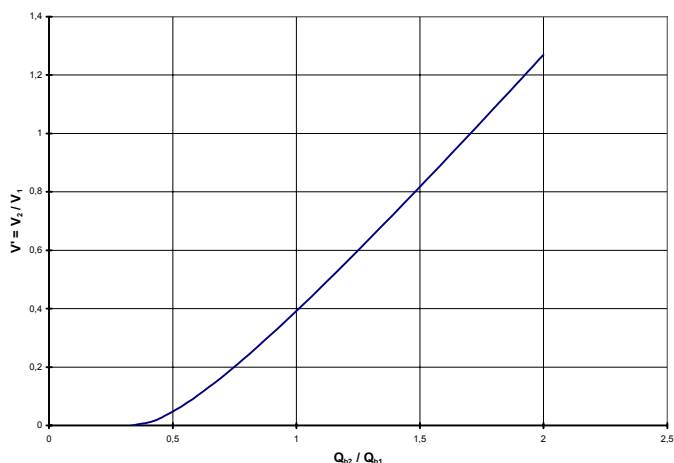
En este ejemplo, si fuesen cañerías de impulsión separadas, el factor " $f_s$ " para dos bombas sería igual a "0,50", ya que al multiplicar este parámetro por el caudal total, se obtendría la mitad del aporte total para cada bomba.

En este ejemplo la cañería de impulsión es única, bombeando las electrobombas sobre un múltiple común a todas ellas, por lo que para conocer el caudal de bombeo, cuando funcione una sola bomba, se debe establecer la relación " $f_s$ " denominada factor de simultaneidad.

Si se conocen las curvas de las bombas y se obtiene la de la instalación, se puede prescindir de determinar el factor " $f_s$ " porque se pueden determinar los caudales de funcionamiento para una bomba o varias en forma directa.

Cuando no se dispone de las curvas brindadas por un determinado fabricante, es conveniente adoptar " $f_s$ " de acuerdo al tipo de bomba a utilizar. Se propone como metodología para cuantificar este parámetro, el solicitar a los fabricantes de bombas, curvas comerciales de las mismas características a las que se utilizarán en el proyecto, y con estas, establecer los caudales resultantes cuando funcione una sola bomba o ambas y relacionarlos entre sí para obtener un valor orientativo de " $f_s$ " que puede ser utilizado para el dimensionamiento de las instalaciones.

Para determinar la relación entre el volumen útil mínimo necesario para la primera bomba y la segunda, se recurre al gráfico de la **Figura 1**. (ver gráfico de la Figura N° 55 de la Fundamentación de la Norma, Capítulo VI y Figura 3 de la Norma, Capítulo 9).



**Figura 1.** Volumen mínimo  $V_2$ . Método de Pincence para dos bombas

En este caso, el caudal bombeado por las dos bombas cuando funcionan simultáneamente, será igual a “1,00”, por lo que  $V'$  será aproximadamente igual a “0,40”.

Si la segunda bomba impulsara la mitad del caudal con respecto a la primera, la relación entre los caudales  $Q_{b2}/Q_{b1}$ , sería igual a “0,50” y  $V'= 0,05$ . Estas relaciones serán válidas, cuando las bombas funcionen de acuerdo a un esquema de arranques escalonados (arranca primero la bomba 1 y después la 2, parando todas en el mismo nivel).

La determinación del volumen útil mínimo total que debe tener el reservorio de distribución, se establece a través de las siguientes relaciones:

#### Volumen mínimo para la primera bomba

$Q_{bt20}$ = caudal de bombeo total vigésimo año	=	216.13 L/s
$Q_{bt20}$ =	=	778.05 m <sup>3</sup> /h
$f_s$ = factor de simultaneidad de electrobombas	=	0.65
$Q_{b1-20}$ = caudal de cada electrobomba funcionando sola	=	505.73 m <sup>3</sup> /h
$Q_{b1-20}$ =	=	140.48 L/s
$f_{m\acute{a}x}$ = frecuencia de arranques máximos sucesivos electrobombas	=	6 a/h
$t_{m\acute{i}n}$ = tiempo de arranques mínimos sucesivo electrobombas	=	10 min
$c$ = factor de seguridad	=	1.15

$$V_{u1} = Q_{b1-20} \cdot t / 4 = Q_{b120} / (4 \cdot f_{\max}) = \text{volumen útil para la primera bomba} = 21.07 \text{ m}^3$$

$$V_1 = c \cdot V_{u1} = \text{Volumen útil adoptado primera bomba} = 24.23 \text{ m}^3$$

#### Volumen útil mínimo para el reservorio de distribución

$$\mu = Q_{b2}/Q_{b1} = \text{relación entre los caudales de bombeo de las dos bombas funcionando simultáneamente} = 1.00$$

$$V' = V_{u2}/V_{u1} = \text{relación entre volúmenes} = 0.40$$

$$V_2 = \text{volumen útil para la segunda bomba} = 9.69 \text{ m}^3$$

#### Volumen mínimo total necesario del reservorio de distribución

$$V_t = V_1 + V_2 = 33.93 \text{ m}^3$$

Se supone a los fines de este ejemplo, que la cisterna de distribución existente es de 100 m<sup>3</sup> y que tiene capacidad suficiente para evitar el arranque sucesivo de las electrobombas, respetando el sistema de arranques escalonados y parada general de las máquinas en el nivel líquido superior de la misma.

## 2.5. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO MÁS ECONÓMICO

Se verificaron tres alternativas diferentes con diámetros distintos (400, 500 y 600 mm), para velocidades normales en las impulsiones de alrededor de 1,00 m/s.

Para determinar el diámetro más económico, se calculó el valor presente neto del costo total (costo de inversión: provisión e instalación) de cada alternativa determinando los siguientes costos anuales:

**1 - Costo de la cañería:** en la **Tabla 2**, se analiza el costo de la cañería para cada una de las alternativas analizadas. En el precio se incluyeron los impuestos locales, lo cual es conveniente sobre todo cuando los mismos tienen alta influencia sobre el costo total.

**2 - Costo de las Electrobombas:** en la **Tabla 2** se ha considerado el precio de las electrobombas para las dos etapas analizadas.

**3 - Costo de mantenimiento:** Se estimó un costo de mantenimiento anual, que para este ejemplo es del 2 % del total (cañerías + electrobombas).

**4 - Costo de energía eléctrica:** Para el costo de la energía eléctrica se ha considerado en este ejemplo, un valor unitario de 0,16 \$/KWh y su determinación se realizó siguiendo los pasos presentados en el numeral 2.13.1 de la Fundamentación de la presente Norma. Es necesario determinar la altura manométrica de ambas etapas, para poder establecer el gasto de energía eléctrica de cada una de ellas.

Cuando se trata de una sola bomba, la altura manométrica es única, y puede determinarse la cantidad de horas que impulsará la misma, relacionando el caudal medio con el de bombeo. En este ejemplo, se dispone de dos bombas por lo que el gasto de energía será combinación de ambas, siendo diferente cuando funcione una sola o las dos.

Debido a los innumerables factores que intervienen, es muy difícil establecer las horas de bombeo de una bomba y la de las dos por diversos factores, entre ellos:

- Curva horaria y diaria de consumos diferentes durante el año y a través de los distintos períodos, cuando normalmente no se conocen, ni tampoco el comportamiento futuro de las mismas.
- Cuando las bombas trabajan de acuerdo al nivel líquido de un estanque al cual impulsan, la frecuencia con que funcionarán una o dos, dependerá del volumen de almacenamiento de la cisterna. Es decir, a mayor volumen, menor será la frecuencia con que trabajen dos bombas en forma simultánea. En caso contrario, un volumen menor hará que dos bombas funcionen con mayor frecuencia que en el caso anterior.

En este ejemplo, se propone adoptar un valor promedio entre la altura manométrica cuando funciona una bomba o cuando funcionan ambas para evitar mayores complicaciones dado que la diferencia no es significativa. Si al caudal medio se lo multiplica por la altura manométrica y se lo divide por el rendimiento, se obtiene la cantidad de energía consumida en el proceso.

Como ejemplo de cálculo se determina el gasto en energía insumido por la impulsión de 400 mm en el año inicial.

$Q_C$ = Caudal medio diario	=	5,236 m <sup>3</sup> /d
$Q_C$ =		0.061 m <sup>3</sup> /s
$H_{man} = H_{est} + \Delta H$ = altura manométrica para el funcionamiento de todas las bombas (ver página 11)	=	54.71 m
$H_{1man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de una sola bomba (ver página 12)	=	52.12 m
$H_{pman}$ = altura promedio	=	53.41 m
$\eta$ = rendimiento estimado electrobombas	=	0.80
$\gamma$ = peso específico del agua	=	1,000 Kg/m <sup>3</sup>
$k_1$ = factor de cambio de unidades de potencia	=	76.04 Kgm/s/HP
$k_2$ = factor de cambio de unidades de potencia	=	0.746 KWh/h/HP
$p$ = días en el período considerado	=	365 d
$N_h$ = número de horas por día	=	24 hs/d
$c$ = costo unitario de la energía eléctrica	=	0.16 \$/KWh
$C_e = \gamma \cdot Q_C \cdot H_{pman} / (k_1 \cdot \eta) \cdot k_2 \cdot N_h \cdot p \cdot c$ = costo anual de energía	=	55,641 \$/año

De la misma manera se calculan los costos de energía para el resto de los años y para las distintas alternativas.

Se analizaron las dos etapas de diseño estimando que la vida útil de las bombas es de 10 años. Para el diámetro máximo se adoptó el criterio de que la velocidad mínima en la

cañería, sea mayor a 0,60 m/s, para evitar deposición de partículas. En este caso, el agua es potable sin contenido de materia en suspensión, aunque si la velocidad dentro de la cañería de impulsión es baja, con el tiempo comienzan a acumularse sedimentos no deseables en las mismas.

N°	Designación	U	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>1</b>	<b>ALTERNATIVA I: Cañería 400 mm</b>				
<b>1.1</b>	<b>Costo de la cañería</b>				
	Cañería D° 400 mm	m	1,000.00	60.00	60,000
	Excavación	m <sup>3</sup>	1,700.00	16.00	27,200
	Reparación Pavimentos	m <sup>2</sup>	1,000.00	30.00	30,000
	Accesorios	Gl			5,860
	<b>Subtotal</b>				<b>123,060</b>
<b>1.2</b>	<b>Costo de las electrobombas</b>				
	Bombas primera etapa	u	3.00	12,500.00	37,500
	Bombas segunda etapa	u	3.00	15,000.00	45,000
	<b>Subtotal</b>				<b>82,500</b>
	<b>Total Alternativa I</b>				<b>205,560</b>
<b>2</b>	<b>ALTERNATIVA II: Cañería 500 mm</b>				
<b>2.1</b>	<b>Costo de la cañería</b>				
	Cañería D° 500 mm	m	1,000.00	116.00	116,000
	Excavación	m <sup>3</sup>	1,980.00	16.00	31,680
	Reparación Pavimentos	m <sup>2</sup>	1,100.00	30.00	33,000
	Accesorios	Gl			9,034
	<b>Subtotal</b>				<b>189,714</b>
<b>2.2</b>	<b>Costo de las electrobombas</b>				
	Bombas primera etapa	u	3.00	11,250.00	33,750
	Bombas segunda etapa	u	3.00	13,750.00	41,250
	<b>Subtotal</b>				<b>75,000</b>
	<b>Total Alternativa II</b>				<b>264,714</b>
<b>3</b>	<b>ALTERNATIVA III: Cañería 600 mm</b>				
<b>3.1</b>	<b>Costo de la cañería</b>				
	Cañería D° 600 mm	m	1,000.00	154.00	154,000
	Excavación	m <sup>3</sup>	2,280.00	16.00	36,480
	Reparación Pavimentos	m <sup>2</sup>	1,200.00	30.00	36,000
	Accesorios	Gl			11,324
	<b>Subtotal</b>				<b>237,804</b>
<b>3.2</b>	<b>Costo de las electrobombas</b>				
	Bombas primera etapa	u	3.00	11,000.00	33,000
	Bombas segunda etapa	u	3.00	13,500.00	40,500
	<b>Subtotal</b>				<b>73,500</b>
	<b>Total Alternativa III</b>				<b>311,304</b>

**Tabla 2.** Cómputo y presupuesto – Cañerías y electrobombas

Como generalmente no se conoce la bomba comercial a utilizar, se define un caudal de bombeo y una altura manométrica resultante del mismo, y con ambos datos, se procede



a determinar la potencia mínima necesaria de las electrobombas, considerando un rendimiento del conjunto motor - bomba similar a los establecidos en las comerciales. Luego se adquirirá una bomba cuya característica se aproxime a la de diseño.

Si se dispone de curvas de bombas comerciales, se establece el punto de funcionamiento en donde la curva de la instalación corte a la de la bomba, conociendo de esta manera el caudal de bombeo. Esto será analizado más adelante.

Como la cañería de impulsión tiene una longitud superior a "500 . D" siendo D = diámetro de la impulsión, en todos los casos se considera larga, y se desestiman las pérdidas de energía por singularidades. Se utiliza la fórmula de Williams-Hazen para la determinación de las pérdidas de energía por fricción.

En este caso se ha considerado una cañería de acero con un coeficiente  $c = 130$ .

Para determinar las características de las bombas necesarias para cada alternativa y sus correspondientes alturas manométricas, se procedió de acuerdo a lo establecido en el numeral 2.11 de la Fundamentación de la Norma:

### **Alternativa I: Diámetro 400 mm**

#### **Primera etapa de bombeo**

$Q_{bt10}$ = caudal de bombeo total décimo año	=	178.82 L/s
$H_{est}$ = altura estática	=	50.00 m
$C$ = coeficiente de Williams-Hazen de las cañerías	=	130.00
$L$ = longitud de la cañería	=	1,000.00 m
$D$ = diámetro de la conducción	=	0.400 m
$v = 4 \cdot Q_{bt10} / (\pi \cdot D^2)$ = velocidad en la conducción	=	1.42 m/s
$\Delta H = L \cdot Q_{bt10}^{1.85} / ((0.278 \cdot c)^{1.85} \cdot D^{4.87})$ =	=	
= pérdida de energía para el funcionamiento de todas las bombas	=	4.71 m
$H_{man} = H_{est} + \Delta H$ =		
= altura manométrica para el funcionamiento de todas las bombas	=	54.71 m
$n_b$ = número de electrobombas	=	2
$n_r$ = número de electrobombas de reserva	=	1
$f_s$ = factor de simultaneidad de electrobombas	=	0.65
$Q_{b1} = f_s \cdot Q_{bt10}$ = caudal de cada electrobomba funcionando sola	=	116.23 L/s
$K_1$ = factor de transformación de unidades	=	76.04
$\eta$ = rendimiento estimado electrobombas	=	0.80
$\gamma$ = peso específico del agua	=	1,000 Kg/m <sup>3</sup>

$$\Delta H_1 = L \cdot Q_{b1}^{1.85} / ((0,278 \cdot c)^{1.85} \cdot D^{4.87}) =$$

= pérdida de energía para el funcionamiento de una sola bomba = 2.12 m

$$H_{1man} = H_{est} + \Delta H_1 =$$

$H_{1man}$  = altura manométrica para el funcionamiento de una sola bomba = 52.12 m

$$P = \gamma \cdot Q_{b1} \cdot H_{1man} / (\eta \cdot K_1) = \text{potencia necesaria de cada electrobomba} = 100 \text{ HP}$$

### Segunda etapa de bombeo

$$Q_{bt20} = \text{caudal de bombeo total vigésimo año} = 216.13 \text{ L/s}$$

$$H_{est} = \text{altura estática} = 50.00 \text{ m}$$

$$c = \text{coeficiente de Williams-Hazen de las cañerías} = 130.00$$

$$L = \text{longitud de la cañería} = 1,000.00 \text{ m}$$

$$D = \text{diámetro de la conducción} = 0.400 \text{ m}$$

$$v = \text{velocidad en la conducción} = 1.72 \text{ m/s}$$

$$\Delta H = \text{pérdida de energía para el funcionamiento de todas las bombas} = 6.68 \text{ m}$$

$$H_{man} = \text{altura manométrica para el funcionamiento de todas las bombas} = 56.68 \text{ m}$$

$$n_b = \text{número de electrobombas} = 2$$

$$n_r = \text{número de electrobombas de reserva} = 1$$

$$f_s = \text{factor de simultaneidad de electrobombas} = 0.65$$

$$Q_{b1} = \text{caudal de cada electrobomba funcionando sola} = 140.48 \text{ L/s}$$

$$F = \text{factor de transformación de unidades} = 76.04 \text{ Kg/s/HP}$$

$$\eta = \text{rendimiento estimado electrobombas} = 0.80$$

$$\Delta H_1 = \text{pérdida de energía para el funcionamiento de una sola bomba} = 3.01 \text{ m}$$

$$H_{1man} = \text{altura manométrica para el funcionamiento de una sola bomba} = 53.01 \text{ m}$$

$$P = \text{potencia necesaria de cada electrobomba} = 122 \text{ HP}$$

### Alternativa II: Diámetro 500 mm

#### Primera etapa de bombeo

$$Q_{bt10} = \text{caudal de bombeo total décimo año} = 178.82 \text{ L/s}$$

$$H_{est} = \text{altura estática} = 50.00 \text{ m}$$

$$c = \text{coeficiente de Williams-Hazen de las cañerías} = 130.00$$

$L$ = longitud de la cañería	=	1,000.00 m
$D$ = diámetro de la conducción	=	0.500 m
$v$ = velocidad en la conducción	=	0.91 m/s
$\Delta H$ = pérdida de energía para el funcionamiento de todas las bombas	=	1.59 m
$H_{man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de todas las bombas	=	51.59 m
$n_b$ = número de electrobombas	=	2
$n_r$ = número de electrobombas de reserva	=	1
$f_s$ = factor de simultaneidad de electrobombas	=	0.65
$Q_{b1}$ = caudal de cada electrobomba funcionando sola	=	116.23 L/s
$F$ = factor de transformación de unidades	=	76.04 Kgm/s/HP
$\eta$ = rendimiento estimado electrobombas	=	0.80
$\Delta H_1$ = pérdida de energía para el funcionamiento de una sola bomba	=	0.71 m
$H_{1man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de una sola bomba	=	50.71 m
$P$ = potencia necesaria de cada electrobomba	=	97 HP

### Segunda etapa de bombeo

$Q_{bt20}$ = caudal de bombeo total décimo año	=	216.13 L/s
$H_{est}$ = altura estática	=	50.00 m
$c$ = coeficiente de Williams-Hazen de las cañerías	=	130.00
$L$ = longitud de la cañería	=	1,000.00 m
$D$ = diámetro de la conducción	=	0.500 m
$v$ = velocidad en la conducción	=	1.10 m/s
$\Delta H$ = pérdida de energía para el funcionamiento de todas las bombas	=	2.25 m
$H_{man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de todas las bombas	=	52.25 m
$n_b$ = número de electrobombas	=	2
$n_r$ = número de electrobombas de reserva	=	1
$f_s$ = factor de simultaneidad de electrobombas	=	0.65
$Q_{b1}$ = caudal de cada electrobomba funcionando sola	=	140.48 L/s
$F$ = factor de transformación de unidades	=	76.04 Kgm/s/HP
$\eta$ = rendimiento estimado electrobombas	=	0.80

$\Delta H_1$ = pérdida de energía para el funcionamiento de una sola bomba	=	1.02 m
$H_{1man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de una sola bomba	=	51.02 m
P = potencia necesaria de cada electrobomba	=	118 HP

**Alternativa III: Diámetro 600 mm.**

**Primera etapa de bombeo**

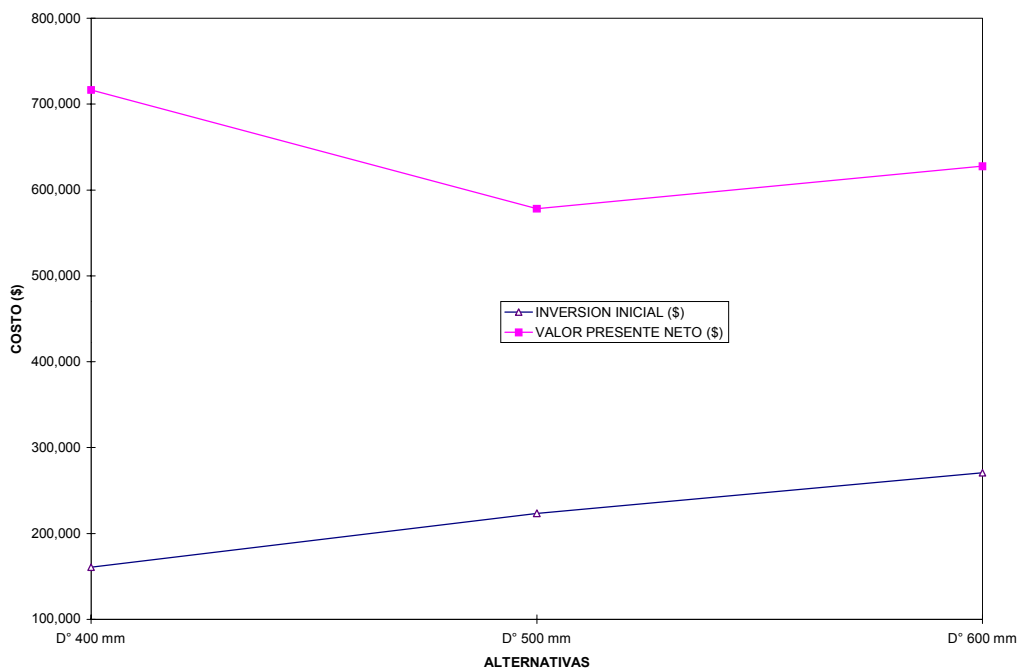
$Q_{bt10}$ = caudal de bombeo total décimo año	=	178.82 L/s
$H_{est}$ = altura estática	=	50.00 m
c = coeficiente de Williams-Hazen de las cañerías	=	130.00
L = longitud de la cañería	=	1,000.00 m
D = diámetro de la conducción	=	0.600 m
v = velocidad en la conducción	=	0.63 m/s
$\Delta H$ = pérdida de energía para el funcionamiento de todas las bombas	=	0.65 m
$H_{man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de todas las bombas	=	50.6532 m
$n_b$ = número de electrobombas	=	2
$n_r$ = número de electrobombas de reserva	=	1
$f_s$ = factor de simultaneidad de electrobombas	=	0.65
$Q_{b1}$ = caudal de cada electrobomba funcionando sola	=	116.23 L/s
F = factor de transformación de unidades	=	76.04 Kgm/s/HP
$\eta$ = rendimiento estimado electrobombas	=	0.80
$\Delta H_1$ = pérdida de energía para el funcionamiento de una sola bomba	=	0.29 m
$H_{1man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de una sola bomba	=	50.29 m
P = potencia necesaria de cada electrobomba	=	96 HP

**Segunda etapa de bombeo**

$Q_{bt20}$ = caudal de bombeo total décimo año	=	216.13 L/s
$H_{est}$ = altura estática	=	50.00 m
c = coeficiente de Williams-Hazen de las cañerías	=	130.00
L = longitud de la cañería	=	1,000.00 m
D = diámetro de la conducción	=	0.600 m
v = velocidad en la conducción	=	0.76 m/s

$\Delta H$ = pérdida de energía para el funcionamiento de todas las bombas	=	0.93 m
$H_{man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de todas las bombas	=	50.93 m
$n_b$ = número de electrobombas	=	2
$n_r$ = número de electrobombas de reserva	=	1
$f_s$ = factor de simultaneidad de electrobombas	=	0.65
$Q_{b1}$ = caudal de cada electrobomba funcionando sola	=	140.48 L/s
$F$ = factor de transformación de unidades	=	76.04 Kgm/s/HP
$\eta$ = rendimiento estimado electrobombas	=	0.80
$\Delta H_1$ = pérdida de energía para el funcionamiento de una sola bomba	=	0.42 m
$H_{1man}$ = altura manométrica para el funcionamiento de una sola bomba	=	50.42 m
$P$ = potencia necesaria de cada electrobomba	=	116 HP

Se observa en la **Tabla 1**, que el año de base es aquel en donde comienzan las inversiones, denominado en este caso año "-1". En este ejemplo se considera que la obra será ejecutada en ese período y los costos de mantenimiento y de energía comenzarán recién a partir del primer año de servicio denominado "0".



**Figura 2.** Determinación del diámetro más económico

Para determinar el Valor Presente Neto del Costo Total (costo de inversión + costo de operación y mantenimiento) de cada alternativa se procede como en el numeral 2.13.1 de la Fundamentación de la presente Norma, calculándose la sumatoria de los valores presentes durante todo el período de diseño. La tasa de interés anual adoptada es  $i = 12\%$ . También debe ser considerada la inversión inicial debido a que a veces, aunque una alternativa presente un menor VPN la diferencia entre los costos iniciales pueden desechar una alternativa con bajo VPN y elevado valor inicial por falta de financiación para las obras. En la **Figura 2** se establece el VPN y el costo inicial de las alternativas estudiadas.

De la **Figura 2** surge como la alternativa más económica la segunda, porque presenta menor VPN del costo total, es decir aquella que contempla una impulsión de 500 mm de diámetro.

## 2.6. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE BOMBEO CON LAS CURVAS COMERCIALES DE LAS BOMBAS

Cuando se dispone de las curvas "Q - H" y "Q -  $\eta$ " de una bomba comercial, es posible trazar sobre las mismas la curva de la instalación y determinar el caudal que bombeará cada una individualmente o en conjunto.

En este caso, se supuso conocida la curva de la bomba (ver **Figura 3**), y para trazar las curvas de la instalación (**Tabla 3**), se utilizó la fórmula de Williams-Hazen con caudales arbitrarios de acuerdo a lo indicado en el numeral 2.11.2 de la Fundamentación de la presente Norma.

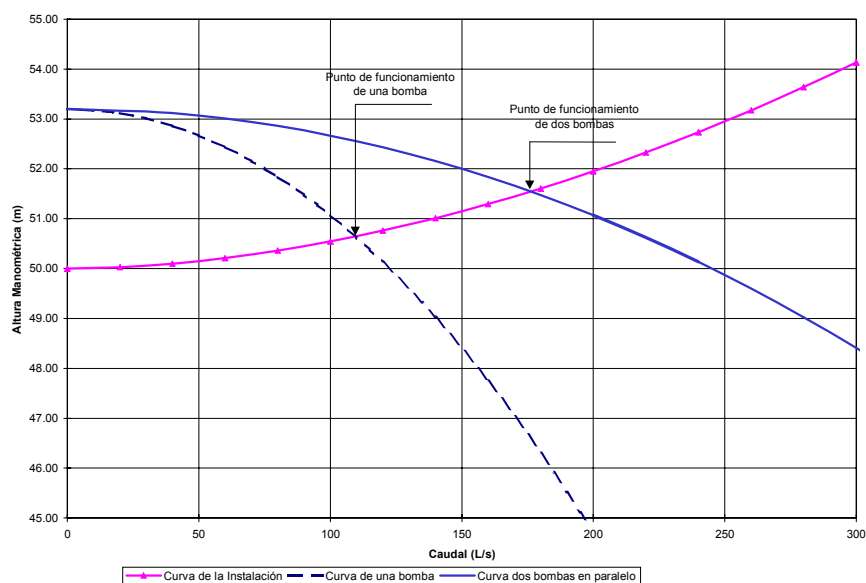
Impulsión		
D = Diámetro Cañería de Impulsión	=	0.500 m
Hest = altura estática	=	50.00 m
L = longitud de la cañería	=	1,000.00 m
Coficiente de Williams-Hazen	=	130.00

Caudal (L/s)	Pérdida Energía Impulsión (m)	Altura Manom. Impulsión (m)
0.00	0.00	50.00
20.00	0.03	50.03
40.00	0.10	50.10
60.00	0.21	50.21
80.00	0.36	50.36
100.00	0.54	50.54
120.00	0.76	50.76
140.00	1.01	51.01
160.00	1.29	51.29
180.00	1.61	51.61
200.00	1.95	51.95
220.00	2.33	52.33
240.00	2.74	52.74
260.00	3.17	53.17
280.00	3.64	53.64
300.00	4.13	54.13

**Tabla 3.** Determinación de la curva de la instalación

En la **Figura 3** se graficó la curva de la instalación y se trazó la de las bombas cuando trabajan individualmente o en paralelo. De esta manera se determinó gráficamente el punto de funcionamiento para una o dos bombas. Hay que considerar además que la misma debe funcionar con un rendimiento que sea lo más óptimo posible.

Se observa que la bomba comercial dio un valor similar al calculado en el numeral anterior para la alternativa III seleccionada.



**Figura 3.** Curva de la instalación y de una y dos bombas en paralelo para la cañería de impulsión

## 2.7. GOLPE DE ARIETE

Para la determinación del golpe de ariete se utilizaron los métodos de Mendiluce-Rosich presentados en el numeral 2.13.2 de la Fundamentación de la presente Norma. Se ha considerado que la cañería de impulsión es de acero. La determinación del golpe de ariete responde a las siguientes características:

$E_{ag}$ = módulo de Elasticidad agua	=	19,800 Kg/cm <sup>2</sup>
$E_c$ = módulo de Elasticidad del acero	=	2,100,000 Kg/cm <sup>3</sup>
$L$ = longitud cañería de impulsión	=	1,000.00 m
$D$ = diámetro cañería de impulsión	=	0.500 m
$e$ = espesor cañería de impulsión	=	0.0103 m

$g$ = aceleración de la gravedad	=	9.81 m/s <sup>2</sup>
$\gamma_{ag}$ = peso específico del agua	=	1,000 Kg/m <sup>3</sup>
$c = (1/(\gamma_{ag} / g \cdot (D / (E \cdot e) + 1 / E_{ag})))^{(1/2)}$ = celeridad primer tramo	=	1,154 m/s
$T_c = 2 \cdot L / c$ = tiempo crítico	=	1.73 s
$H_{est}$ = altura estática	=	50.00 m
$i = H_{est}/L$ = pendiente cañería	=	5.00 %

Como la pendiente de la cañería  $i < 20$  % el coeficiente "C" de Mendiluce será:

C = coeficiente Mendiluce	=	1.0
---------------------------	---	-----

La longitud se encuentra entre  $500 \text{ m} < L < 1000 \text{ m}$  por lo tanto:

K = coeficiente de Mendiluce	=	1.50
------------------------------	---	------

### Primera etapa

$Q_{b2010}$ = caudal de bombeo total primera etapa	=	178.82 L/s
$v$ = velocidad de la conducción	=	0.91 m/s
$H_{man}$ = altura manométrica de elevación	=	50.65 m
$T = C + K \cdot L \cdot v / (g \cdot H_{man})$ = tiempo de cierre instalación	=	3.7 sg
Como $T > T_c$ el tiempo de cierre de la instalación es lento		
$\Delta H = 2 \cdot L \cdot v / (g \cdot T)$ = sobrepresión por golpe de ariete	=	49.52 m
$H_{est}$ = altura estática	=	50.00 m
$H = H_{est} + \Delta H$ = sobrepresión total	=	99.52 m
$H = H_{est} - \Delta H$ = depresión total	=	0.48 m

### Segunda etapa

$Q_{b2020}$ = caudal de bombeo total segunda etapa	=	216.13 L/s
$v$ = velocidad de la conducción	=	1.10 m/s
$H_{man}$ = altura manométrica de elevación	=	50.93 m
$T = C + K \cdot L \cdot v / (g \cdot H_{man})$ = tiempo de cierre instalación	=	4.3 sg
Como $T > T_c$ el tiempo de cierre de la instalación es lento:		
$\Delta H = 2 \cdot L \cdot v / (g \cdot T)$ = sobrepresión por golpe de ariete	=	52.13 m
$H_{est}$ = altura estática	=	50.00 m
$H = H_{est} + \Delta H$ = Sobrepresión total	=	102.13 m
$H = H_{est} - \Delta H$ = Depresión total	=	-2.13 m

Se requiere en este caso una protección contra el golpe de ariete que permita limitar las sobrepresiones y depresiones en la cañería.



## 2.8. DISPOSITIVO ANTIARIETE - CÁMARA DE AIRE

Se calculó la cámara de aire de acuerdo a lo establecido en el numeral 3.13.5 del Capítulo de la Fundamentación de la presente Norma. Se fija un volumen de aire arbitrario y se establece si el mismo permite amortiguar las sobre y depresiones a valores adecuados para nuestras instalaciones. En este ejemplo se estableció como sobrecarga máxima a 75 m.c.a., valor máximo para proteger las instalaciones.

Al pie de la cañería de aire se colocó una chapa orificio que acelera el proceso de amortiguamiento.

El dimensionamiento del dispositivo antiariete se realizó de la siguiente manera:

### Parámetros intervinientes

$V_0$ = volumen inicial del aire en el tanque adoptado	=	5.00 m <sup>3</sup>
$Q_{bt20}$ = caudal de bombeo total vigésimo año	=	0.216 m <sup>3</sup> /s
$D$ = diámetro de la conducción	=	0.500 m
$u_0$ = velocidad inicial de la cañería antes de parar las bombas	=	1.10 m/s
$A = \pi \cdot D^2 / 4$ = área de la cañería de impulsión	=	0.196 m <sup>2</sup>
$L$ = longitud de la conducción	=	1,000.00 m
$y_0$ = desnivel entre cámara y estanque	=	50.00 m
$h_{atmosf}$	=	10.33 m
$Y_0 = y_0 + h_{atmosf}$ = presión absoluta estática	=	60.33 m

### Pérdidas de energía Ingreso cámara orificio

$d_o$ = diámetro del orificio de ingreso a la cámara	=	0.250 m
$v$ = velocidad inicial de ingreso en el orificio	=	4.40 m/s
$C_d$ = coeficiente de gasto del orificio	=	0.60
$h_1$ = pérdida de energía localizada en el ingreso chapa orificio	=	2.74 m
$L$ = longitud de la cañería de ingreso	=	18.00 m
$D$ = diámetro de la derivación a la cámara de aire	=	0.400 m
$c$ = coeficiente de Williams-Hazen de la cañería entre la impulsión y la cámara de aire	=	130
$h_2$ = pérdida de energía friccional entre impulsión y cámara de aire	=	0.12 m
$R \cdot u^2$ = pérdidas de energía total al pie de la cámara ingreso	=	2.86 m

### Pérdidas de energía en la cañería de impulsión

$P \cdot u_0^2$ = pérdidas de energía friccionales	=	2.25 m
--	---	--------

$$h_0 = y_0 + P \cdot u_0^2 = \text{altura manométrica cañería} = 52.25 \text{ m}$$

$$H_0 = h_0 + h_{\text{atm}} = \text{altura manométrica absoluta} = 62.58 \text{ m}$$

### Valores auxiliares y unitarios

$$x = \text{longitud auxiliar} = 2.42$$

$$\Delta V_u = \text{variación unitaria volumétrica} = 0.02$$

$$Y_{0u} = Y_0 / x = \text{Presión absoluta estática unitaria} = 24.88$$

$$H_{0u} = H_0 / x = \text{altura manométrica unitaria} = 25.81$$

$$R_{0u} = \text{pérdidas de energía unitaria ingreso al tanque} = 1.18$$

$$P_{0u} = \text{pérdidas de energía unitaria cañería} = 0.93$$

En la **Tabla 4** se desarrolla el método de cálculo con los distintos parámetros intervinientes. En este ejemplo  $\Delta V_u = 0,02$ , salvo cuando el valor de " $\alpha = Q_u^2$ " tienda a "0". En este caso, se adopta un valor de " $\Delta V_u$ " menor que 0,02 tal que haga nulo al " $\alpha$ ", situación que ocurre cuando el aire dentro de la cámara ocupa el menor o el mayor volumen posible.

En las dos últimas columnas de la **Tabla 4**, se observa como varían el volumen de aire "V" y la presión absoluta "H" dentro de la cámara, desde el momento en que comienza el amortiguamiento de la onda de presión. Se ha estudiado dos ciclos de presión y dos de depresión. Las filas sombreadas de la **Tabla 4** representan los valores máximos y mínimos de "V" y "H".

Se consideran aceptables las presiones máximas y mínimas obtenidas, por lo que el volumen de aire será suficiente para limitar las sobrepresiones por golpe de ariete. De la **Tabla 4** surgen las siguientes conclusiones:

$$V_{\text{umáx}} = \text{Volumen máximo unitario} = 1.290$$

$$V_{\text{umín}} = \text{Volumen mínimo unitario} = 0.732$$

$$V_{\text{máx}} = \text{Volumen máximo} = 6.45 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mín}} = \text{Volumen mínimo} = 3.66 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{máx}} = \text{Presión máxima absoluta tanque} = 85.49 \text{ m}$$

$$H_{\text{mín}} = \text{Presión mínima absoluta tanque} = 48.53 \text{ m}$$

$$h_{\text{máx}} = \text{Presión máxima relativa cañería} = 74.16 \text{ m}$$

$$h_{\text{mín}} = \text{Presión mínima relativa cañería} = 38.20 \text{ m}$$

$$H_s = H_{\text{est}} + \Delta H = \text{Sobrepresión total por golpe de ariete} = 102.13 \text{ m}$$

$$H_d = H_{\text{est}} - \Delta H = \text{Depresión total por golpe de ariete} = -2.13 \text{ m}$$

$$\Delta H_s = \text{Presión absorbida cámara de aire} = 26.97 \text{ m}$$

$$\Delta H_d = \text{Depresión absorbida cámara de aire} = 36.07 \text{ m}$$

$\Delta V_i$	$\alpha_i$	$V_{i0}$	$V_{i0} + \Delta V_i / 2$	$H_{i0}(V_{i0} + \Delta V_i / 2)$	$(P_{i0} + R_{i0}) \cdot \alpha_i$	$H_{i0}(V_{i0} + \Delta V_i / 2) - Y_{i0} \cdot (P_{i0} + R_{i0}) \cdot \alpha_i$	$1/\Delta V_i \cdot (R_{i0} + P_{i0})/2$	$\Delta \alpha$	$Q_i$	$Q$	$V$	$H$
(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	(-6)	(-7)	(-8)	(-9)	(-10)	(-11)	(-12)	(-13)
0,02	1,00000	1,00000	1,01000	25,55232	2,11083	-1,43689	51,05541	-0,02814	1,00000	0,21613	5,00	62,58
	0,97186	1,02000	1,03000	25,05616	2,05142	-1,87364	51,05541	-0,03670	0,98683	0,21306	5,10	61,36
	0,93516	1,04000	1,05000	24,57890	1,97396	-2,27344	51,05541	-0,04453	0,96704	0,20900	5,20	60,18
	0,89063	1,06000	1,07000	24,11948	1,87996	-2,63887	51,05541	-0,05169	0,94373	0,20396	5,30	59,04
	0,83894	1,08000	1,09000	23,67692	1,77086	-2,97232	51,05541	-0,05822	0,91594	0,19796	5,40	57,95
	0,78073	1,10000	1,11000	23,25031	1,64798	-3,27605	51,05541	-0,06417	0,88359	0,19097	5,50	56,89
	0,71656	1,12000	1,13000	22,83880	1,51253	-3,55211	51,05541	-0,06957	0,84650	0,18295	5,60	55,88
	0,64698	1,14000	1,15000	22,44161	1,36567	-3,80245	51,05541	-0,07448	0,80435	0,17384	5,70	54,90
	0,57251	1,16000	1,17000	22,05799	1,20847	-4,02886	51,05541	-0,07891	0,75664	0,16353	5,80	53,95
	0,49360	1,18000	1,19000	21,68727	1,04190	-4,23302	51,05541	-0,08291	0,70256	0,15184	5,90	53,04
	0,41069	1,20000	1,21000	21,32880	0,86689	-4,41647	51,05541	-0,08650	0,64085	0,13850	6,00	52,15
	0,32418	1,22000	1,23000	20,98199	0,68429	-4,58069	51,05541	-0,08972	0,56937	0,12306	6,10	51,30
	0,23446	1,24000	1,25000	20,64628	0,49491	-4,72702	51,05541	-0,09259	0,48421	0,10465	6,20	50,47
	0,14188	1,26000	1,27000	20,32114	0,29948	-4,85672	51,05541	-0,09513	0,37667	0,08141	6,30	49,67
	0,04675	1,28000	1,28483	20,08662	0,09868	-4,89045	104,61797	-0,04675	0,21622	0,04673	6,40	48,89
0,009656	0,00000	1,28966	1,27966	20,16780	0,00001	-4,71059	-51,05541	0,09226	0,00208	0,00045	6,45	48,53
	-0,02	0,09227	1,26966	20,48801	0,19476	-4,58514	-51,05541	0,08981	0,30376	0,06565	6,35	49,29
		0,18208	1,24966	21,39666	0,38433	-4,44416	-51,05541	0,08705	0,42670	0,09222	6,25	50,08
		0,26912	1,22966	21,15994	0,56807	-4,28652	-51,05541	0,08396	0,51877	0,11212	6,15	50,90
		0,35308	1,20966	21,19966	0,74529	-4,11097	-51,05541	0,08052	0,59421	0,12842	6,05	51,74
		0,43360	1,18966	21,17966	0,91525	-3,91620	-51,05541	0,07670	0,65848	0,14231	5,95	52,61
		0,51030	1,16966	22,25474	1,07716	-3,70081	-51,05541	0,07249	0,71436	0,15439	5,85	53,51
		0,58279	1,14966	22,64530	1,23017	-3,46326	-51,05541	0,06783	0,76341	0,16499	5,75	54,44
		0,65062	1,12966	23,04980	1,37335	-3,20194	-51,05541	0,06271	0,80661	0,17433	5,65	55,40
		0,71334	1,10966	23,46902	1,50573	-2,91510	-51,05541	0,05710	0,84459	0,18254	5,55	56,40
		0,77044	1,08966	23,90377	1,62637	-2,60087	-51,05541	0,05094	0,87774	0,18970	5,45	57,43
		0,82138	1,06966	24,35493	1,73379	-2,25724	-51,05541	0,04421	0,90630	0,19587	5,35	58,51
		0,86559	1,04966	24,82345	1,82711	-1,88205	-51,05541	0,03686	0,93037	0,20108	5,25	59,62
		0,90245	1,02966	25,31035	1,90492	-1,47296	-51,05541	0,02885	0,94997	0,20531	5,15	60,78
		0,93130	1,00966	25,81673	1,96582	-1,02748	-51,05541	0,02012	0,96504	0,20857	5,05	61,99
0,017611		0,95143	0,98966	26,34379	2,00830	-0,54290	-51,05541	0,01063	0,97541	0,21081	4,95	63,24
		0,96206	0,96966	26,89281	2,03074	-0,01632	-51,05541	0,00032	0,98085	0,21199	4,85	64,54
		0,96238	0,94966	27,46521	2,03142	0,55540	-51,05541	-0,01088	0,98101	0,21202	4,75	65,90
		0,95150	0,92966	28,06250	2,00846	1,17566	-51,05541	-0,02303	0,97545	0,21082	4,65	67,32
		0,92847	0,90966	28,68635	1,95985	1,84811	-51,05541	-0,03620	0,96357	0,20825	4,55	68,80
		0,89228	0,88966	29,33857	1,88344	2,57674	-51,05541	-0,05047	0,94460	0,20415	4,45	70,35
		0,84181	0,86966	30,02113	1,77691	3,36584	-51,05541	-0,06593	0,91750	0,19829	4,35	71,96
		0,77598	0,84966	30,73622	1,63775	4,22008	-51,05541	-0,08266	0,88084	0,19037	4,25	73,66
		0,69323	0,82966	31,48619	1,46328	5,14453	-51,05541	-0,10076	0,83260	0,17995	4,15	75,43
		0,59246	0,80966	32,27369	1,25058	6,14472	-51,05541	-0,12035	0,76972	0,16635	4,05	77,30
		0,47211	0,78966	33,10158	0,99654	7,22666	-51,05541	-0,14155	0,68710	0,14850	3,95	79,25
		0,33056	0,76966	33,97307	0,69776	8,39693	-51,05541	-0,16447	0,57495	0,12426	3,85	81,31
		0,16610	0,74966	34,83543	0,35060	9,60645	-57,83811	-0,16609	0,40755	0,08808	3,75	83,48
0,0139819	0,00000	0,73205	0,74205	34,77936	0,00001	9,90096	51,05541	0,19393	0,00184	0,00040	3,66	85,49
	0,02	0,19393	0,75205	33,66657	0,40935	8,57883	51,05541	0,16803	0,44037	0,09518	3,76	83,22
		0,36196	0,77205	33,00046	0,76403	7,35804	51,05541	0,14412	0,60163	0,13003	3,86	81,06
		0,50608	0,79205	32,17756	1,06824	6,23093	51,05541	0,12204	0,71139	0,15375	3,96	79,02
		0,62812	0,81205	31,39469	1,32585	5,19045	51,05541	0,10166	0,79254	0,17129	4,06	77,07
		0,72978	0,83205	30,64901	1,54045	4,23018	51,05541	0,08285	0,85427	0,18463	4,16	75,22
		0,81264	0,85205	29,93794	1,71534	3,34421	51,05541	0,06560	0,90146	0,19483	4,26	73,45
		0,87814	0,87205	29,25911	1,85360	2,52712	51,05541	0,04950	0,93709	0,20253	4,36	71,77
		0,92764	0,89205	28,61038	1,95808	1,77391	51,05541	0,03474	0,96314	0,20816	4,46	70,16
		0,96238	0,91205	27,98979	2,03142	1,07998	51,05541	0,02115	0,98101	0,21202	4,56	68,62
		0,98354	0,93205	27,39566	2,07607	0,44110	51,05541	0,00864	0,99173	0,21434	4,66	67,15
		0,99217	0,95205	26,82603	2,09431	-0,14667	51,05541	-0,00287	0,99608	0,21528	4,76	65,74
		0,98930	0,97205	26,27970	2,08824	-0,68693	51,05541	-0,01345	0,99464	0,21497	4,86	64,38
		0,97595	0,99205	25,75518	2,05984	-1,18305	51,05541	-0,02317	0,98795	0,21350	4,96	63,09
		0,95268	1,01205	25,25119	2,01093	-1,63813	51,05541	-0,03209	0,97605	0,21095	5,06	61,84
0,0067902		0,92059	1,03205	24,76654	1,94321	-2,05605	51,05541	-0,04025	0,95947	0,20737	5,16	60,64
		0,88034	1,05205	24,30014	1,85824	-2,43648	51,05541	-0,04772	0,93826	0,20278	5,26	59,49
		0,83262	1,07205	23,85099	1,75751	-2,78490	51,05541	-0,05455	0,91248	0,19721	5,36	58,38
		0,77807	1,09205	23,41814	1,64237	-3,10261	51,05541	-0,06077	0,88208	0,19064	5,46	57,31
		0,71730	1,11205	23,00072	1,51410	-3,39176	51,05541	-0,06643	0,84694	0,18304	5,56	56,28
		0,65087	1,13205	22,59793	1,37387	-3,65433	51,05541	-0,07158	0,80676	0,17436	5,66	55,28
		0,57929	1,15205	22,20899	1,22278	-3,89218	51,05541	-0,07623	0,76111	0,16450	5,76	54,32
		0,50306	1,17205	21,83322	1,06187	-4,10703	51,05541	-0,08044	0,70927	0,15329	5,86	53,40
		0,42261	1,19205	21,46995	0,89207	-4,30050	51,05541	-0,08423	0,65009	0,14050	5,96	52,50
		0,33638	1,21205	21,11857	0,71427	-4,47408	51,05541	-0,08763	0,58171	0,12572	6,06	51,63
		0,25075	1,23205	20,77851	0,52929	-4,62916	51,05541	-0,09067	0,50075	0,10822	6,16	50,80
		0,16008	1,25205	20,44923	0,33790	-4,76706	51,05541	-0,09337	0,40010	0,08647	6,26	49,99
		0,06671	1,27205	20,17758	0,14081	-4,84162	72,57645	-0,06671	0,25828	0,05582	6,36	49,20
0,0067902	0,00000	1,26205	1,24205	20,77851	0,00000	4,09887	-51,05541	0,08030	0,00030	0,00006	6,26	49,99
	-0,02	0,08030	1,23205	21,11857	0,16950	-3,92932	-51,05541	0,07696	0,28338	0,06124	6,16	50,80
		0,15726	1,21205	21,46995	0,33196	-3,74039	-51,05541	0,07326	0,39657	0,08571	6,06	51,63
		0,23053	1,19205	21,83322	0,48660	-3,53177	-51,05541	0,06918	0,48013	0,10377	5,96	52,50
		0,29970	1,17205	22,20899	0,63262	-3,30201	-51,05541	0,06468	0,54745	0		

La presión " $h_{m\acute{a}x}$ " verifica la sobrecarga máxima de la instalación, fijada en  $h_{m\acute{a}x} = 75$  m.c.a., y la presión mínima " $h_{m\acute{i}n}$ " al ser superior que "0,00 m.c.a.", evita el aplastamiento de la tubería por vacío. Por lo tanto el dispositivo antirietete, satisface las necesidades de servicio requeridas.

Para el volumen del tanque amortiguador, se adopta uno igual al doble del aire necesario. La cañería que vincula al tanque amortiguador y a la tubería de impulsión es de menor diámetro que ésta última y el diámetro del orificio de ingreso colocado en el pie del mismo, equivale a la mitad del diámetro de la cañería de impulsión.

En este caso no se ha adoptado un orificio con pérdidas de energías diferenciadas en el ingreso y egreso, como por ejemplo un orificio en forma de trompeta, por lo que la pérdida de energía de ingreso debe ser tal que permita amortiguar sin excesiva oposición a la onda de presión positiva y además garantizar que la presión mínima no produzca problemas dentro del tanque con escape de aire. Cuando las depresiones son más importantes hay que considerar esto último.

Las dimensiones del tanque amortiguador serán:

$V_0$ = volumen inicial del aire en el tanque adoptado	=	5.00 m <sup>3</sup>
$Q_{bt20}$ = caudal de bombeo total vigésimo año	=	0.216 m <sup>3</sup> /s
$D$ = diámetro de la conducción	=	0.500 m
$r$ = relación $V_0/V_t$	=	2.00
$V_t$ = volumen del tanque	=	10.00 m <sup>3</sup>
$D_t$ = diámetro tanque	=	2.20 m
$A_t$ = área del tanque circular	=	3.80 m <sup>2</sup>
$H_t$ = altura del tanque	=	2.63 m

Para mantener la cámara de aire, se colocó un compresor con su tanque de almacenamiento que responde a las siguientes características:

$Q_a$ = Caudal de aire	=	600 l/min
$N_c$ = Potencia del compresor	=	5 HP
$T_a$ = Tanque de almacenamiento	=	300 L
$T_{II}$ = tiempo de llenado de aire	=	8.33 Min

## 2.9. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

En los Planos del Ejemplo N° 1, se han considerado todas las recomendaciones efectuadas en la Fundamentación (Capítulo VI) y Norma (Capítulo 9), Estaciones de bombeo de agua cruda y tratada.

Se enumeran las siguientes:

- El diámetro de la cañería de aspiración es de igual diámetro que la de impulsión de cada bomba cumpliendo de ésta manera con lo especificado en la Norma, numeral 1.6.5.
- La altura líquida sobre la boca de la campana de aspiración es mayor que 0,50 m y el nivel líquido se encuentra por encima del punto más alto de la bomba, según lo establecido en el numeral 1.6.2 de la Norma.
- La separación entre la cañería de aspiración y las paredes laterales es de 1,20 m  $> 1,5 D = 0,60$  , siendo “D = 0,400 m” el diámetro de la cañería de aspiración (valor recomendable, según el numeral 1.6.5 de la Norma).
- La separación entre las cañerías de aspiración es de 1,80 m  $> 2 D = 0,800$  m (valor recomendable, según el numeral 1.6.5 de la Norma).
- La distancia entre la campana de ingreso de la cañería de aspiración y el piso de la cisterna es de 0,15 m. Este valor es igual a  $D_c / 4$ , siendo  $D_c = 0,600$  m el diámetro de la campana de aspiración (valor recomendable, según el numeral 1.6.5 de la Norma).
- El radio de curvatura exterior de la campana de aspiración se ha adoptado para minimizar las pérdidas de energía de ingreso a un valor de 0,30 m  $> 0,25 D_c = 0,15$  m. (ver figura 33 de la fundamentación de la Norma).
- El trazado de la cañería de impulsión está diseñado para evitar pérdidas de energía innecesarias uniendo las cañerías de cada electrobomba al múltiple de impulsión mediante transiciones suaves a 45°.
- La válvula de retención ha sido ubicada aguas arriba de la esclusa para permitir su aislamiento hidráulico por reparaciones sin necesidad de evacuar el líquido contenido en la cañería antes de desarmar la válvula.
- Se ha colocado a la salida del múltiple de impulsión una válvula de aire de doble efecto (triple función), para proteger a la cañería permitiendo la rápida evacuación del aire en caso de llenado si esta se encontrara vacía. Se ha adoptado una válvula de aire de 150 mm de tamaño nominal de acuerdo a las recomendaciones de un determinado fabricante. (valor adoptado del numeral 2.16.3 de la Fundamentación de la Norma).
- La caja de aire para amortiguar el golpe de ariete fue colocada fuera del recinto de la sala de máquinas. Al compresor que provee de aire a la misma, se lo ubicó en un extremo interior de la sala cercana al tanque amortiguador para protegerlo de condiciones climáticas adversas. La chapa orificio que permite acelerar el amortiguamiento de la onda de presión a través de la pérdida de energía localizada antes de ingresar a la caja de aire, ha sido ubicada en una brida al pie de la misma.
- La sala de máquinas dispone de un espacio suficiente para la libre circulación del personal y para efectuar tareas de montaje y desmontaje de equipos para reparación o mantenimiento. Por el tamaño de las bombas y cañerías, en este caso, se ha previsto colocar un puente grúa que permite izar cualquier pieza componente del sistema y trasladarla a cualquier punto de la sala de bombeo. Además existe espacio suficiente para albergar todas las instalaciones complementarias como: tableros eléctricos, compresores de aire, etc.
- Se ha diseñado un portón que permite el ingreso de vehículos de carga para transportar las bombas y accesorios, el cual debe ser orientado en forma conveniente de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona.

### 3. EJEMPLO 2

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

En este segundo ejemplo se dimensionarán las estructuras para las mismas características generales del ejemplo anterior, pero la aspiración se realizará desde un canal que deriva agua cruda de otro principal. Además, se adoptará por un sistema de electrobombas con motores superiores y bombas sumergidas, montadas sobre el pozo de aspiración, ubicado al final del canal de captación.

Será necesario por lo tanto, considerar una buena forma hidráulica en el pozo de aspiración para no producir vórtices e interferencias en las bombas, según los lineamientos generales presentados en la Fundamentación de la presente Norma, Capítulo VI.

#### 3.2. DIMENSIONAMIENTO

Para el dimensionamiento de las unidades componentes de la estación de bombeo se dan por válidos los lineamientos generales establecidos en el ejemplo N° 1. Se consideran los mismos caudales de bombeo para todas las bombas y para cada una en forma individual. Lo mismo en cuanto al cálculo del diámetro más económico y al golpe de ariete.

En este caso no existirá la cañería de aspiración porque las bombas succionarán directamente del pozo de aspiración.

El nivel líquido mínimo dentro del pozo de succión se producirá cuando el caudal en el canal principal de captación sea mínimo y por consiguiente el nivel líquido dentro del mismo también lo sea.

Para el dimensionamiento del canal de derivación es necesario que la velocidad de circulación dentro del mismo sea inferior a 0,30 m/s para no producir vórtices en las bombas ubicadas dentro del pozo de aspiración. En el presente ejemplo se adoptó una velocidad de aproximación de 0,25 m/s.

Para dimensionar las instalaciones correctamente desde el punto de vista hidráulico, es necesario conocer el tirante líquido mínimo en la cámara de aspiración. Esto sucederá cuando funcionen todas las bombas de segunda etapa, el canal principal tenga el menor nivel líquido y las rejas estén más sucias.

Para ubicar el nivel general de piso del edificio en donde estarán ubicados los motores de las bombas, es necesario conocer el nivel de agua máximo en el canal principal, siendo la situación más desfavorable cuando las bombas estén sin funcionar y el nivel líquido dentro de la cámara de aspiración iguale al máximo del canal.

Para mejorar el flujo dentro de la cámara de aspiración se ubicarán pantallas entre bombas que evitarán la formación de vórtices e interferencias entre las electrobombas,

siguiendo los lineamientos generales presentados en el Capítulo VI de la Fundamentación “Estaciones de Bombeo de Agua Cruda y Tratada”.

Se enumeran a continuación las dimensiones mínimas y las pérdidas de energía en el canal de aproximación. No se considera la pendiente hidráulica dentro del canal de captación porque al ser muy corto el trayecto y muy baja la velocidad dentro de mismo, se produce una diferencia despreciable entre el nivel líquido a la entrada del canal y el pozo de aspiración.

$Q_{bt20}$ = caudal de bombeo total vigésimo año	=	216,13	L/s
$Q_{bt20}$ = caudal de bombeo total vigésimo año	=	778,05	m <sup>3</sup> /h
$v$ = velocidad adoptada en el canal de captación	=	0,25	m/s
$A$ = área del canal de captación necesaria ag.ab. rejas	=	0,86	m <sup>2</sup>
$B$ = ancho del canal de captación ag.ab. rejas	=	1,50	m
$h_{ag.ab.}$ = tirante líquido mínimo canal de captación necesario ag.ab.rejas	=	0,58	m
$\Delta h_{máxrejas}$ = pérdida de energía máxima adoptada en rejas	=	0,20	m
$h_{ag.arr.}$ = tirante líquido mínimo canal de captación ag.arr.rejas	=	0,78	m
$b_t$ = ancho compuerta en la captación	=	0,60	m
$v_t$ = velocidad de pasaje compuerta de toma	=	0,46	m/s
$K_1$ = coeficiente de pérdida de energía en el ingreso	=	1,00	
$K_2$ = coeficiente de pérdida de energía contracción lateral	=	0,50	
$k_3$ = coeficiente de pérdida de energía cambio de dirección	=	1,40	
$\Sigma k$ = sumatoria de los coeficientes de pérdida de energía	=	2,90	
$\Delta h_{comp}$ = pérdida de energía en la compuerta de ingreso canal de captación	=	0,03	m
$h_{míncanalprinc.}$ = altura mínima canal principal	=	1,00	m
$h_{máxcanalprinc.}$ = altura máxima canal principal	=	1,50	m

En los planos adjuntos se presenta la forma de los distintos componentes de la estación de bombeo para permitir un correcto funcionamiento hidráulico de las instalaciones.

### 3.3. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Además de todas las consideraciones generales de diseño enumeradas en el Ejemplo N° 1, se presentan las siguientes particulares para este caso:

- La separación entre la aspiración de las bombas y las paredes laterales es de 0,95 m  $> 1,5 D = 0,60$  m, siendo “ $D = 0,400$  m” el diámetro de la aspiración (valor recomendable, según el numeral 1.6.5 de la Norma).
- La altura líquida sobre la boca de la campana de aspiración es mayor que 0,50 m y el nivel líquido se encuentra por encima del punto más alto de la bomba, según lo establecido en el numeral 1.6.5 de la Norma.
- La separación entre las bocas de aspiración es de 1,80 m  $> 2 D = 0,800$  m (valor recomendable, ver numeral 2.6, Figura 48 de la Fundamentación de la Norma y numeral 1.6.5 de la Norma), aunque en este ejemplo para mejorar aun mas las condiciones de flujo, se hayan interpuesto pantallas entre bocas de aspiración.
- La distancia entre la campana de ingreso de la cañería de aspiración y el piso de la cisterna es de 0,12 m. Este valor es aproximadamente igual a  $D_c / 4$ , siendo  $D_c = 0,500$  m el diámetro de la campana de aspiración (valor recomendable según la figura 33, Capítulo VI de la Fundamentación de la Norma y numeral 1.6.5 de la Norma).



## 4. EJEMPLO 3

### 4.1. INTRODUCCIÓN

En general es conveniente no utilizar cañerías de aspiración en estaciones de bombeo, para evitar el uso de dispositivos de cebado o bombas autocebantes. Hay casos donde es inevitable y necesariamente deben construirse este tipo de instalaciones.

En este ejemplo se colocarán bombas horizontales autocebantes que aspirarán de una cámara contigua, la cual puede ser de cualquier tipo (cisternas de almacenamiento, lagos naturales o artificiales, azudes sobre ríos etc.). En este caso, se planteará una solución general sin especificar desde donde se aspira, dando lineamientos generales de diseño válidos para cualquier tipo de instalación.

### 4.2. DIMENSIONAMIENTO

En este ejemplo de cálculo se dan por válidos los lineamientos generales establecidos en el ejemplo N° 1. Se consideran los mismos caudales de diseño, la misma cantidad de bombas colocadas y la misma cañería de impulsión.

Se dimensionará la cañería de aspiración para que sirva de ejemplo de cálculo, determinando la curva del  $ANPA_d$  y el caudal máximo a succionar para que las bombas no caviten. Esto se obtiene a través de la intersección de la misma, con una curva  $ANPA_r$  brindada por un fabricante de bombas.

Se ha supuesto que cada bomba aspira individualmente a través de una campana de succión colocada en el extremo de la cañería con una forma tal, que permita reducir al máximo las pérdidas de energía en el ingreso.

Para la cañería de aspiración cuando se desconocen las curvas del  $ANPA_r$  brindadas por el fabricante de las bombas, es conveniente limitar como máximo valor de aspiración a una diferencia topográfica entre el nivel del eje de la bomba y el nivel líquido en la cámara de aspiración, de 4,00 m. En este ejemplo se adoptó este valor y se ha determinado los términos necesarios para calcular el  $ANPA_d$  siguiendo la metodología del numeral 2.12 de la Fundamentación de la presente Norma, utilizando el caudal de bombeo de una sola bomba.

Como la cañería de impulsión es de 400 mm de diámetro a la salida de cada bomba, se debe adoptar una de igual o mayor diámetro que ésta. Como las bombas escogidas en este ejemplo son autocebantes, el fabricante de las mismas, recomienda que si no existe problema de pérdidas de energía que hagan que la bomba cavite, es conveniente utilizar el menor diámetro posible para evacuar más fácilmente el aire contenido en la cañería de aspiración. Por lo tanto en este caso particular, se debería colocar una cañería de aspiración de 400 mm de diámetro, y si no resultare posible su adopción porque las bombas cavitaran, sería necesario incrementarla a un diámetro mayor. Si efectuado este procedimiento siguiera el problema de cavitación, la única solución sería la de disminuir el desnivel entre el eje de la bomba y el nivel líquido de aspiración.

En este caso, se adopta una cañería de aspiración de un diámetro mayor a la de impulsión de cada bomba para poder colocar una reducción excéntrica que sirva a los fines de este ejemplo.

Como es una cañería corta, en la determinación de las pérdidas de energía se han considerado las producidas por singularidades junto con las friccionales. La presión de vapor se determinó para una temperatura de diseño de 40° C. Este último fue adoptado por seguridad aunque nunca se alcance esa temperatura.

El cálculo se realizó de acuerdo a lo establecido en el numeral 2.12 de la Fundamentación de la presente Norma y es el siguiente:

### Cañería de aspiración

$Q_{b2010}$ = caudal de bombeo total segunda etapa	=	140.48 L/s
$H_g$ = diferencia de nivel entre eje de bomba y nivel líquido	=	4.00 m
$D_a$ = diámetro de la cañería de aspiración de cada bomba	=	0.500 m
$C$ = coeficiente de pérdida de energía	=	130.00
$L$ = longitud de la cañería de aspiración	=	8.00 m
$H_1$ = pérdida de energía por fricción	=	0.008 m
$v$ = velocidad de cañería de aspiración	=	0.72 m/s
$v^2/(2 \cdot g)$ = término de velocidad	=	0.026 m
$K_1$ = coeficiente pérdida de energía en una curva a 90°	=	0.40
$K_2$ = coeficiente de pérdida de energía ingreso bomba	=	0.50
$\Sigma K$ = sumatoria coeficientes singularidades en la cañería	=	0.90
$H_{21} = \Sigma K \cdot v^2/(2 \cdot g)$ = pérdida de energía por singularidades cañería	=	0.023 m
$D_c$ = diámetro de la campana de aspiración	=	0.700 m
$v_c$ = velocidad de ingreso en la campana	=	0.37 m/s
$v_c^2/(2 \cdot g)$	=	0.007 m
$K'_1$ = coeficiente de pérdidas por ingreso a campana	=	0.05
$K'_2$ = coeficiente por cambio de sección en la campana	=	0.50
$H_{22} = K'_1 \cdot v_c^2 / (2 \cdot g)$ = pérdida de energía ingreso campana =		0.0003 m
$H_{23} = K'_2 \cdot (v^2 - v_c^2) / (2 \cdot g)$ = pérdida de energía por cambio de sección	=	0.010 m
$H_2$ = pérdida de energía por singularidades total	=	0.033 m
$H_t$ = pérdida de energía total	=	0.042 m

T = temperatura de diseño	=	40.0 °C
$P_v/g$ = presión de vapor	=	0.75 m
$P_a/g$ = presión atmosférica	=	10.33 m
$ANPA_d = P_a/g - H_g - P_v/g - H_t - v^2/(2 \cdot g)$	=	
= altura neta positiva de aspiración disponible	=	5.51 m

En este caso se tiene que la altura disponible es mayor a la de aspiración, por lo que la bomba no cavitará.

En caso de disponer de las curvas brindadas por el fabricante, se determina la curva del  $ANPA_d$  para distintos caudales de diseño y en donde esta corte al del  $ANPA_r$ , se establece el máximo caudal posible a succionar para que la bomba no cavite.

En la **Tabla 5** se indican las principales características de la instalación y se determinan los  $ANPA_d$  para distintos caudales arbitrarios.

En la **Figura 3** se determina el caudal máximo posible a bombear considerando una supuesta curva del  $ANPA_r$  suministrada por algún fabricante.

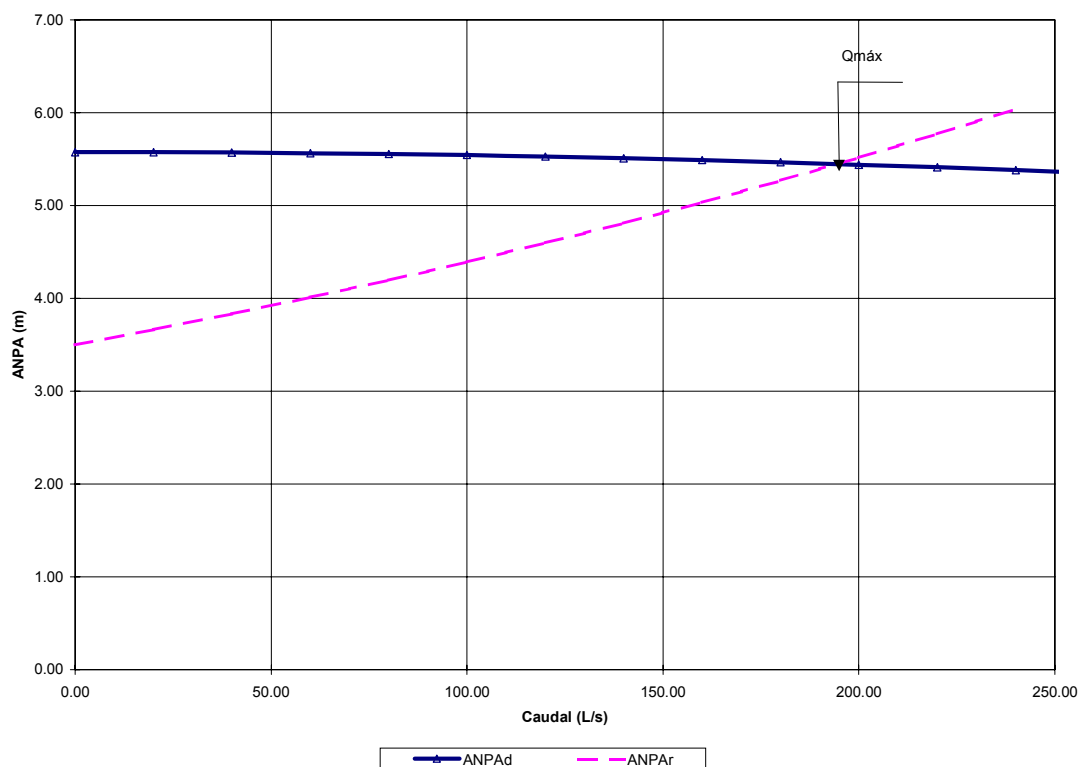
En este ejemplo se deduce que no existirán problemas de cavitación por ser el caudal máximo admisible mayor al de aspiración de cada electrobomba.

**CANERÍA DE ASPIRACION**

D = Diámetro Cañería de aspiración =	0.500 m
D <sub>c</sub> = Diámetro campana de aspiración =	0.700 m
L = Longitud cañería de aspiración =	8.00 m
c = coeficiente de Williams-Hazen =	130.00
H <sub>g</sub> = altura geométrica =	4.00 m
P <sub>a</sub> /γ = Presión atmósfera =	10.33 m
T = temperatura de diseño =	40 °C
P <sub>v</sub> /γ = Presión de vapor =	0.75 m
ΣK = K <sub>1</sub> + K <sub>2</sub> =sumatoria coeficientes singularidades en la cañería =	0.90
K' <sub>1</sub> = coeficiente de pérdidas por ingreso a campana =	0.05
K' <sub>2</sub> = coeficiente por cambio de sección en la campana =	0.50

Caudal (L/s)	Pérdida Energía Fricción Cañería H <sub>1</sub> (m)	Velocidad cañería aspiración v (m/s)	Término de Velocidad Cañería v <sup>2</sup> /(2*g) (m)	Pérdida Energía Singulares Cañería H <sub>21</sub> (m)	Velocidad Ingreso Campana v <sub>c</sub> (m/s)	Término de Velocidad Campana v <sub>c</sub> <sup>2</sup> /(2*g) (m)	Pérdida Ingreso Campana H <sub>22</sub> (m)	Diferencia Términos de Velocidad (v <sup>2</sup> - v <sub>c</sub> <sup>2</sup> )/(2*g) (m)	Pérdida Energía Cambio Sección H <sub>23</sub> (m)	Pérdida Energía Total (m)	ANPA <sub>d</sub> (m)
0.00	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.577
20.00	0.000	0.10	0.001	0.000	0.05	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	5.576
40.00	0.001	0.20	0.002	0.002	0.10	0.001	0.000	0.002	0.001	0.004	5.571
60.00	0.002	0.31	0.005	0.004	0.16	0.001	0.000	0.004	0.002	0.008	5.564
80.00	0.003	0.41	0.008	0.008	0.21	0.002	0.000	0.006	0.003	0.014	5.555
100.00	0.004	0.51	0.013	0.012	0.26	0.003	0.000	0.010	0.005	0.021	5.542
120.00	0.006	0.61	0.019	0.017	0.31	0.005	0.000	0.014	0.007	0.030	5.527
140.00	0.008	0.71	0.026	0.023	0.36	0.007	0.000	0.019	0.010	0.041	5.510
160.00	0.010	0.81	0.034	0.030	0.42	0.009	0.000	0.025	0.013	0.054	5.489
180.00	0.013	0.92	0.043	0.039	0.47	0.011	0.001	0.032	0.016	0.068	5.466
200.00	0.016	1.02	0.053	0.048	0.52	0.014	0.001	0.039	0.020	0.083	5.441
220.00	0.019	1.12	0.064	0.058	0.57	0.017	0.001	0.047	0.024	0.101	5.412
240.00	0.022	1.22	0.076	0.069	0.62	0.020	0.001	0.056	0.028	0.120	5.381
260.00	0.025	1.32	0.089	0.080	0.68	0.023	0.001	0.066	0.033	0.140	5.348

**Tabla 5.** Determinación de la curva del ANPA<sub>d</sub>



**Figura 4.** Curva del ANPAd y ANPAr para la cañería de aspiración

### 4.3. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Además de todas las consideraciones generales de diseño enumeradas en el Ejemplo N° 1, se presentan las siguientes particulares para este caso:

- El diámetro de la cañería de aspiración es de un rango mayor que la de impulsión de cada bomba cumpliendo de ésta manera con lo especificado en el numeral 1.6.5 de la Norma.
- La altura líquida sobre la boca de succión es superior a la condición hidráulica  $h \geq \frac{v^2}{2 \cdot g} + 0,20 \text{ (m)} = 0,22 \text{ m}$  y a la condición de ingreso de aire a la cañería,  $h \geq 2,5 D + 0,10 \text{ (m)} = 1,35 \text{ m}$ , siendo “D” el diámetro de la cañería de aspiración (según lo establecido en el numeral 1.6.3 de la Norma)
- La separación entre las cañerías de aspiración es de  $1,80 \text{ m} > 2 D = 1,00 \text{ m}$ , siendo “D = 0,500 m” el diámetro de la cañería de aspiración (valor recomendable, ver numeral 2.6, Figura 48 de la Fundamentación de la Norma y numeral 1.6.5 de la Norma).
- La distancia entre la campana de ingreso de la cañería de aspiración y el piso de la cisterna es de 0,18 m. Este valor es aproximadamente igual a  $D_c / 4$ , siendo

$D_c = 0,700$  m el diámetro de la campana de aspiración (valor recomendable según la Figura 33 de la Fundamentación de la Norma y numeral 1.6.5 de la Norma).

- El radio de curvatura exterior de la campana de aspiración se ha adoptado para minimizar las pérdidas de energía de ingreso a un valor de  $0,30 \text{ m} > 0,25 D_c = 0,18 \text{ m}$ . (ver Figura 33 de la Fundamentación de la Norma y numeral 1.6.5 de la Norma).
- El trazado de la cañería de impulsión está diseñado para evitar pérdidas de energía innecesarias uniendo las cañerías de cada electrobomba al múltiple de impulsión mediante transiciones suaves a  $45^\circ$ . Se ha previsto una losa de apoyo de la misma que sea transitable para acceder a las válvulas esclusas, de retención y de aire.
- La cañería de aspiración fue ubicada con su tramo recto final en forma horizontal y su reducción excéntrica colocada directamente sobre la brida de aspiración de la bomba.
- Se ha adoptado una cañería de aspiración con carga negativa, lo cual obliga a utilizar algún dispositivo de cebado. En este caso se ha utilizado una bomba autocebante descrita en el numeral 2.14, Capítulo VI de la Fundamentación de la Norma, aunque podrían haberse utilizado bombas convencionales con dispositivos de cebado.

## 5. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

### 5.1. MEMORIA DESCRIPTIVA Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### 5.1.1. General

La instalación eléctrica de la Estación de Bombeo de Agua prevé la alimentación y el control local de los equipos intervinientes en el proceso de impulsión de agua.

En forma resumida, los equipos consumidores de energía previstos son:

- Bombas de impulsión.
- Compresor de aire.
- Máquinas portátiles a tomas de corriente.
- Puente guía.
- Alumbrado interior de la sala de bombeo.
- Alumbrado perimetral exterior.

En tablas incluidas en los correspondientes esquemas unifilares, se establece la potencia instalada y la potencia simultánea de funcionamiento de los distintos equipos consumidores de energía de la estación, lo que determina el dimensionamiento de los equipos eléctricos que han de alimentarlos y sus cables de alimentación en baja tensión.

#### 5.1.2. Punto de Alimentación

Se plantea la alimentación eléctrica desde un solo punto en baja tensión, correspondiente a la compañía eléctrica de la localidad respectiva.

No se prevé en este caso la instalación de un grupo de alimentación de energía ya que se supone que la compañía eléctrica dispone de fuentes de energía alternativas.

#### 5.1.3. Tablero de Baja Tensión

##### **Características Generales**

Se ha previsto un tablero general (TGRAL) de bombas y de distribución en 3 x 380 / 220V – 50 HZ, al que se acometerá, mediante interruptor termomagnético, desde el punto de alimentación y se realizarán, también mediante interruptor termomagnético, las salidas a los diferentes tableros secundarios.

En los tableros secundarios se ha previsto instalar un interruptor general de corte en carga, sin relés de protección, ya que esta función está encomendada al correspondiente interruptor automático de salida del Tablero General.

Las salidas a motores de las bombas de impulsión incluirán la asociación de interruptor magnético (o guardamotor), contactor y arrancador electrónico suave con calibres adecuados a la corriente nominal del motor.

Dada la baja potencia del motor del compresor se prevé el arranque directo del mismo.

Las bombas de impulsión contarán con un controlador lógico programable (PLC) que establecerá, en función de la detección del nivel en el pozo de aspiración y la disponibilidad de bombas, la lógica operación y de control. La operación de las bombas se hará por rotación entre ellas.

El compresor de aire se habilitará automáticamente según el nivel de agua en el pulmón, contando con la temporización de la orden de arranque a los efectos de insensibilizarla de las oscilaciones del nivel inicial.

Los tableros deberán cumplir constructivamente con la Especificación Técnica de Tableros, Equipos de Maniobra, Medición y Protección (Punto 6.3 del Capítulo XVI “Instalaciones Eléctricas y Automatismo” de la Fundamentación de las Normas).

Se han previsto los suficientes tableros secundarios:

- COMP para el compresor de aire del pulmón.
- IL / FM para servicios generales, tomacorrientes y alumbrado.

### **Características Particulares**

En la **Tabla 6** se definen las características particulares previstas para los tableros

Características Particulares	TGRAL	COMP	IL / TM
Función Principal	Bombas y Distribución General	Control Proceso	Distribución
Tensión / Frecuencia Nominal	500 V – 50HZ		
Tensión de Servicio	3 x 380 / 220 V		
Nivel de Cortocircuito (Simétrico Trifásico)	15 KA		5 KA
Instalación	Interior		
Cerramiento (S / IRAM 2244)	IP41		
Tipo de Ejecución	Fija		
Montaje	Sobre Base		Sobre Pared
Acceso Cables	Inferior		
Requerimiento de Control	Manual Local Y Automático Por PLC Y Sensores De Nivel En Pozo De Aspiración	Automático Por Sensores De Nivel Agua En Pulmón	Manual Desde El Frente

**Tabla 6.** Características particulares de los tableros



La composición prevista para los tableros se encuentra definida en los correspondientes planos de los Esquemas Unifilares. El equipamiento se encuentra agrupado por sectores típicos, bajo cuyo concepto se deberá realizar la distribución interna de tablero y su frente.

Las lógicas de control de las bandas de impulsión y del compresor de aire de la caja de aire del sistema antiariete, se encuentran definidas en los esquemas eléctricos correspondientes.

#### **5.1.4. Motores**

Las características mecánicas y eléctricas de los motores eléctricos destinados al accionamiento de los equipos de la Estación deberán cumplir con la Especificación Técnica de Motores (Puntos 6.5 del Capítulo “Instalaciones Eléctricas y Automatismo”).

#### **5.1.5. Compensación de Energía Reactiva**

Se ha previsto la compensación de la energía reactiva de los motores de las bombas.

Se adoptó el tipo de compensación individual y fija, siendo el banco compensador protegido por su propio interruptor.

El banco trifásico de capacitores compensadores se ha dimensionado teniendo en cuenta la potencia nominal del motor, adoptándose factores de rendimiento y  $\cos \phi$  típicos.

El banco de capacitores y su interruptor de protección se ha previsto instalar al pie del motor, dentro de un gabinete para su apropiada protección, debiendo tener una adecuada ventilación.

#### **5.1.6. Cables de Baja Tensión**

##### ***Características Generales***

Los cables destinados al suministro de potencia deberán ser en conductores de cobre, aislados en PVC, aptos para tensiones de hasta 1,1 kV.

Podrán cumplir con la Especificación Técnica de Cables (Punto 6.9 de la Fundamentación de Instalaciones Eléctricas).

Los cables deberán tener vaina exterior de PVC.

La capa aislante, el relleno y la envoltura exterior deberán ser del tipo antillama.

Los cables para las instalaciones fijas, correspondientes a las obras civiles deberán ser del tipo de vaina simple.

### ***Cables de alimentación a tableros***

Los cables de alimentación principal a los tableros se han dimensionado teniendo en cuenta la carga admisible.

Los valores obtenidos se afectaron por los factores de corrección por temperatura, resistividad del terreno, agrupamiento y tipo de tendido.

Se realizó la verificación de los cables a la caída de tensión y al cortocircuito.

La máxima caída de tensión impuesta fue del 5%, dividida en 3% entre el punto de suministro y el tablero general TGRAL y en 2% entre el TGRAL y cualquier tablero secundario o bomba.

### ***Cables de alimentación a motores***

Los cables de alimentación a los motores que accionan las bombas contarán con un conductor de tierra independiente para cada motor.

### ***Cables de alumbrado exterior***

Por tratarse de la aplicación de lámparas de descarga, las redes estarán previstas para transportar la carga debida a los propios receptores, a sus elementos asociados y a sus corrientes armónicas, la carga prevista en voltamperes será de 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas de descarga que alimenta.

La sección mínima prevista en instalación subterránea, es de 4 mm<sup>2</sup>.

## **5.1.7. Canalizaciones Eléctricas**

### ***Instalaciones anteriores***

#### ***a). Alimentadores principales de Tableros y bombas***

Se ha previsto emplear canalizaciones individuales empotradas en el contrapiso de la sala de bombas utilizando caños, cajas de paso, curvas y otros accesorios de PVC reforzado.

El dimensionamiento deberá realizarse considerando un bajo grado de relleno atento a las importantes dimensiones de los cables principales.

Cada caño deberá estar recorrido por el correspondiente cable de cobre desnudo de puesta a tierra, de sección adecuada al nivel de corto circuito.

#### ***b). Instalaciones de iluminación y tomas en el interior del edificio***

Se ha previsto emplear canalizaciones empotradas en las obras civiles utilizando caños, cajas de pasos, curvas y otros accesorios de acero del tipo semipesado.

El dimensionamiento se deberá realizar considerando un grado de relleno del caño destinado a alejar los cables, de manera tal que sea factible su tendido, mantenimiento y remoción. El porcentaje de sección útil de los caños será la siguiente:

N° de cables por caño	Sección útil del caño
1	50 %
2	30 %
3 o más	40 %

Cada caño estará recorrido por un cable de en desnudo de p.a.t., de sección 2,5 mm<sup>2</sup>.

***c). Acometida a motores y otros equipos***

La acometida a motores y otros equipos interiores o exteriores, se ha previsto realizar con canalizaciones a la vista.

De acuerdo a la aplicación estas canalizaciones serán rígidas o flexibles.

***Rígidas***

Se utilizarán caños de acero galvanizado.

En caso de instalaciones a la vista dentro de cielorrasos y para canalizaciones de iluminación, los caños podrán ser de hierro tipo pesado.

Se colocarán cajas de paso en la cantidad necesarias, evitando el uso de cajas individuales.

Entre cajas de paso se permitirán a lo sumo dos curvas de 90°.

Se consideran dos curvas de 45° equivalentes a una curva de 90°.

Los caños se fijarán a la obra civil mediante soportes de perfiles y grampas.

***Flexibles***

Los flexibles a instalar serán de primera calidad, debiendo tener malla metálica.

Se considerará la longitud de las mismas tal que permitan la ejecución del radio mínimo de curvatura requerido para la instalación de los cables.

El curvado del flexible no deberá producir secciones contraídas en la canalización.

***Instalaciones exteriores***

***a) Cable alimentador principal al TGRAL***

La canalización del cable de alimentación principal al TGRAL desde el puesto de rebaje de la compañía de electricidad se ha previsto realizar empleando canalizaciones enterradas, utilizando un caño enterrado.

El caño deberá ser de PVC del tipo reforzado, de sección adecuada y cámaras de paso de mampostería con tapa metálica de rigidez adecuada.

El caño deberá estar sólidamente soportado y posicionado, lo que permitirá el colado del hormigón.

El caño deberá tener una pendiente del 1% entre cámaras, o en caso de no poderse efectuar esta pendiente, se deberá materializar desde el punto medio del caño hacia ambas cámaras.

El cañero deberá estar recorrido por un cable de Cu desnudo de puesta a tierra, de sección adecuada al nivel de cortocircuito.

*b). Iluminación exterior perimetral*

Se ha previsto emplear canalizaciones empotradas en las obras civiles análogas a las descritas para las instalaciones de iluminación interior.

#### **5.1.8. Puesta a Tierra de las Instalaciones**

El tablero general TGRAL deberá contar con una barra de puesta a tierra, de acuerdo a la Especificación Técnica de Tableros. Equipos de maniobra, Medición y Protección (Punto 6.3 de la Fundamentación de las Instalaciones Eléctricas) .

Junto a los cables de potencia de BT se deberán tender cables de cobre desnudo para la puesta a tierra de las carcasas de los motores y tableros seccionables.

La barra de puesta a tierra colectora principal ubicada en el tablero general se concentrará a una toma de tierra exterior, por medio de un cable desnudo de cobre de 35 mm<sup>2</sup> (mínimo).

La toma de tierra exterior se deberá realizar con jabalinas tipo cobre-acero, simplemente hincadas, instalándose la cantidad de jabalinas necesarias para asegurar una resistencia a tierra no superior a 5 ohms.

La conexión de los chicotes a las jabalinas se deberá realizar mediante morseto adecuado, dentro de una cámara de inspección y medición (con tapa) de dimensión adecuada.

#### **5.1.9. Servicio e Iluminación**

##### ***Iluminación de la sala de bombas***

La iluminación de la sala de bombas se deberá realizar con seis (6) artefactos para iluminación industrial suspendidos, con lámpara de descarga de mercurio de 250 W y equipo auxiliar.

En la zona bajo el entre piso metálico se ha previsto reforzar la iluminación con cuatro (4) artefactos tipo tortuga, con lámpara incandescente de 100 W.

***a). Artefacto de iluminación industrial***

Deberá constar de una pantalla reflectora de aluminio anodizado que permita lograr una perfecta distribución luminosa.

Deberá contar con cubierta tronco-cónica integrada a la luminería para alojar el equipo auxiliar.

Deberá ser suspendido a través de un gancho de acero de seguridad. Incluirá lámpara de descarga de mercurio de 250 W y equipo auxiliar.

***b). Artefacto tipo tortuga***

Deberá tener chasis en aluminio fundido, reflector en aluminio espejado para el mejoramiento del rendimiento.

El difusor deberá ser de vidrio templado. Deberá incluir lámpara incandescente de 100 W.

***c). Interruptor de efecto***

Los interruptores para los circuitos de iluminación deberán ser del tipo de embutir a tecla o palanca, de una capacidad mínima de 10 A y se deberán ubicar a una altura de 1,20 m respecto del nivel del piso terminado.

En la elección de la capacidad del interruptor se deberá tener en cuenta, además de la corriente nominal, las características del circuito a maniobrar, según el tipo de lámpara y el factor de potencia involucrado.

***Circuitos de tomacorrientes y otros servicios***

La sala deberá contar con circuitos de tomacorrientes monofásicos y trifásicos para fuerza motriz.

El puente guía se deberá alimentar desde el circuito de fuerza motriz.

Se deberán instalar un mínimo de seis (6) tomacorrientes monofásicos y dos (2) tomacorrientes trifásicos, convenientemente distribuidos en el perímetro de la sala de bombas.

Los tomacorrientes monofásicos deberán ser de embutir para 220 V – 10 A e irán colocados a una altura conveniente teniendo en cuenta la posibilidad de derrame de agua en la sala.

***Iluminación exterior perimetral***

La iluminación exterior perimetral se calculará por el método de punto por punto.

El nivel de iluminación deberá ser de 20 lux en las zonas de circulación y accesos.

La red de alimentación exterior deberá ser monofásica.

Se ha previsto la iluminación con artefactos con lámparas de descarga de sodio del tipo de alumbrado público.

Los artefactos se deberán instalar en las paredes perimetrales del edificio por medio de brazos murales en tubo de acero galvanizados.

Se ha previsto la instalación de un interruptor fotoeléctrico, que conectará las luminarias al reducirse el nivel de luz ambiente.

## 5.2. MEMORIA DE CÁLCULO

### 5.2.1. Elección de Conductores

El dimensionamiento de los conductores principales se realizó empleando el programa de cálculo DOC (Design Optimization on Computer) de ABB SACE.

Se adoptó como valor de entrada una caída de tensión máxima del 3% para el tramo entre el punto de suministro y el tablero TGRAL y del 2% desde el tablero TGRAL a las bombas y a los tableros secundarios.

Por razones de sollicitación mecánica se adaptó una sección mínima del conductor de fase de 4 mm<sup>2</sup> los resultados son:

Cable	Sección Conductor de Fase Obtenida	Formación Adoptada
TGRAL / 0	185 mm	3 x 185 / 95
TGRAL / 1/2/3	95 mm <sup>2</sup>	3 x 95
TGRAL / 4	1 mm <sup>2</sup>	4 x 4
TGRAL / 5	2,5 mm <sup>2</sup>	4 x 4

### 5.2.2. Cálculo de la Corriente de Cortocircuito

Se realizó empleando el programa de cálculo DOC.

Se adoptó como hipótesis que el suministro se obtendrá desde un sistema de 13,2 kv por medio de un transformador 13,2 / 0,4 kV – 315 kVA.

La potencia de transformación adoptada (315 KVA) permite atender futuras ampliaciones ya que la potencia activa simultanea actual calculada es de 200kW.

Se obtiene una corriente de cortocircuito simétrica I<sub>ks</sub> = 10,20 KA en barras del tablero TGRAL, considerando la conexión simultánea de dos bombas (2 x 90 KW) en barras. Se adopta para el TGRAL, I<sub>ks</sub> = 15 KA.

Se obtiene en barras de los tableros COMP e IL/TM corrientes de corto circuito simétrica I<sub>ks</sub> de 2,68 KA y 2,65 KA respectivamente, en consecuencia para estos tableros se

adopta una  $I_{ks} = 5 \text{ KA}$ , lo que define un equipamiento de maniobra estándar de alta calidad.

### 5.2.3. Cálculo del Banco de Capacitores de Compensación e

Se realizó empleando el programa de cálculo DOC.

Se adoptó una potencia nominal del motor de la bomba de 90 kW y valores de sedimento y  $\cos \phi$  típicos para motores.

Se obtiene una potencia de corrección necesaria de 20 kVAr.

La corriente nominal calculada del interruptor del banco es de 57,4 A, adaptándose un interruptor de 100 A.

### 5.2.4. Cálculo Alumbrado Interior

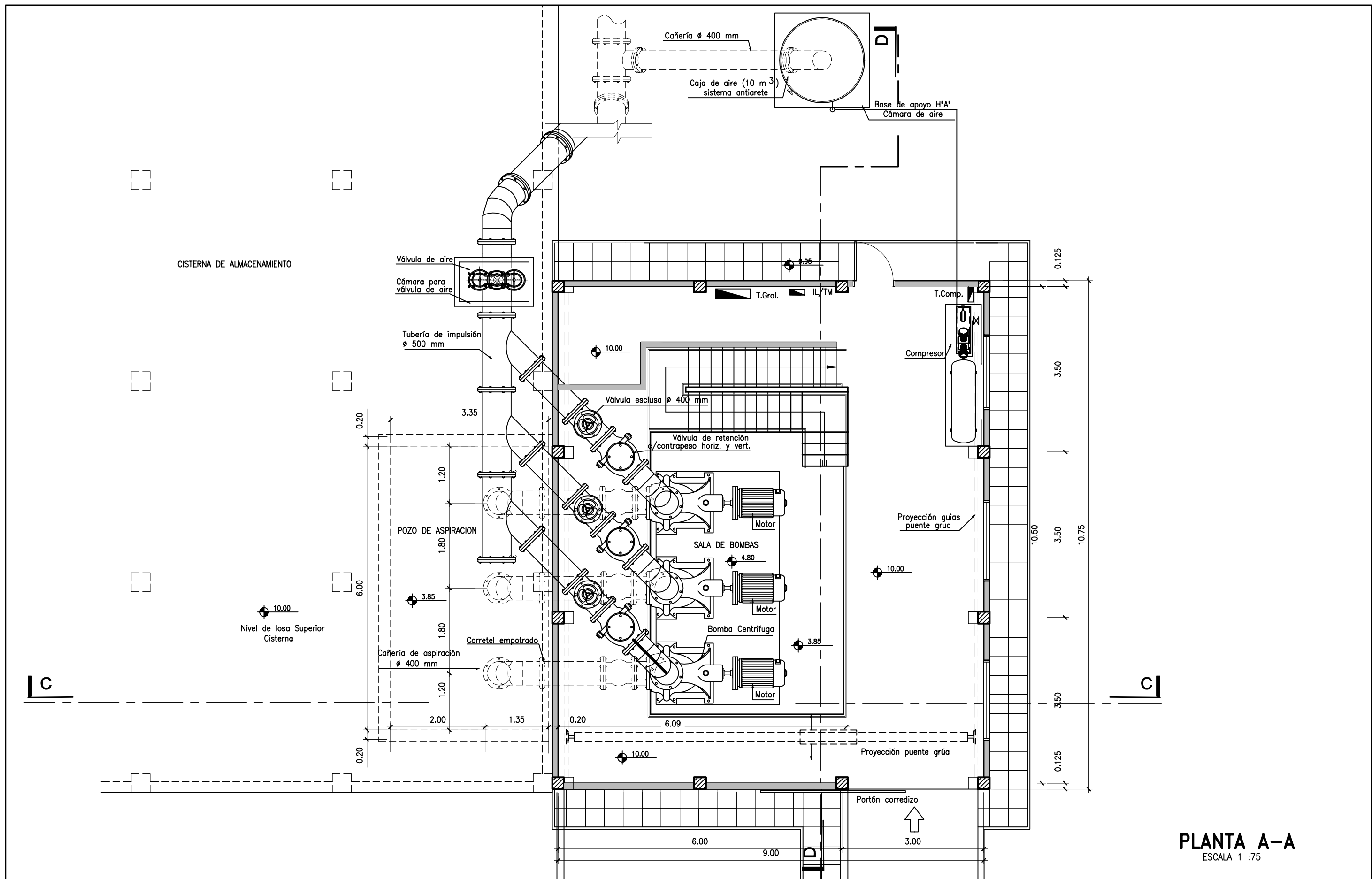
- Superficie sala de bombas  $S = 90 \text{ m}^2$
- Nivel de iluminación  $E_m = 250 \text{ lx}$
- Tipo de lámpara adoptada = Descarga de mercurio 250 W
- Flujo luminoso  $\Phi = 12.500 \text{ lx}$
- Coeficiente de utilización  $K_n = 0,44$
- Coeficiente de depreciación  $K_d = 0,8$



Número de artefactos necesarios:

$$n = \frac{E_m \cdot S}{\phi \cdot K_n \cdot Hd} = \frac{250 \cdot 90}{12.500 \cdot 0,44 \cdot 0,8} = 5,11$$

Se adoptan 6 artefactos

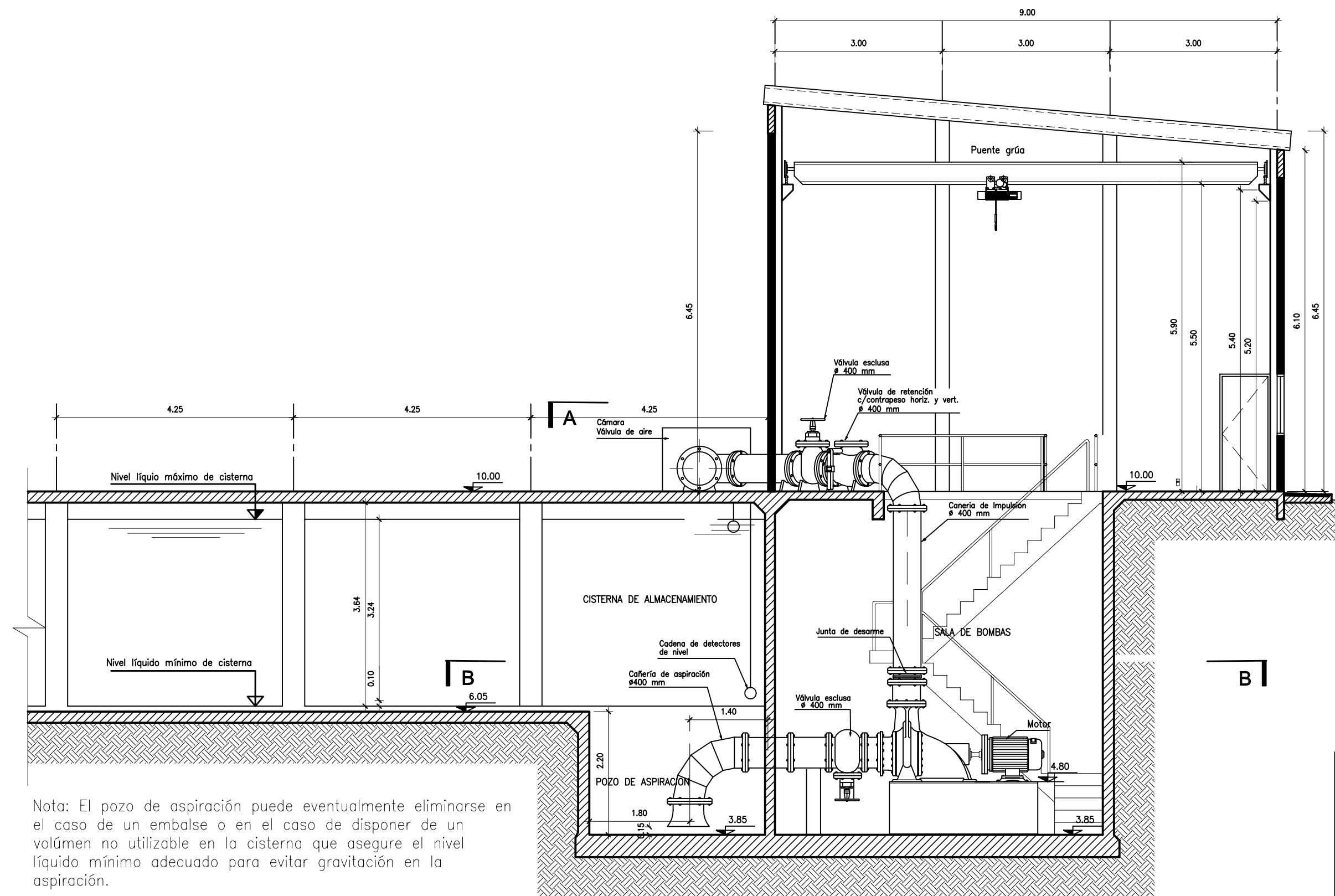
Para el refuerzo de la iluminación de la zona bajo el entepiso metálico se adoptaron 4 artefactos tipo tortuga con lámpara incandescente de 100W.



NOTAS:				 <b>HYTSA</b> <i>hytsa estudios y proyectos s.a.</i>  INGENIERIA SRL	PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO				
REF.	6E-EB002	6	CORTE F-F		TITULO: ESTACION DE BOMBEO - EJEMPLO 1 CAUDAL DE DISEÑO = 778 m3/h PLANTA	Proy.	N°	6E-EB001	
	6E-EB003	6	PLANTA H-H			Dibujo	Fecha	JUL99	HOJA
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO			Ing.Proy.	Escala	1:75	.1.de19.





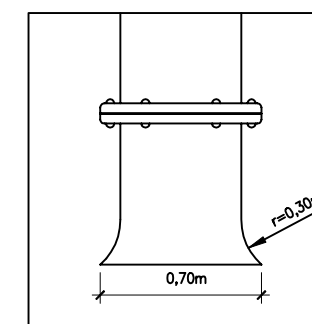


Nota: El pozo de aspiración puede eventualmente eliminarse en el caso de un embalse o en el caso de disponer de un volúmen no utilizable en la cisterna que asegure el nivel líquido mínimo adecuado para evitar gravitación en la aspiración.

## CORTE C-C

ESCALA 1 :75

### DETALLE CAMPANA DE ASPIRACION

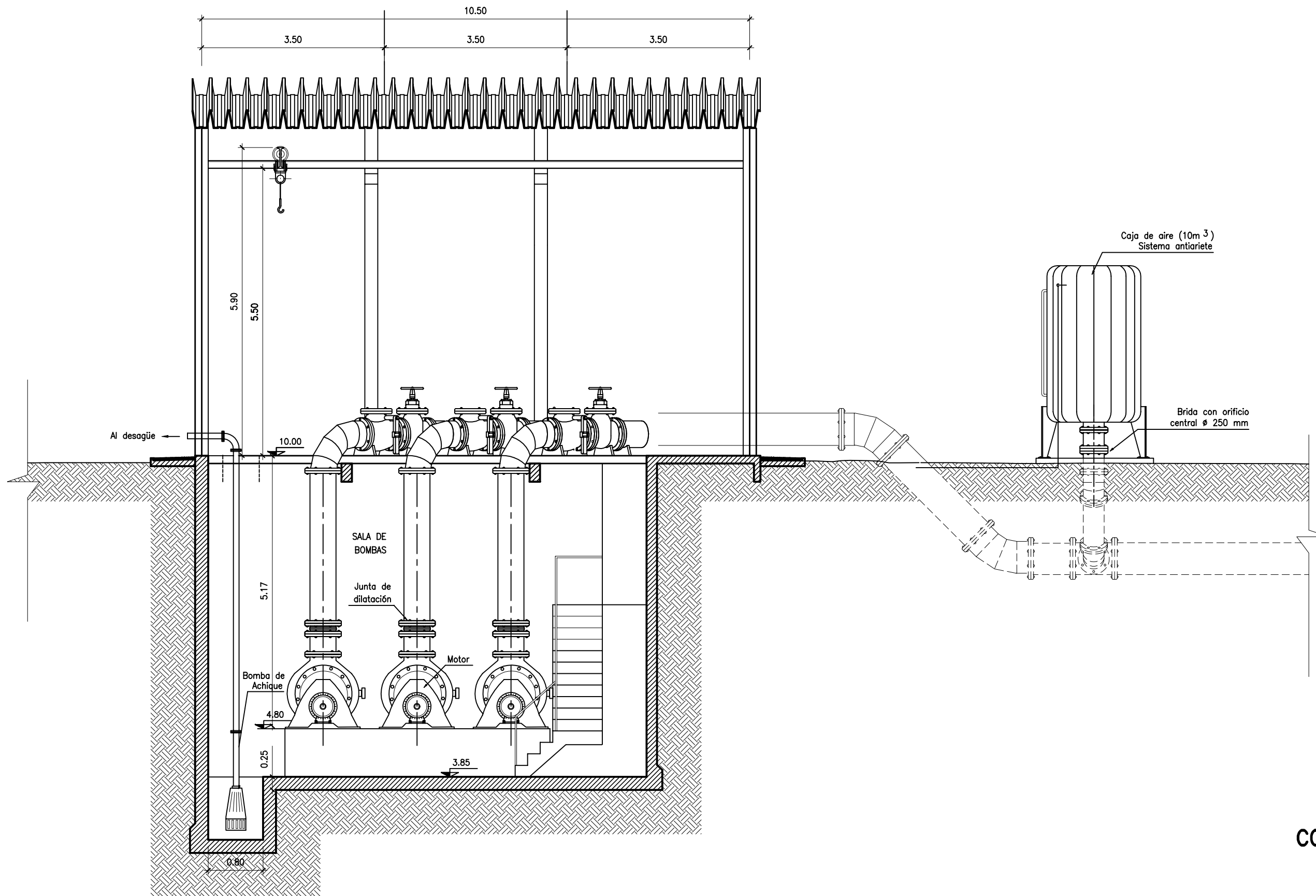


#### NOTAS:

REF.	6E-EB004	6	CORTE G-G
	6E-EB002	6	PLANTA H-H
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
TITULO:	ESTACION DE BOMBEO - EJEMPLO 1 CAUDAL DE DISEÑO = 778 m <sup>3</sup> /h CORTE F-F		
Proy.	N°	6E-EB003	
Dibujo	Fecha	JUL.99	HOJA
Ing.Proy.	Escala	1:75	3.de.10.



CORTE D-D

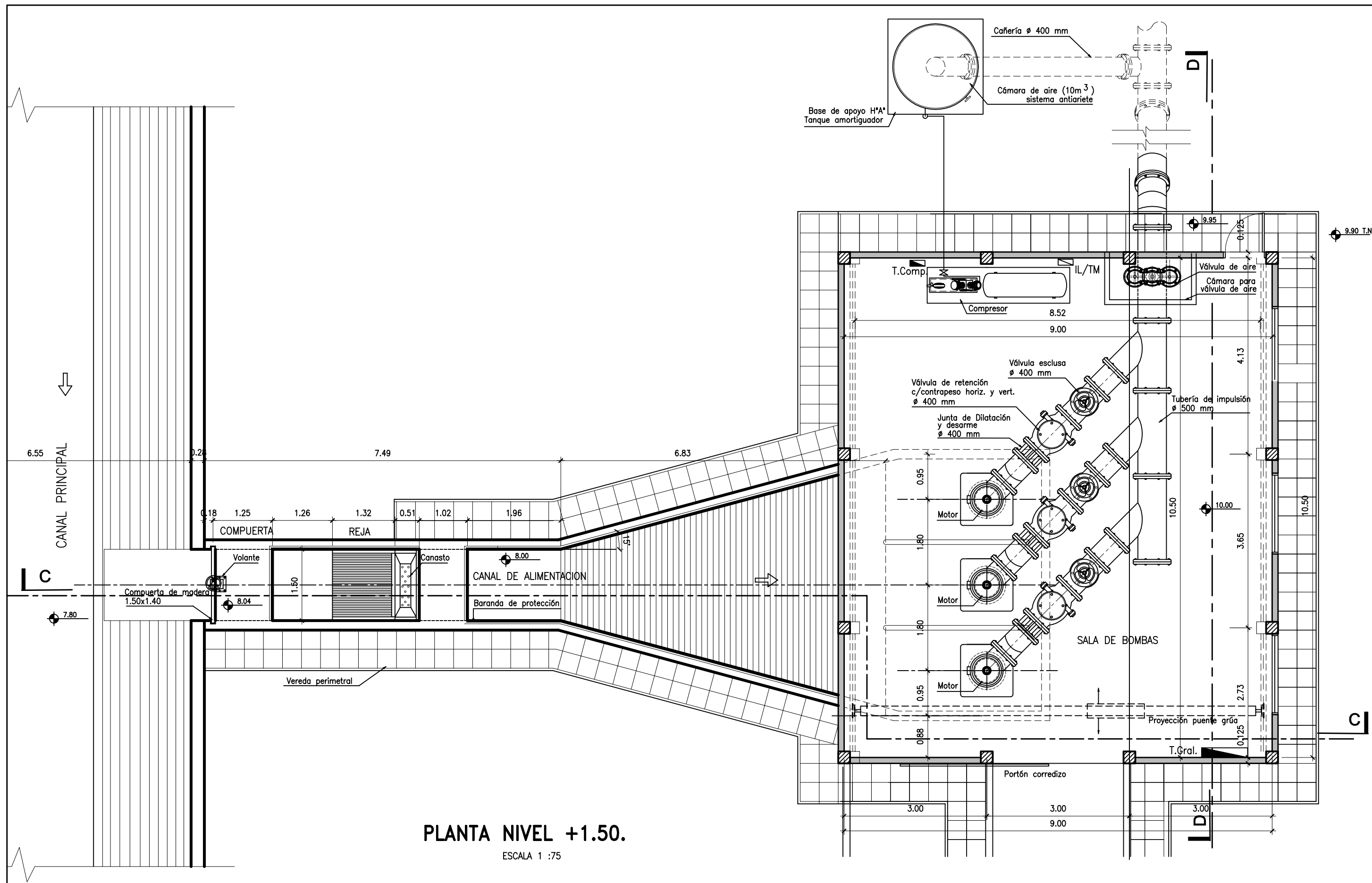
ESCALA 1 :75

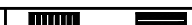

NOTAS:

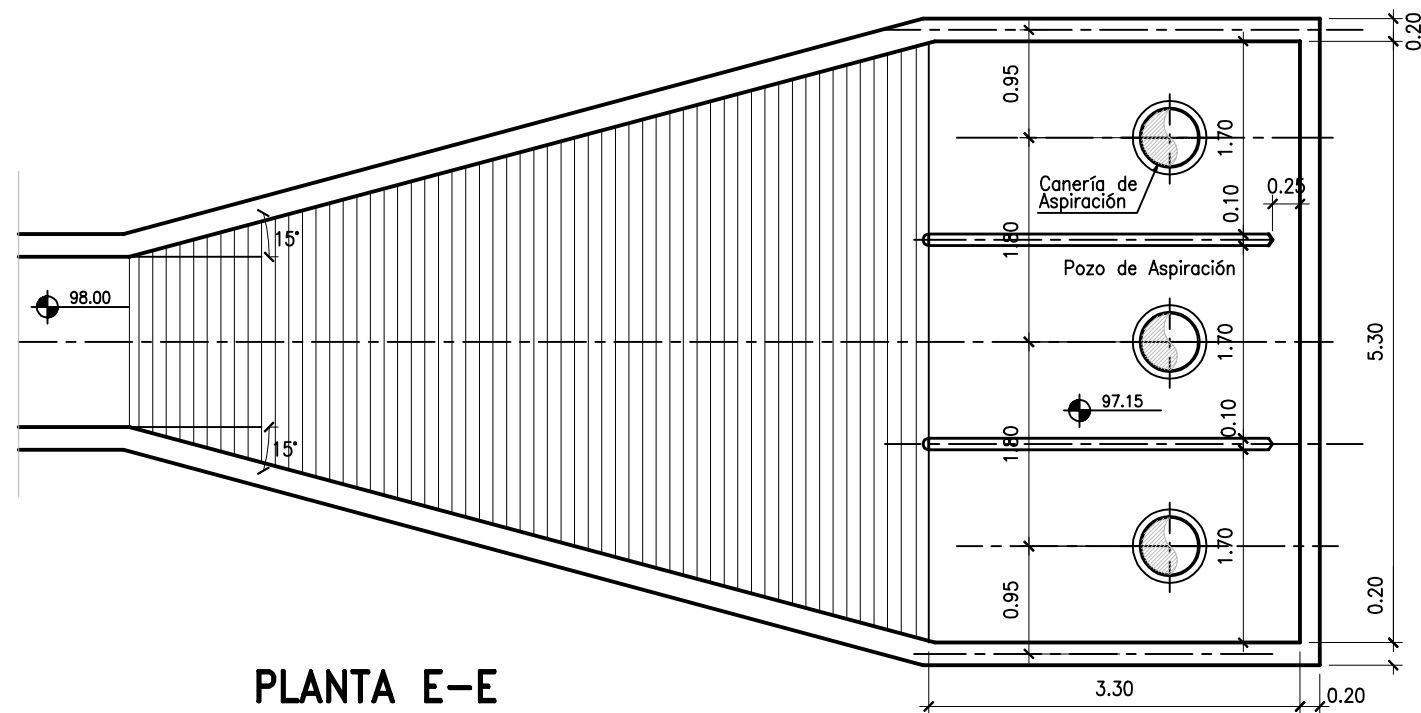
REF.	6E-EB002	6	PLANTA H-H
	6E-EB003	6	CORTE F-F
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO



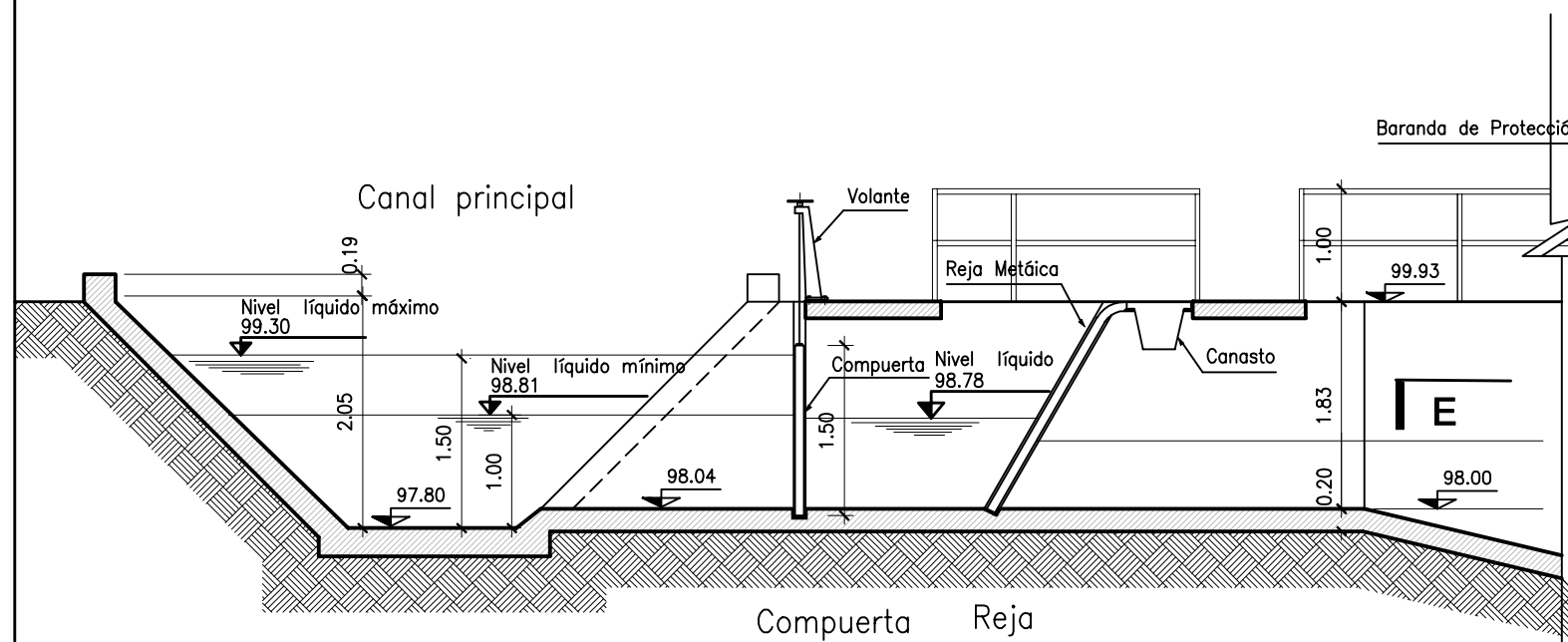
PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
TITULO: ESTACION DE BOMBEO - EJEMPLO 1 CAUDAL DE DISEÑO = 778 m3/h CORTE B-B		Proy.	N° 6E-EB004
	Dibujo	Fecha JUL99	HOJA
	Ing.Proy.	Escala 1:75	4.de.10



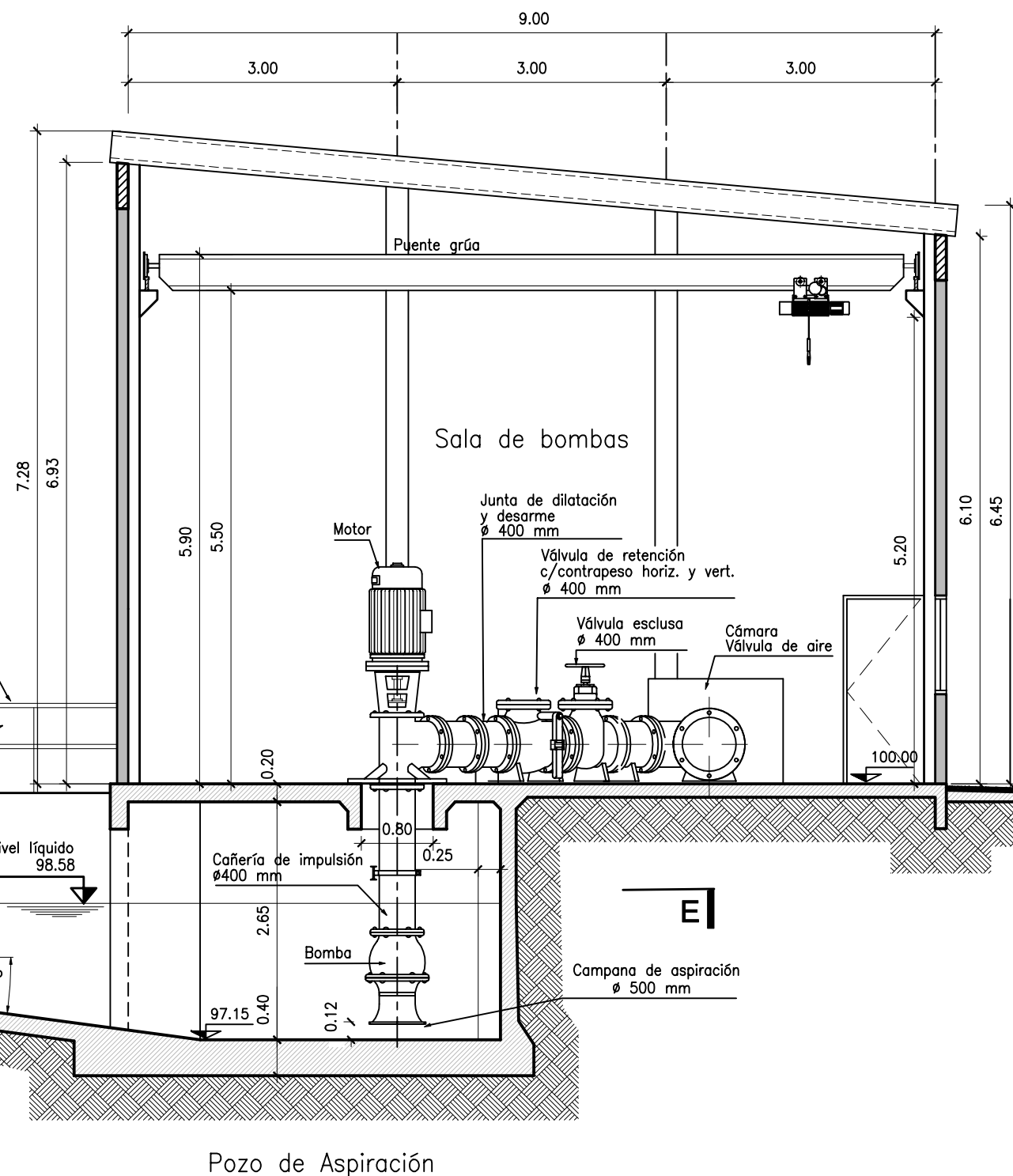
NOTAS:				 <b>HYTSA</b> <i>hytsa estudios y proyectos s.a.</i>  INGENIERIA SRL	PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO				
REF.	6E-EB007	6	CORTE D-D		TITULO: ESTACION DE BOMBEO - EJEMPLO 2 CAUDAL DE DISEÑO = 778 m3/h PLANTA NIVEL +1.50		Proy.	N° 6E-EB005	
	6E-EB006	6	CORTE C-C				Dibujo	Fecha JUL.99	HOJA
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO				Ing.Proy.	Escala 1:75	5.de.10



**PLANTA E-E**  
ESCALA 1 :75



**CORTE C-C**  
ESCALA 1 :75

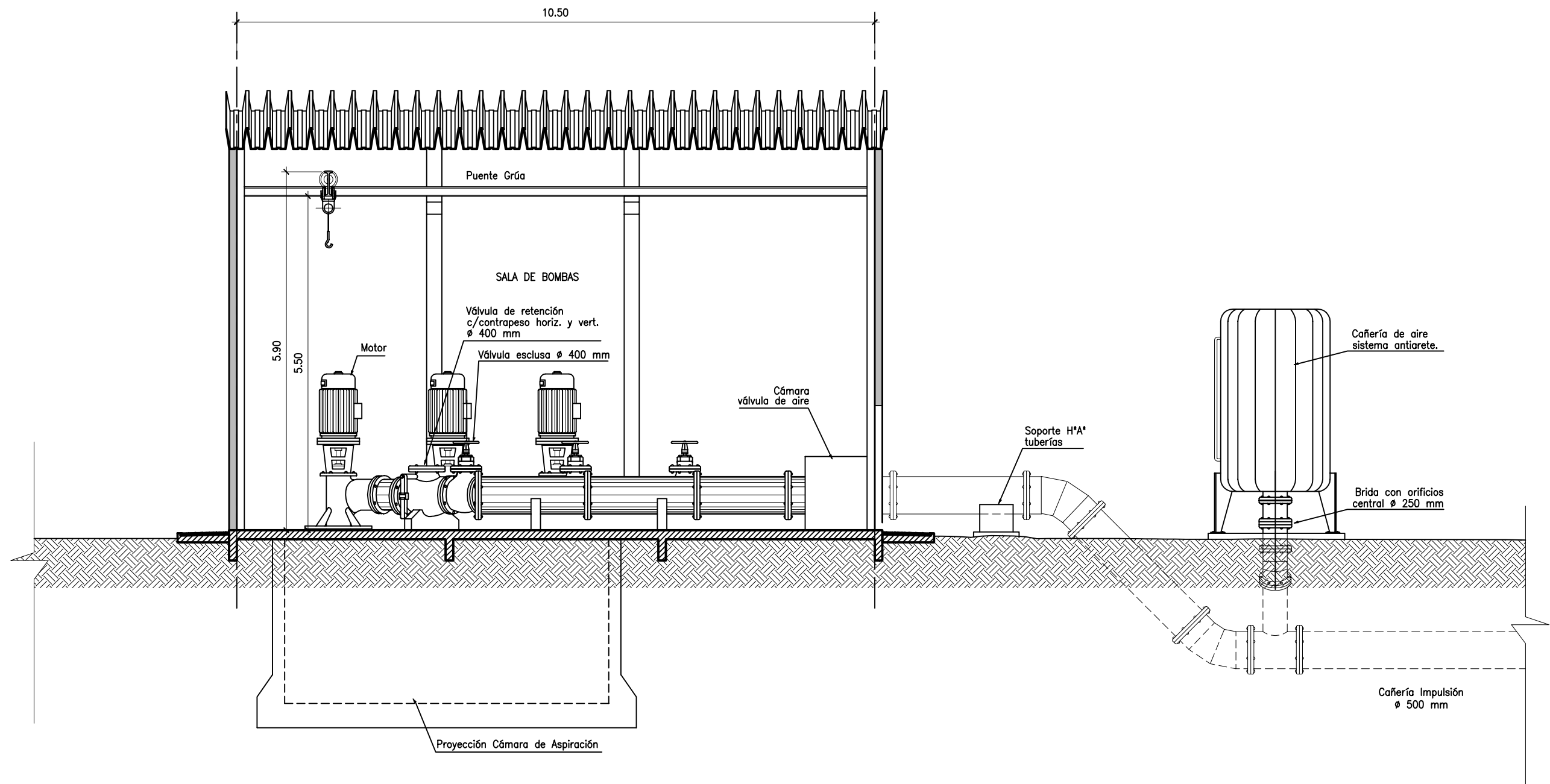


NOTAS:

REF.	6E-EB007	6	CORTE D-D
	6E-EB008	6	PLANTA GENERAL
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TÍTULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
TITULO: ESTACION DE BOMBEO -EJEMPLO 2		Proy.	N° 6E-EB006
CAUDAL DE DISEÑO = 778m <sup>3</sup> /h		Dibujo	Fecha JUL.99
CORTE C-C		Ing.Proy.	Escala 1:75
			HOJA 6.de.10



## CORTE D-D

ESCALA 1 :75

NOTAS:

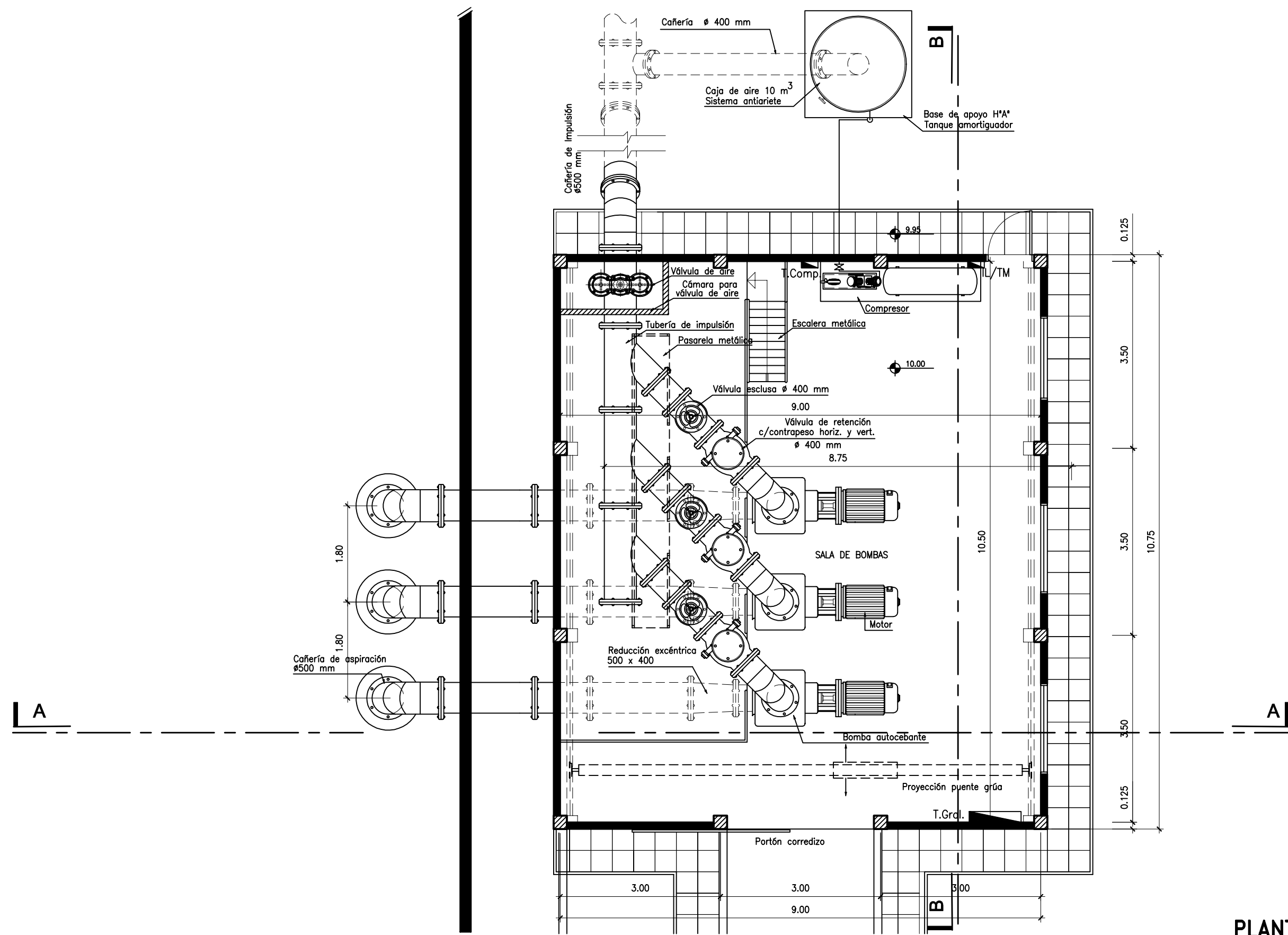
REF.	6E-EB006	6	CORTE C-C
	6E-EB005	6	PLANTA GENERAL
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL  
SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE  
ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO

TITULO: ESTACION DE BOMBEO - EJEMPLO 2 CAUDAL DE DISEÑO = 778m <sup>3</sup> /h CORTE D-D	Proy.	N°	6E-EB007
	Dibujo	Fecha	JUL99
	Ing.Proy.	Escala	1:75

HOJA  
7...de...10



PLANTA C-C  
ESCALA 1 :75

NOTAS:

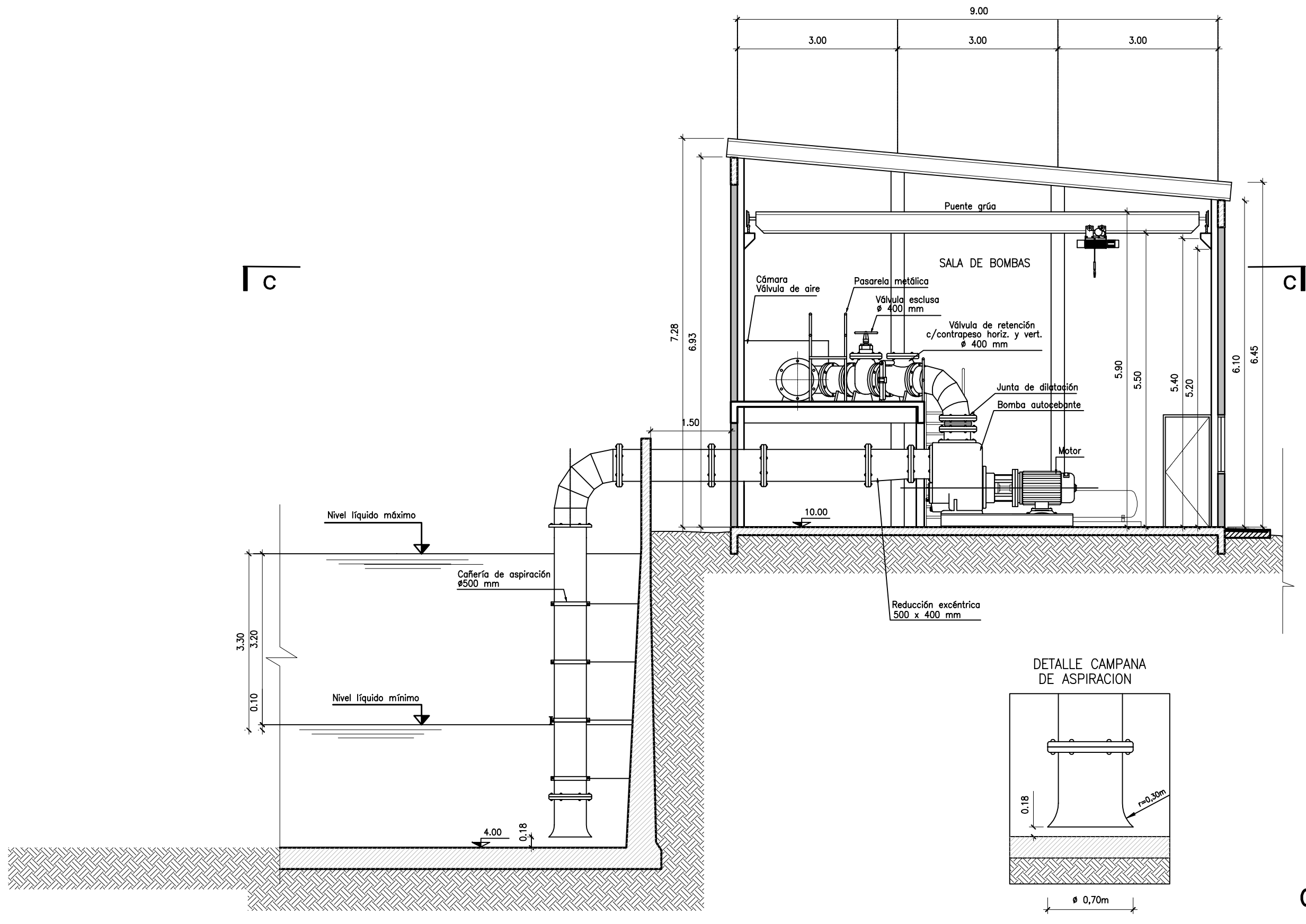
REF.	6E-EB0010	6	CORTE B-B
	6E-EB009	6	CORTE A-A
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL  
SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE  
ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO

TITULO: ESTACION DE BOMBEO - EJEMPLO 3 CAUDAL DE DISEÑO = 778m3/h PLANTA		Proy.	N° 6E-EB008
		Dibujo	Fecha JUL.99
		Ing.Proy.	Escala 1:75

HOJA  
8.de.10



CORTE A-A  
ESCALA 1 :75

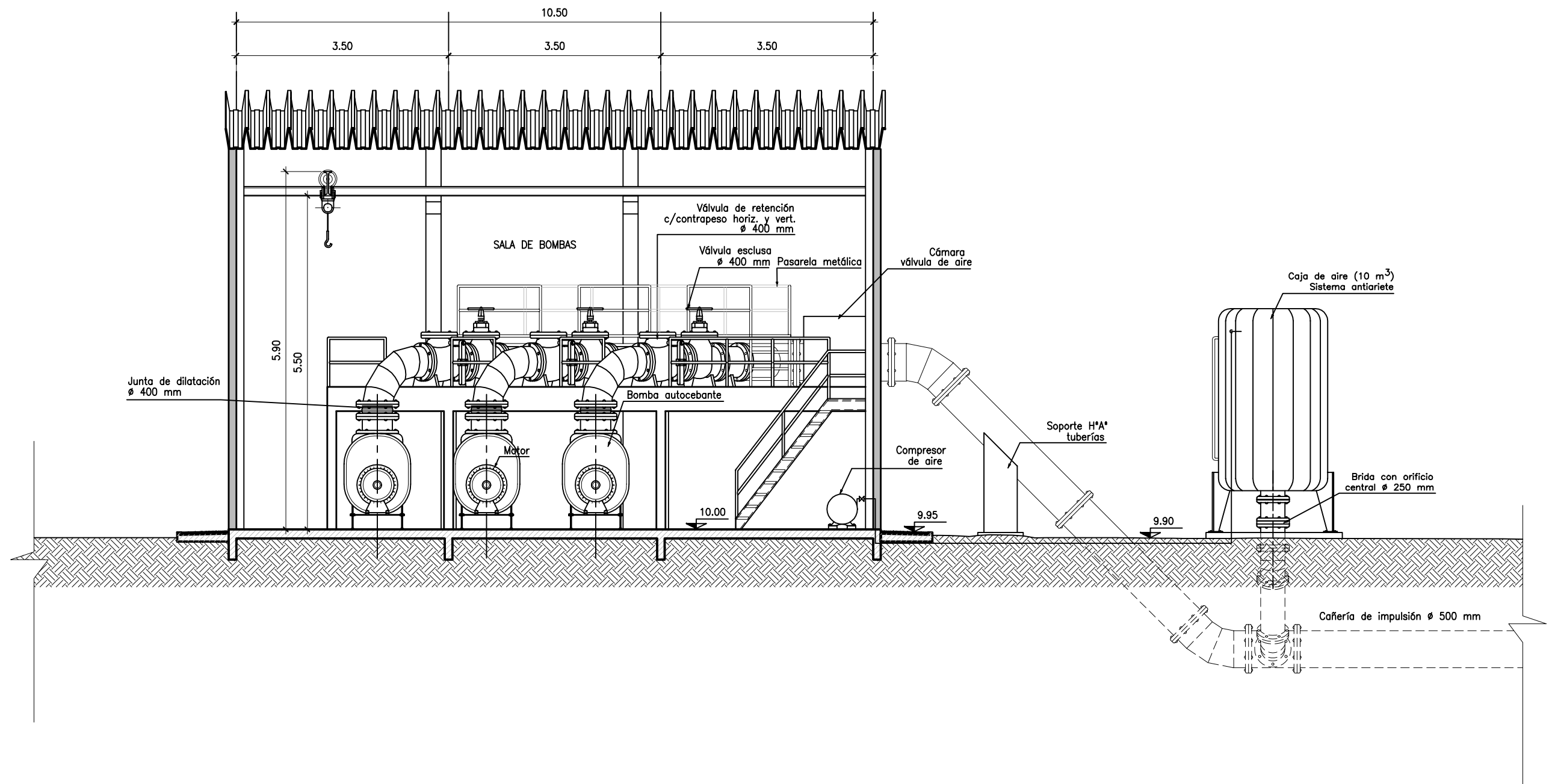
NOTAS:

REF.	6E-EB0010	6	CORTE B-B
	6E-EB008	6	PLANTA GENERAL
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
TITULO: ESTACION DE BOMBEO - EJEMPLO 3 CAUDAL DE DISEÑO = 778 m3/h CORTE A-A		Proy.	N° 6E-EB009
		Dibujo	Fecha JUL99
		Ing.Proy.	Escala 1:75
			HOJA 9.de.10





**CORTE B-B**  
ESCALA 1 :75

NOTAS:

REF.	6E-EB009	6	CORTE A-A
	6E-EB008	6	PLANTA GENERAL
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
TITULO: ESTACION DE BOMBEO -EJEMPLO 3		Proy.	N° 6E-EB010
CAUDAL DE DISEÑO = 778 m³/h		Dibujo	Fecha JUL.99
CORTE B-B		Ing.Proy.	Escala 1:75
			HOJA
			10.de.10