

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

*Fundada en 1551*

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**

**E.A.P. DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS**



**Tesis**

**Digitales UNMSM**

**“DISEÑO DE UNA NUEVA LÍNEA DE IMPULSIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA PLANES DE EXPANSIÓN DE MÍNIMO COSTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EPS CHIMBOTE”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS**

**AUTOR**

**VICTOR DAVID CHOY BEJAR**

LIMA – PERÚ  
2002

## AGRADECIMIENTOS

- A Dios por darme la vida y las fuerzas para poder caminar en este mundo.
- Al Ing. Reuter Aliaga por su apoyo en la asesoría a tiempo y fuera de tiempo para el desarrollo de la presente monografía.
- A la Empresa BCEOM-OIST en la persona del Ing. José Rubio por su ayuda incondicional en la recolección de la información de campo.
- A la Empresa CESEL S.A. en la persona de la Ing. Eufemia Elías por su excepcional apoyo y colaboración en la elaboración de presupuesto.
- A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Escuela Académica Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos por haber sido mi alma mater y brindarme las facilidades en el uso de su biblioteca para realizar la recopilación de la información teórica para la presente monografía.
- A mi madre Laura Bejar Rodríguez, por ser paciente y respaldarme incondicionalmente en todo momento, y de quien siempre recibí una palabra de aliento.
- A mi familia por su comprensión en mis horas de estudio.
- A todas las empresas e instituciones que me apoyaron con cotizaciones para equipos e información técnica.
- A mis profesores y amigos de quienes siempre recibí lo mejor.

A MI AMADA MADRE  
POR SU CARIÑO Y APOYO  
INDESMALLABLE

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
2. OBJETIVOS .....	4
2.1 Objetivo General .....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
3. INFORMACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO.....	5
3.1 Ubicación de la Obra .....	5
3.2 Topografía y Uso.....	5
3.3 Características Geológicas y Geotécnicas de la Zona.....	6
3.4 Estado hidrogeológico del acuífero.....	7
3.5 Crecimiento Urbano y Poblacional – Consumo .....	9
3.6 Rendimiento del Pozo.....	10
4. PLANTEAMIENTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA .....	11
4.1 Del Diseño de la Línea de Impulsión.....	11
4.1.1 Diámetro de Tubería .....	11
4.1.2 Velocidad Media de Flujo .....	11
4.1.3 Perdida de Carga en Tuberías .....	12
4.1.3.1 Perdidas de Carga por Fricción .....	12
4.1.3.2 Perdidas de Carga Local .....	13
4.1.4 Potencia de Impulsión.....	13
4.1.4.1 Potencia de Consumo .....	14
4.1.4.2 Potencia Instalada .....	15
4.1.5 Análisis de Sensibilidad Económica - Diámetro Económico.....	15
4.2 De la Selección del Equipo de Bombeo.....	17
4.2.1 Curvas Característica Red y Bomba - Punto Optimo de Operación...	17
4.2.2 Coeficiente de Velocidad Específica .....	19
4.3 Análisis de Flujo Transitorio - Fenómeno de Golpe de Ariete.....	20
4.4 De la Cimentación.....	22
4.4.1 Comportamiento de Tuberías Enterradas .....	22
4.4.2 Diseño de Anclajes .....	23

5. PLANTEAMIENTO TÉCNICO.....	26
5.1 Estudios Preliminares.....	26
5.2 Parámetros y Criterios de Diseño.....	29
5.2.1 De la Línea de Impulsión.....	29
5.2.2 Del Sistema de Bombeo.....	33
5.2.3 Del Estudio de Flujo en Régimen Transitorio.....	34
5.2.4 De la Cimentación.....	35
6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO.....	36
6.1 Memoria de Calculo de la Línea de Impulsión.....	36
6.1.1 Calculo del Diámetro y Pérdidas de Carga.....	36
6.1.2 Calculo de la Sobrepresión por Cierre Instantáneo.....	39
6.1.3 Calculo de la Potencia.....	41
6.1.3.1 Potencia de Consumo.....	41
6.1.3.2 Potencia Instalada.....	41
6.1.4 Calculo de Costos Totales y Valores Presentes.....	42
6.2 Memoria de Calculo del Sistema de Bombeo.....	44
6.2.1 Calculo de la Curva Característica de la Red.....	44
6.2.2 Calculo de la Curva Característica de la Bomba.....	47
6.2.3 Calculo del Coeficiente de Velocidad Especifica.....	49
6.3 Memoria de Calculo de la Cimentación.....	50
6.3.1 Comportamiento de Tuberías Enterradas.....	50
6.3.2 Diseño de Anclajes.....	51
7. RESULTADOS.....	56
8. ANALISIS DE RESULTADOS.....	67
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
10. BIBLIOGRAFÍA.....	73
11. ANEXOS.....	75



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

## **RESUMEN**

El presente trabajo surge de la necesidad de dar solución a parte de los problemas existentes en el sistema de abastecimiento de agua potable que afecta a la ciudad de Chimbote debido al crecimiento urbano y poblacional y a la antigüedad de los sistemas de suministro que generan un abastecimiento racionalizado en cierto sectores de la población que han visto condicionada su situación sanitaria.

Es así como se prevé que el diseño de la nueva línea de impulsión y la selección de su respectivo equipo de bombeo contribuyan a mantener un adecuado y seguro suministro de agua, la cual es almacenada en uno de los principales reservorios que alimenta al casco principal urbano de la ciudad.

Mediante este diseño lo que se pretende es obtener la mejor opción técnica – económica que nos permita definir el tipo, diámetro y clase de tubería del tramo de mayor longitud que componente el sistema de suministro que va desde el pozo tubular P-03 hacia el reservorio R-2A, al menor costo de inversión presente cumpliendo con todos requerimientos que el diseño exige.

Igualmente para la selección del equipo de bombeo se opta por una bomba que genere el menor costo de operación y mantenimiento posible durante el periodo de vida útil del equipo con un rendimiento acorde a las exigencias futuras de trabajo y con una capacidad de carga y caudal mayores a los que se determinan en el diseño de la línea de impulsión.

Además como parte del trabajo se realiza el diseño de la cimentación con un breve análisis de la carga de relleno que soporta la tubería por un lado, y por el otro se realiza el diseño propiamente dicho de los bloques de anclaje que se requiere para la estabilidad de la línea cuando se realice su instalación (tubería enterrada), como se observa en el plano del perfil longitudinal que incluye además el nivel de presiones que experimenta cada uno de los puntos en la tubería por donde circula el agua en su recorrido hacia el reservorio.



## 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

---

El presente trabajo esta referido al sistema de suministro del abastecimiento de agua que forma parte del Estudio Definitivo de las Obras de Expansión de Mínimo Costo de Agua Potable y Alcantarillado, el cual es un estudio integral que plantea la solución del Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Chimbote.

Este sistema abastecerá al reservorio R-2A con agua subterránea desinfectada obtenida desde el pozo tubular P-03, debido a que el reservorio primario R-1 al cual llega la línea actualmente será abandonado en el futuro por estar en mal estado.

El agua que abastece a esta localidad es de dos fuentes: subterránea (Pozos) y superficial (Río). Se realiza desinfección, como único tratamiento para potabilizar el agua proveniente de los pozos.

El abastecimiento se realiza por zonas de acuerdo a la capacidad de los reservorios, los cuales no son utilizados como reservorios de regulación sino como reservorios de almacenamiento, según un horario que varía entre 2 y 14 horas por día.

Por lo que el tiempo de funcionamiento de las fuentes es solo para llenar los reservorios y no según la demanda de agua de la población.

Es por ello que en la presente monografía se prevé solucionar parte del problema actual del abastecimiento de agua potable a través de la selección de un nuevo equipo de bombeo y el diseño de una nueva línea de impulsión, para conducir el agua subterránea desde un pozo tubular denominado P-03 hacia el reservorio de



sección circular denominada R-2A el cual abastece a la mayor parte de la población del casco principal urbano de la ciudad de Chimbote.

Además del caudal suministrado por el pozo P-03, también ingresan al reservorio otras líneas de impulsión provenientes de diferentes pozos por medio de un “many-hall” en donde confluyen todos los caudales para formar un caudal total empleado en el último tramo del diseño de la nueva línea de impulsión. Esto se presenta en la Tabla N° 01 de la sección anexos.

El Estudio Definitivo contempla dos etapas de expansión para dar cobertura a la demanda futura.

- I etapa para una demanda proyectada al año 2005.
- II etapa para una demanda proyectada al año 2025.

La red de agua potable tiene la capacidad de abastecer al 90% de la población de la ciudad. Sin embargo, la tasa de cobertura calculada por el número de conexiones en los últimos años es alrededor del 71%.

Actualmente, con los problemas de conducción de la fuente superficial (canal Carlos Leight), las horas de abastecimiento son reducidas y algunas veces nula, siendo necesario la producción de agua subterránea las 24 horas del día para cubrir la demanda requerida.

Por tal motivo tanto el diseño de la nueva línea de impulsión como la selección del nuevo equipo de bombeo deberán garantizar una segura y adecuada producción de agua afrontando las exigencias del abastecimiento de la demanda futura proyectada en las etapas del estudio definitivo.





## 2. OBJETIVOS

---

### 2.1 Objetivo General

- Mejorar las condiciones de vida de un sector de la población de la zona de estudio, ampliando la continuidad del abastecimiento de agua potable y en cantidades adecuadas, en función del rendimiento de la fuente.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar la nueva línea de impulsión para dar una adecuada funcionalidad al sistema de abastecimiento de agua potable, reemplazando la línea de impulsión actual debido al mal estado en el que se encuentra.
- Selección de una nueva electrobomba en reemplazo de la actual, que asegure la producción de agua para la demanda proyectada en las etapas de expansión con un mínimo costo de mantenimiento y operación, ya que la actual presenta deficiencia y bajo rendimiento por el tiempo de operatividad alcanzada, habiendo completado el 70% de su vida estimada como útil ya terminada.
- Determinar las cargas que afectan a la tubería enterrada para asegurar su integridad estructural.
- Diseñar los anclajes para los accesorios de la línea enterrada para mantener su estabilidad en caso de riesgos.
- Determinar el costo estimado de la obra para ser ejecutada



### 3. INFORMACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO

---

#### 3.1 Ubicación de la Obra

La zona del proyecto se ubica entre el cerro El Progreso donde se encuentra el reservorio R-2A, también denominada Huaca Santa Cruz con coordenadas planas 765870.70E y 8997791.08N y la zona del pozo P-03 próxima a la margen derecha del Valle Lacramarca con coordenadas planas 766831.88E y 8997634.80N en el Distrito Chimbote, Provincia del Santa, Departamento de Ancash.

*Cuadro N° 01. Coordenadas de la zona del proyecto*

N°	COORDENADA NORTE	COORDENADA ESTE
1	8997800.00	765883.84
2	8997800.00	766833.82
3	8997606.30	766833.82
4	8997606.30	765883.84

#### 3.2 Topografía y Tipo de Uso

El llamado cerro El Progreso, lugar de ubicación del reservorio R-2A se halla en la cota 53.08 m.s.n.m., está cubierto de arena y tiene como todas las elevaciones de esta zona, un manto de roca ígnea, típica del batolito de la costa, no tiene vegetación alguna, está rodeada de asentamientos humanos, originados por decisión política de los consejos provinciales actitud que ha disminuido el área original destinada a ampliaciones futuras del servicio de agua potable.

La Zona del Pozo P-03 se halla en la cota 15.79 m.s.n.m. y se encuentra ubicado al Nor-Este del casco central de la ciudad muy cerca de la ribera derecha del antiguo cauce del río Lacramarca. La zona esta cubierto de arena suelta rodeando a los AA.HH. 21 de abril y el Carmen que limitan con el pozo.

El terreno circundante en donde se encuentra enterrada la línea de impulsión actual está dedicado a vías de uso precario.

### **3.3 Características Geológicas y Geotécnicas de la zona**

El recorrido de las tuberías que constituyen la línea de impulsión del pozo P-03 al reservorio R-2A corresponde a tramos bien definidos:

- Tramo de 800 m aprox., con inicio en el Pozo P-03, suelo tipo aluvional (arenas limosas semicompactas) y subsuelo consistente de arena suelta. Las gravas se encuentran por debajo de los 10 m. El nivel freático se encuentra a relativa profundidad de 3 m a 4 m. La arena fina suelta que se encuentra a distintas profundidades presentará licuación marginal durante un sismo de moderada magnitud, por lo que el daño a tuberías enterradas será moderado.
- Tramo de 200 m aprox. hasta el reservorio R-2A, corresponde a cerros con suelo de arena de mediana a baja compacidad, con significativos niveles y deslizantes. El subsuelo consiste en rocas, gravas densas y depósitos arenosos compactos con nivel freático a profundidades mayores de 4 m. Existe poca posibilidad de subsidencia o asentamiento del terreno, por lo que el colapso de tuberías enterradas bajo carga sísmica es improbable.

De acuerdo a los tipos de suelo predominante en la zona de estudio, suelo uniforme de similares características de acuerdo a cada tramo se deduce que la estructura (tendido de tuberías) será cimentada íntegramente en un mismo tipo de suelo que garantiza UN MINIMO ASENTAMIENTO DIFERENCIAL para la profundidad del tendido (1.25 m. a 2.5 m.), sobre todo ante efectos dinámicos,

ocurrido por sismos característicos en la zona de estudio.

Por otro lado la composición química del subsuelo arroja porcentaje de sales solubles totales del orden de 950 ppm, el contenido de ion sulfato es de 160 ppm, el porcentaje de ion cloruro es del orden de 640 ppm, y el pH del suelo es 7.71, por lo que se desprende que no habrá agresión química sobre estructuras de concreto y fierro enterradas.

### **3.4 Estado Hidrogeológico del Acuífero**

El acuífero está formado por depósitos aluviales no consolidados y limitado por rocas volcánicas e intrusivas con presencia de cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas.

Los depósitos aluviales no consolidados presentan buenas cualidades físico – mecánicas en cuanto a la aptitud para la circulación y almacenamiento de agua.

La napa es de tipo libre predominantemente y su nivel estático se encuentra próximo a la superficie del suelo en la cercanía a la costa y tiende a alejarse en la dirección de las zonas altas. Es alimentada por infiltraciones provenientes del río Santa, por las infiltraciones que se producen en las partes altas de la Quebrada Lacramarca y por infiltraciones de los canales sin revestimiento y aguas de riego.

La dirección predominante del flujo subterráneo es de Nor-Este a Sur-Oeste y de E a W. La gradiente hidráulica es de 1.2% para la Quebrada de Cascajal y de 0.7% para el valle de Lacramarca, siguiendo la dirección del antiguo lecho del río Lacramarca.

Las reservas del acuífero en la actualidad están estimadas en 621.4 MMC, de las cuales son explotables alrededor de 53 MMC considerando una variación anual del nivel freático de 2.5 m a 4 m. Aunque se presentó una ligera baja del nivel



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

dinámico en los últimos años que demuestra que el acuífero está ya muy explotado, aun le queda suficiente potencia para cubrir la demanda proyectada.

Los ensayos realizados en la determinación de la calidad química del acuífero rebelan que este se encuentra dentro de los parámetros normales considerado en las normas recomendadas por la Organización Mundial de la Salud para el suministro de agua potable la cual se especifica en la siguiente lamina para un pozo de observación cercano al pozo P-03.

Aunque el acuífero presenta parámetros favorables para el consumo es necesario siempre un proceso de desinfección el cual se logra inyectándole una solución de cloro en vacío a través de una bomba acoplada a la línea de impulsión, eliminando así los agentes contaminantes que puedan permanecer aún en el agua.

En conclusión el acuífero ubicado en el valle de Lacramarca en las condiciones actuales se encuentra en capacidad de cubrir la demanda de agua ha ser extraída del pozo, por lo que es factible su utilización en condiciones normales para el tiempo proyectado en el estudio, sin poner en riesgo su capacidad de recuperación.

### **3.5 Crecimiento Urbano y Poblacional – Consumo**

Chimbote es la ciudad más importante del departamento de Ancash. Debido al aumento de la actividad industrial en los últimos años la ciudad ha visto incrementarse su población urbana con un crecimiento expansivo hacia los alrededores de casco central y al Este de la carretera panamericana, aprovechando los terrenos libres de toda actividad agrícola.

Esto se demuestra por el último censo realizado en el año 1993 donde se registró una población de 268 979 habitantes comparada con la población estimada en el año 1996 que fue de 271 518 habitantes.



La proyección poblacional prevista para la Primera Etapa es de 326 645 habitantes y para el horizonte de planeamiento al año 2025, se estima en un total de 462 061 habitantes.

El consumo promedio es de 300 lt/hab-día correspondiente a la dotación de agua para una población urbana mayor a los 200 000 habitantes con perdidas cercanas al 25% para la primera etapa disminuyendo a 18% al horizonte de planeamiento.

En el cuadro N° 02 siguiente se presenta la evolución de la población total de Chimbote con sus respectivos consumos, desde 1996 hasta el año 2025.

*Cuadro N° 02. Proyección población y consumo*

AÑO	POBLACION TOTAL	CONSUMO (l/s)
1996	271 518	946
2000	298 608	1037
2005	326 645	1134
2010	357 708	1242
2015	389 767	1353
2020	425 407	1477
2025	462 061	1604

*Fuente: Estudios de Factibilidad Tahal-Ascosea*

### **3.6 Rendimiento del Pozo**

Se logra a través de la prueba de bombeo a diversos regímenes escalonados de trabajo para un periodo no menor a 72 horas de operación, de donde se puede obtener la curva de rendimiento que nos permite concluir que el rendimiento del pozo es muy bueno teniendo en cuenta un caudal de 35 l/s y un nivel dinámico de



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

14 m. empleado por el sistema actual como parámetros de trabajo. Esto significa que se puede obtener más caudal si fuera necesario ya que el pozo tiene una profundidad de 40 m.

Además en la prueba de bombeo no se ha detectado la presencia de arena en el agua bombeada lo resulta beneficioso para el rendimiento del nuevo equipo de bombeo.

Actualmente del pozo P-03 se tiene la siguiente información resumida en el cuadro N° 03.

*Cuadro N° 03. Información del pozo P-03.*

POZO	AÑO PERFORACIÓN	AÑO REHABILITACIÓN	DIÁMETRO POZO (mm)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	CAUDAL BOMBEO (l/s)
P-03	1979	1996	300	40	6	14	35

COTA POZO (m.s.n.m.)	NIVEL BOMBEO (m.s.n.m.)	BOMBA EXTRACCIÓN	MOTOR	MACROMEDICIÓN	CLORACIÓN
15.79	1.79	Turbina de Eje Vertical	Eléctrico (Exterior)	Sí	Sí

## 4. PLANTEAMIENTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

---

### 4.1 Del Diseño de la Línea de Impulsión

#### 4.1.1 Diámetro de Tubería

Un primer paso en la determinación del diseño de la línea de impulsión es la elección del diámetro de la tubería, para esto se utiliza una formula empírica conocida como la formula de Bresse para bombeos discontinuos:

$$D = 0.5873 \cdot N^{0.25} \cdot \sqrt{Q_b}$$

La cual esta basada en los siguientes parámetros:

D : Diámetro interior aproximado (m).

N : Número de horas de bombeo al día.

Q<sub>b</sub> : Caudal de bombeo obtenido de la demanda horaria por persona, del análisis poblacional y del número de horas de bombeo por día en (m<sup>3</sup>/s).

#### 4.1.2 Velocidad Media de Flujo

Establecido el diámetro de diseño, si este no es comercial se determina la velocidad media del flujo en la tubería escogiendo para esto el diámetro inmediato superior comercial y utilizando la ecuación de continuidad tenemos:

$$V = \frac{4 \cdot Q_b}{\pi \cdot D_c^2}$$

Donde:

V : Velocidad media del agua a través de la tubería (m/s).



$D_c$  : Diámetro interior comercial de la sección transversal de la tubería (m).

$Q_b$  : Caudal de bombeo igual al caudal de diseño ( $m^3/s$ ).

Si la velocidad no se encuentra dentro de los rangos permitidos para líneas de impulsión que son definidos en la sección de criterios y parámetros de diseño, el diámetro se cambia a uno en el cual se cumpla estas exigencias.

### 4.1.3 Pérdida de Carga en Tuberías

Las pérdidas de carga que se presentan en las líneas de Impulsión se dividen básicamente en dos tipos que se definen a continuación.

#### 4.1.3.1 Pérdida de Carga por Fricción

Obtenido la velocidad de flujo se procede al calculo de la pérdida de carga por fricción en la línea utilizando para esto la ecuación de Hazen-Williams expresada como sigue:

$$Q_b = 0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63} \cdot S^{0.54}$$

$$S = \left[ \frac{Q_b}{0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63}} \right]^{1.85}$$

$$H_f = S \cdot L$$

Donde:

$Q_b$  : Caudal de bombeo ( $m^3/s$ ).

$C$  : Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.

$D_c$  : Diámetro interior comercial de la tubería seleccionada (m).

$S$  : Pendiente de la línea de energía o gradiente Hidráulico (m/m).

$H_f$ : Pérdida de carga por fricción (m)

$L$  : Longitud de tubería con diámetro cte. (m).

Estas ecuaciones que nos permiten determinar la velocidad media y la pérdida de carga por fricción nos dan la posibilidad de identificar, para un diámetro determinado con una clase de tubería seleccionada, si estamos dentro de los intervalos establecidos según los criterios y parámetros de diseño estandarizados para flujo en tuberías.

Estos criterios están relacionados a la velocidad del flujo y a la capacidad de carga que la tubería puede soportar incluyendo la sobrepresión que resulta de un fenómeno denominado golpe de ariete el cual esta condicionado al tiempo de cierre de las válvulas de control de flujo a la salida de la bomba por corte súbito de la energía.

Lo anterior nos sirve como un instrumento de decisión para descartar o confirmar que el diámetro determinado para el caudal de bombeo sea el adecuado según los criterios de diseño para las condiciones de trabajo optimas en la tubería evitando que se originen pérdidas de carga superiores a las que se requerirían para la conducción del flujo.

#### 4.1.3.2 Pérdidas de Carga Local

Además de la pérdida de carga por fricción también se presenta en la línea de impulsión pérdidas de carga denominadas locales producto del paso de flujo a través de los accesorios instalados en la línea y/o al cambio de dirección y/o sección en sus tramos.

La determinación de las pérdidas locales son evaluadas, sólo en el caso de ser necesarias por la cantidad de accesorios o velocidades altas en la línea.

Para esta evaluación se utiliza el teorema de Borde-Belanger.

$$H_l = \sum k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Donde k depende del accesorio por donde transita el flujo (codos, válvulas, entradas, salidas, reducciones, tes, yes, uniones, etc).

#### 4.1.4 Potencia de Impulsión

Establecidas las pérdidas se procede a calcular la potencia necesaria para impulsar la columna de agua desde el pozo al reservorio.

Para esto es necesario conocer ciertos parámetros como:

**Caudal de bombeo ( $Q_b$ )** .- Es aquel caudal requerido para abastecer al reservorio y que es producido por el pozo con un cierto descenso en el nivel de agua respecto del nivel estático cuando se realiza la extracción del acuífero.

A este nivel de descenso se le denomina nivel dinámico y se obtiene de las pruebas de bombeo que se realiza al pozo antes de la puesta en operación.

**Altura dinámica total (HDT)** .- Representado por la diferencia del nivel máximo de las aguas en el sitio de llegada (nivel máximo de descarga al reservorio) y el nivel dinámico del pozo incluido las pérdidas de carga totales (fricción y locales) desarrolladas durante la succión y descarga. También se obtiene por la sumatoria de la altura de impulsión mas altura de succión.

**Altura de impulsión**.- Se obtiene por la diferencia de niveles entre la llegada de las aguas en el reservorio y el eje de la bomba mas las pérdidas de carga (fricción y locales) de dicho tramo.

**Altura de succión**.- Se obtiene por la diferencia de niveles entre el eje de la bomba y el nivel mínimo del agua en la fuente (nivel dinámico del pozo) mas las pérdidas de carga del tramo (fricción y locales).

La altura de succión esta condicionada por el valor de la presión barométrica en el lugar de instalación del equipo y de la presión que se origina en la entrada del impulsor el cual debe ser mayor a la presión de evaporación del agua para que no se produzca el fenómeno de cavitación, que causa en los alabes del impulsor impactos que pueden provocar su destrucción en las zonas donde ello ocurre.

Las pérdidas de carga por fricción y locales son fundamentales en la determinación de la altura dinámica total para la obtención de la potencia que se empleará en el equipo de bombeo.

#### 4.1.4.1 Potencia de Consumo

La Energía que requiere la bomba para su normal funcionamiento es conocida como Potencia de Consumo ( $P_c$ ) y es calculada por la expresión:

$$P_c (HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_b}$$

Donde:

HDT: Altura dinámica total (m).

$Q_b$  : Caudal de Bombeo (l/s).

$\eta_b$  : Eficiencia de la bomba (%).

#### 4.1.4.2 Potencia Instalada

El motor que se acopla a la bomba para su funcionamiento necesita una energía denominada potencia Instalada ( $P_i$ ) y es calculada por la expresión:

$$P_i (HP) = \frac{100 \cdot Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta_c}$$

Donde:

$\eta_c$  : Eficiencia del sistema en conjunto bomba-motor (%).

$$h_c = h_b \cdot h_m$$

Eficiencia de la bomba obtenida por la transformación de la energía mecánica de rotación en energía potencial de fluido y la eficiencia del motor obtenida de la transformación de la energía eléctrica en energía mecánica de rotación componen la eficiencia del sistema de conjunto que describe el grado de aprovechamiento



energético que tiene un sistema al suministrarle una energía determinada, y como este llega a convertirla en energía útil ganada por el fluido.

#### 4.1.5 Del Análisis de Sensibilidad Económica - Diámetro Económico

Al ser el diseño de la línea de impulsión un problema básicamente de costos relativos al diámetro de la tubería, calidad y potencia del sistema de bombeo es necesario el análisis económico de varias alternativas de diseño para resolverlas y escoger la que nos proporcione el menor costo de total.

Estos costos totales están compuestos por varios tipos de costos en el sistema:

Costo total de tubería instalada (adquisición, transporte, instalación y testeado) que se calcula como:

$$\text{Costo Total de Tubería Instalada (US\$)} = \text{Costo Tubería} \left( \frac{\text{US\$}}{\text{m}} \right) \times \text{Longitud total tubería (m)}$$

Costo total del equipo de bombeo instalado (adquisición, transporte, instalación, mantenimiento, costo energético consumible, y testeado) que se calcula utilizando los coeficientes de costos del equipo (K, a) y su potencia instalada (HP).

$$\text{Costo Total Equipo Instalado (US\$)} = K \times (P_i)^a$$

Costo Anual de Operación (Energía consumida) que se calcula de acuerdo a la potencia instalada y al costo de energía por kW-h/año.

$$\text{Costo Anual Operación (US\$)} = \frac{\text{Horas de Bombeo}}{\text{Año}} \times P_i (\text{kW}) \times \text{Energía} \left( \frac{\text{US\$}}{\text{kW-hora}} \right)$$

Costo Anual de Mantenimiento (Repuestos, insumos, personal, herramientas, etc).

Para la obtención de la mejor alternativa de menor costo es necesario llevar los costos anteriores a sus valores presentes de acuerdo al horizonte de anualidades condicionado por el tiempo de vida útil del equipo de bombeo y tubería.

Los Valores Presentes (V.P.) se resumen como:

Valor Presente de Inversiones Totales.- conformado por la suma del costo total de tubería mas el costo total del equipo.

Valor Presente de Reposiciones Totales.- conformado por la diferencia del Costo de Inversiones totales en un plazo de anualidades a la tasa de descuento y V.P. de Inversiones totales.

Los costos anualizados a una tasa de descuento pueden ser calculados con la siguiente expresión:

$$V.P. \text{ Reposiciones Totales (US\$)} = VP \text{ Inversiones Totales (US\$)} \cdot \left[ \left( \frac{i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right) \cdot N - 1 \right]$$

Donde:

$i$  : Tasa de descuento equivalente al 12% establecido por el BID

$N$  : Número de anualidades (Tiempo de vida útil del equipo de bombeo).

Valor Presente de Explotación Totales.- conformado por el V.P. de la suma de los Costo de operación y mantenimiento anualizados de acuerdo a la tasa de descuento. Esta regido por la siguiente expresión:

$$V.P. \text{ Explotacion Total (US\$)} = \text{Costo Anual } O \text{ y } M \text{ (US\$)} \cdot \left[ \frac{i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right]^{-1}$$

Finalmente la elección del diámetro se hará en función al menor V.P. Total siendo este el resultado de la sumatoria de todo los V.P. anteriores.

## 4.2 De la Selección del Equipo de Bombeo

### 4.2.1 Curvas Característica Red y Bomba - Punto Óptimo de Operación

De aquel análisis de costos para varias alternativas con diámetros cercanos al calculado con la fórmula de Bresse (diámetros comerciales) se determina el

diámetro correspondiente al menor costo, es decir diámetro económico con lo cual podremos luego construir la curva característica de la red compuesta por la línea de impulsión y succión, y confrontarla con la curvas características del equipo de bombeo escogido en el desarrollo del análisis de sensibilidad económica para el diámetro económico, y así determinar el punto óptimo de operación del sistema (eficiencia > 50%).

La curva característica de la red esta compuesta por diferentes alturas  $H_{Red}$  que puede alcanzar el agua a diferentes caudales. Esta se rige mediante la ecuación:

$$H_{Red} = H_{Geo} + H_{Res} + H_{Pérdidas\ Fricción} + H_{Pérdidas\ Locales}$$

Donde  $H_{Pérdidas\ Fricción}$  y  $H_{Pérdidas\ Locales}$  representan las pérdidas de carga por fricción y local en la red respectivamente.

$$S = \left[ \frac{Q_b}{0.2785 \cdot C \cdot D_c^{2.63}} \right]^{1.85}$$

$$H_{Pérdidas\ Fricción} = H_f = S \cdot L \quad y \quad H_{Pérdidas\ Locales} = H_l = \sum k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

La ecuación de la curva característica de la red puede ser finalmente expresada en función de los caudales (Q) en m<sup>3</sup>/s:

$$H_{Red} = H_{Geo} + H_{Res} + K_{Fricción} \cdot Q^{1.85} + K_{Local} \cdot Q^2$$

$$K_{Fricción} = \frac{L}{\left[ 0.2785 \cdot C \cdot D^{2.63} \right]^{1.85}} \quad y \quad K_{Local} = \frac{16 \cdot \sum k}{2g \rho^2 \cdot D^4}$$

En donde:

C : Coeficiente de Rugosidad de Hazen-Williams para tuberías el cual depende del tipo de tubería a utilizar.

L : Longitud de la tubería (m).



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

$D$  : Diámetro interior de la tubería (m).

$k$  : Coeficiente de pérdida local en accesorios.

$H_{Geo}$  : Carga estática o Altura geométrica (m).

$H_{Res}$  : Carga o Altura de reserva (m).

Las curvas características de la electrobomba son proporcionadas por el fabricante o proveedor de acuerdo al tipo de aplicación que se le dé al equipo.

Confrontando estas curvas se obtiene un punto en donde ambas se interceptan, es decir el caudal  $Q$  reemplazado en ambas ecuaciones de curvas nos da un único valor de  $H$ , a este punto se le denomina punto óptimo de operación.

Como la curva característica de la red puede interceptarse con mas de una curva característica de equipos de bombeo similares producto de varias pruebas con diferentes diámetros del impulsor, tendremos un punto óptimo de operación para cada una de estas curvas.

El punto óptimo de operación debe de ser aquel que caiga en la zona de rendimiento máximo y donde  $Q$  y HDT del punto óptimo sean mayores o iguales al  $Q$  y HDT de diseño. Además la Potencia de consumo de la bomba ( $P_c$ ) seleccionada debe ser menor o igual a la potencia de consumo calculada en el análisis económico.

Este punto óptimo de operación determinará el diámetro que debe de tener los impulsores, la altura de succión neta positiva y la potencia optima a las revoluciones del equipo bomba-motor.

Con esto ya se tendría una solución de mínimo costo y alto rendimiento operativo que cumplan con todas las condiciones de diseño para asegurara el abastecimiento desde el pozo al reservorio.



#### 4.2.2 Coeficiente de velocidad especifica

El desempeño del equipo de bombeo (bomba-motor), puede ser obtenido mediante un parámetro conocido como el coeficiente de velocidad especifica dado por la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{3.65 \cdot N \cdot \sqrt{Q_b}}{H^{3/4}}$$

Donde:

N : Revoluciones del equipo de bombeo.

H : Altura dinámica total.

Q<sub>b</sub>: Caudal de bombeo.

El coeficiente de velocidad especifica (Ns) debe caer en la zona de buen rendimiento que se muestra en las graficas proporcionada por el fabricante.

Si Ns cae a la izquierda de esta zona se debe elegir otro equipo con revoluciones mayores para aumentar su rendimiento, pero si el equipo elegido presenta una velocidad rotacional de 3600 rpm la posibilidad de aumentar ésta redituaría en un aumento considerable de costos, tamaño y peso que talvez no justificaría el aumento en el rendimiento, por tal motivo debe de mantenerse el equipo elegido ya que aunque presenta un rendimiento inferior al esperado cumple con las condiciones de operación exigidas.

#### 4.3 Análisis de Flujo Transitorio - Fenómeno de Golpe de Ariete

Es un fenómeno que ocurre cuando se interrumpe súbitamente la energía que propulsa la columna de agua en la línea de impulsión o por el cierre rápido de la válvula de regulación de flujo a la salida de la bomba ocasionando una presión interna a todo lo largo de la tubería, la cual es recibida en la paredes de la tubería y los accesorios como un impacto.

Al cerrar instantáneamente o parar el equipo de bombeo, la compresión del agua y expansión de la tubería comienza en el punto de cierre, transmitiéndose hacia arriba a una velocidad determinada por la expresión:

$$a = \sqrt{\frac{1}{r \cdot \left( \frac{1}{e} + \frac{d}{e \cdot E} \right)}}$$

Donde:

$a$  : Velocidad de propagación de la onda (m/s).

$\rho$  : Densidad del liquido ( $\text{kg/m}^3$ ).

$d$  : Diámetro interior de la tubería (m).

$e$  : Espesor de la tubería (m).

$\epsilon$  : Modulo de elasticidad del agua ( $2.00 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ).

$E$  : Modulo de elasticidad de tracción del material que compone la tubería ( $\text{N/m}^2$ ).

El tiempo de propagación de la onda (ida y vuelta) es conocido como tiempo crítico y se expresa como:

$$T_c = \frac{2L}{a}$$

Donde:

$T_c$  : Tiempo crítico o de propagación de la onda en cierre instantáneo (s).

$L$  : Longitud de la tubería por donde transita la onda (m).

Si el tiempo de cierre de la válvula es menor al tiempo crítico entonces la presión irá aumentando hasta el cierre completo de la válvula y dicho valor será entonces considerado como el de un tiempo de cierre instantáneo

En el diseño de la línea de impulsión se debe considerar la sobrepresión que se genera por efecto del golpe de ariete como medida de seguridad por una posible desconexión del fluido eléctrico que alimenta al motor de la bomba. Por eso es fundamental el estudio de este fenómeno para poder determinar la clase de tubería a utilizar que pueda soportar esta sobrepresión sin mayores inconvenientes, sin la necesidad de instalar accesorios de seguridad como válvulas especiales que contrarresten el impacto del golpe de ariete elevando por consiguiente el costo total de inversión.

La sobrepresión por este efecto se calcula para un cierre instantáneo que genera una presión mayor que la originada por un tiempo de cierre gradual, es decir un tiempo mayor al tiempo crítico regulado por la válvula de control y se expresa como:

$$\Delta H_a = \frac{V \cdot a}{g}$$

Donde:

$\Delta H_a$  : Carga por sobrepresión (m.c.a).

V : Velocidad del flujo en la tubería (m/s).

g : Constante de aceleración de gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

Entonces con la determinación de la sobrepresión por efecto del golpe de ariete la carga que debería soportar la línea en su punto mas bajo estará dada por la siguiente expresión:

$$P_{m \acute{a}x} = \Delta H + \Delta H_a$$

Donde:

$P_{m \acute{a}x}$  : Presión máxima en el punto mas bajo de la tubería (m.c.a).

$\Delta H$  : Diferencia de nivel entre el punto donde llega el agua (reservorio) y el punto mas bajo de la tubería igual a la carga estática en ese punto (m.c.a).



$\Delta H_a$  : Carga por sobrepresión por efecto del golpe de ariete (m.c.a).

La tubería entonces debe ser elegida considerando el espesor y el material del que esta compuesta para soportar dicha presión máxima con el diámetro calculado.

## 4.4 De la Cimentación

### 4.4.1 Comportamiento de Tuberías Enterradas

En el diseño de las tuberías flexibles enterradas es muy importante la carga que soportara la tubería debido al relleno que se coloca sobre la clave del tubo.

Esta carga no solo se distribuye al tubo sino que también hacia las paredes verticales de la zanja.

La carga de relleno que actúa sobre la tubería se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \gamma \cdot HR + Po$$

Donde:

P : Presión debida al peso del suelo a la profundidad HR incluida la Presion por Carga Viva  $Po$ .( $kg/m^2$ ).

$\gamma$  : Peso específico del suelo ( $kg/m^3$ ).

HR: Profundidad del relleno sobre la corona del tubo (m).

$Po$  : Carga viva por vehículo de eje simple ( $kg/m^2$ ).

La carga viva se considera en  $957 kg/m^2$  para un vehículo de eje simple que transita sobre el terreno del tendido de la tubería a la profundidad  $HR = 2.0$  m.

Además la carga de relleno produce un esfuerzo de compresión en las paredes del tubo que se obtiene con la expresión:

$$s_c = \frac{9.81 \cdot P \cdot D}{2 \cdot 1000 \cdot A}$$

Donde:

$\sigma_c$  : Esfuerzo de compresión en la pared del tubo (kN/m<sup>2</sup>).

A : Area de sección de la pared del perfil por unidad de longitud (m<sup>2</sup>/m).

D : Diámetro de exterior de la tubería (m).

Este esfuerzo de compresión no debe sobrepasar el  $\sigma_{\max}$  de compresión en la tubería, por lo tanto el factor de seguridad al límite de este esfuerzo en la pared es:

$$h_{cru} = \frac{s_{\max}}{s_c} > 2$$

#### 4.4.2 Diseño de Anclajes

Básicamente esta referido al diseño de los anclajes para cada cambio de dirección (codos) que se presente en la línea de impulsión y en los accesorios como tees, yees, reducciones, válvulas, etc.

Para esto debemos calcular las fuerzas que intervienen predominantemente en dichos componentes siendo la fuerza resultante R en kg debido al empuje por presión de agua (Presión estática mas sobrepresión por golpe de ariete) las más significativa y que para fines prácticos se utiliza en el dimensionamiento del anclaje:

$$R = \frac{p \cdot D^2 \cdot g \cdot H_p \cdot \text{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right)}{2}$$

$$H_p = 1.5 \cdot H$$

Donde:

D : Area de la sección de la tubería (m).



$\gamma$  : Peso específico del agua ( $\text{kg/m}^3$ ).

$H_p$  : Carga de prueba hidráulica en el accesorio (m).

$H$  : Carga nominal de trabajo en el accesorio (m).

Luego con  $R$  calculamos el área de la superficie de contacto del bloque de anclaje mediante la siguiente expresión:

$$A_B = \frac{R}{s_{adm}}$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  : Tensión admisible del terreno que tiene contacto con el área de la base del bloque y que puede ser horizontal a la pared de la excavación, o verticalmente al fondo de la excavación según el cambio de dirección ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$A_B$  : Área de contacto del bloque con mayor capacidad de distribución del empuje transmitido al sistema anclaje-suelo ( $\text{cm}^2$ ).

Ya con el área calculada podemos asumir las dimensiones mínimas de la sección de contacto ( $L \times W$ ). La tercera dimensión ( $N$ ) se obtiene de acuerdo al cambio de dirección horizontal o vertical de la superficie de contacto, ya que esta condicionada al ancho de la zanja y/o al diámetro del tubo.

En forma práctica se puede determinar las dimensiones del bloque de anclaje vertical como una función del diámetro nominal del tubo ( $DN$ ).

$$L = W = 1.5 \times DN$$

$$N = 1.2 \times DN$$



Debiéndose comprobarse posteriormente si se cumple la condición de mayor área efectiva :

$$A_{B-efectiva} = L \times W > A_B$$

Por último, el anclaje puede adoptar diversas formas de acuerdo al accesorio y al cambio de dirección, estando muchos de ellos normalizados para obras de abastecimiento de agua potable y alcantarillado.

La forma mas común es la de un tronco piramidal que consta de 4 dimensiones características (L, W, T y F).

Las 2 primeras (L y W) son establecidas por las formulas descritas para el área de la base del bloque, mientras que las 2 últimas se obtienen en función del diámetro Nominal (DN) y la tercera dimensión (N).

$$T = (N - 0.2 \times DN)$$

$$F = (N - \frac{DN}{2})$$

## 5. PLANTEAMIENTO TÉCNICO

---

### 5.1 Estudios Preliminares

Antes de realizar el calculo de las dimensiones y parámetros del diseño de la línea de impulsión y de la selección del sistema de bombeo se debe realizar actividades de recolección de información.

Una inspección visual de la zona y reconocimiento de las instalaciones con el propósito de determinar que parte de estas están aun en buenas condiciones para seguir operando y cuales necesitan ser reemplazadas por otras que brinden mayor tiempo de operación planteado por la demanda futura de la población y con una garantía de funcionamiento a bajo costo de mantenimiento.

La inspección visual también permite determinar si la fuente de energía con que se dispone actualmente para el funcionamiento del equipo de bombeo se encuentra en condiciones de operatividad o requerirá realizar un cambio en el sistema que abarate los costos de inversión, es decir si se cuenta con suministro de energía eléctrica con fácil acceso o si se deberá contar con grupos electrógenos que trabajen con combustibles líquidos.

Luego del reconocimiento se procede a realizar los estudios de campo:

- ♦ Levantamiento topográfico en la zona por donde atravesara nueva línea de impulsión y sus alrededores.
- ♦ Estudio hidrogeológico de la zona del acuífero en las proximidades del pozo.

El estudio topográfico esta orientado a determinar:

- Las características del perfil del terreno y la ruta que va a seguir la nueva línea de impulsión.
- Los niveles que debe vencer la columna de agua para llegar al reservorio.



- El punto del terreno en donde la línea soportara la máxima presión de carga considerando el efecto del golpe de ariete.

El estudio hidrogeológico nos proporciona:

- Las características y capacidades del suelo que va a soportar las presiones incluido el peso de la nueva línea de impulsión sin que corra riesgos de desplazamientos por condiciones de operación o eventos sísmicos.
- Las condiciones actuales del pozo (dimensiones).
- Las reservas totales y explotables actuales del acuífero.
- El rendimiento del pozo.
- Los niveles estáticos y dinámicos del pozo.
- La Profundidad del pozo.
- La calidad del agua que suministra el acuífero.

La información necesaria para la selección del equipo de bombeo y del diseño de la línea de impulsión obtenida de los estudios se plasma en el cuadro N° 04.

*Cuadro N° 04. Información básica para el diseño*

COTA LLEGADA RESERVORIO (m.s.n.m)	COTA POZO (m.s.n.m)	NIVEL BOMBEO (m.s.n.m)	DIÁMETRO POZO (mm)	PROFUNDIDAD POZO (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	CAUDAL BOMBEO (l/s)	HORAS BOMBEO
62.12	15.79	1.79	300	40	6	14	35	18

El caudal de bombeo que se presenta en el cuadro N° 04 es el caudal actual extraído del pozo P-03 y se ha considerado como el caudal de diseño para la línea de impulsión durante las dos etapas de expansión proyectadas en el estudio

definitivo, ya que el reservorio R-2A a donde llega este caudal no presentara déficit de almacenamiento a lo largo de las 2 etapas proyectadas como se indica en el cuadro N° 05.

De igual modo se empleara este caudal para la selección del equipo de bombeo considerando un tiempo de vida útil de 10 años.

Cuadro N° 05. Déficit de almacenamiento

LIMITE	ZONA DE ABASTECIMIENTO	RESERVORIOS EXISTENTES	VOLUMEN RESERVORIOS EXISTENTES (m <sup>3</sup> )	I ETAPA (2008)				II ETAPA (2009)				DÉFICIT (m <sup>3</sup> )	
				ALMACENAMIENTO REQUERIDO (m <sup>3</sup> )				ALMACENAMIENTO REQUERIDO (m <sup>3</sup> )					
				REGULACIÓN	INCENDIO	RESERVA	TOTAL	DÉFICIT (m <sup>3</sup> )	REGULACIÓN	INCENDIO	RESERVA		TOTAL
Chimbote Norte	Zona 1	R-4	600	173	120	35	31895	381.05	185	130	28	302.75	-267.25
	Zona 2	R-5	350	293	120	148	562.50	-212.90	319	130	160	598.50	-248.50
	Zona 3 y 4	R-2A y R-2B	12000	6123	240	929	7330.45	-4649.55	7591	240	1138	8069.65	-3030.35
	Zona 5 y 6	R-3 y R-3A	4650	4078	240	612	4829.70	-279.70	7130	240	1070	8439.50	-3789.50
	Zona 7	R-3B	2000	494	240	74	808.10	1191.90	659	240	99	997.85	1002.15
Chimbote Sur	Zona 9A	Bellavista		254	120	53	327.10	-327.10	795	130	119	1004.25	-1004.25
	Zona 9D	Gardes	200	380	120	54	33400	-334.00	883	130	133	1137.75	-927.75
	Zona 8, 9C y 9E	R-6 <sup>a</sup> y R-6B	3200	4492	240	674	5405.80	-2385.80	7718	240	1158	8113.70	-5913.70

Fuente: BCBOM/ OISTASOCIADOS

Nota: Los volúmenes de almacenamiento requeridos en cada una de las etapas de expansión se calculan de acuerdo a la demanda máxima diaria de la población para cada zona de distribución por reservorio.

## 5.2 Parámetros y Criterios de Diseño

Antes de la determinación de las características del sistema de suministro, se debe tener en cuenta en el diseño ciertos criterios y parámetros que permitan dar seguridad y condiciones de servicio a un mínimo costo de inversión.

Son estos criterios y parámetros los que se explican a continuación.



### 5.2.1 De la Línea de Impulsión

Para las líneas de impulsión se toma como base una serie de criterios y parámetros, partiendo de las condiciones a las que se encontrará sometida la tubería, como su entorno y el tipo de fluido que conducirá.

Partiendo de datos básicos como caudal, longitud y desnivel entre el punto de carga y de descarga, se parte en la elección de:

#### a) Material de la tubería

El material de la tubería es escogido por factores económicos, así como de disponibilidad de accesorios, y características de resistencia, ante esfuerzos que se producirán en momento de su operación.

- PVC para diámetros hasta 250 mm, clase 10 o clase 15 (Normas ISO 4422).
- FFD para diámetros de 300 mm a mayores, clase k-9 (Normas ISO 2531).
- Accesorios de FFD k-9 en todos los casos, para presiones de servicio mayores a 10 bars (Normas ISO 2531).

Se evaluará el material de tubería a utilizar cuando la corrosividad sea especialmente agresivo, es decir para cuando el contenido de sales solubles, ion sulfatos y ion cloruros del terreno sean superiores a 1000 ppm y el pH del subsuelo estar fuera de los límites comprendidos entre 6 y 8.

#### b) Diámetro de la tubería

Los criterios de elección del diámetro se basan en un análisis técnico – económico.

##### b.1) Criterio Técnico

Para determinar las pérdidas de carga por fricción se utilizó la fórmula de Hazen



Williams, utilizando los coeficientes de rugosidad que se indican posteriormente.

La elección de la dimensión del diámetro depende también de la velocidad en el conducto, en donde velocidades muy bajas permiten sedimentación de partículas y velocidades altas producen vibraciones en la tubería, así como pérdidas de carga importantes, lo que repercute en un costo elevado de operación.

Las velocidades recomendables son:

- Líneas de Conducción de 0.6 m/s a 3 m/s.
- Líneas de Impulsión de 0.6 m/s a 2.0 m/s.

#### b.2) Criterio Económico

El cálculo económico, está basado en:

- Datos de inversión Inicial
- Costo de la tubería instalada por metro lineal.
- Costo del equipo de bombeo instalado por cada HP o kW.
- Datos de inversión por explotación
- Costo anual de operación.
- Intereses devengados por Inversión.
- Valor Presente de Operación en 10 años

Para su evaluación se toma como información los siguientes datos:

- ❖ Caudal de bombeo.
- ❖ Longitud de la línea de impulsión.
- ❖ Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams.
- ❖ Niveles de succión y descarga.
- ❖ Tasa de descuento (12% establecida por el BID)



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

- ❖ Coeficientes de la función costos para equipo (a, k)
- ❖ Precio Equipo Instalado= $k \times (\text{potencia instalada de la bomba})^a$ .
- ❖ Costos de energía en kW/hora.
- ❖ Horas de funcionamiento de la bomba.

c) Coeficientes de rugosidad - C

Empleado para calculo de la perdida de carga por fricción con la formula de HAZEN – WILLIAM y que depende del tipo de tubería a utilizar.

- Tubos de PVC : Nuevo C = 135  
Antiguo C = 110
- Tubos de FFD : Nuevo C = 130  
Antiguo C = 100

d) Deflexiones en Tuberías de unión flexible

- Tuberías de PVC

Se considera que no existe deflexión en las uniones de este tipo, la deflexión se considera en el cuerpo del material y nunca mayor de 30 cm en diámetros menores a 110 mm, y en diámetros mayores hasta un máximo de 12 cm por tubo de 6 m de largo.

- Tuberías de FFD

Se puede realizar desviaciones en las uniones de 5° en diámetros hasta 150 mm, de 4° en diámetros de 200 a 300mm, 3° en diámetros de 350 mm a 600 mm y de 2° de 700 mm a 800 mm.

e) Pendientes mínimas

El diseño de las líneas de impulsión se ha realizado considerando la operación del sistema, de tal manera que facilite la acumulación de aire en las partes altas



pronunciadas, en donde se instalarán elementos que aseguren la evacuación de éste.

Se recomienda pendientes mínimas de:

- 2 a 3 mm/m en las partes ascendentes.
- 4 a 6 mm/m en las partes descendentes.

Estando sujeto esto a la configuración de la topografía.

f) Válvulas de Aire – Ventosas (evacuación y admisión de aire)

Las condiciones de funcionamiento, la cantidad y el emplazamiento de estos hacen difícil el dimensionamiento, por lo que se elegirá de manera clásica la ubicación y dimensionamiento de estas válvulas:

Ubicación:

- En todos los puntos altos.
- Cambio de pendiente ascendente a descendente.
- En puntos donde la tubería sale sobre el suelo (Ejm.: Casetas, cámaras, etc)

Dimensionamiento de acuerdo al diámetro del conducto:

- ❖ DN < 250 mm - Ventosas de DN 60 mm.
- ❖ DN 300 mm a 600 mm - Ventosas de DN 80 mm.
- ❖ DN 700 mm a 900 mm - Ventosas de DN 150 mm.

El caso de desniveles importantes se realizará un cálculo en forma particular.

g) Válvulas de Purga

Las válvulas de purga se ubicarán en los puntos bajos de la tubería.

La elección se realizará teniendo en cuenta la velocidad de drenaje, recomendándose:

- ❖ DN 100 mm a 400 mm - Válvulas de DN 100 mm.



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

- ❖ DN 400 mm a 600 mm - Válvulas de DN 150 mm.
- ❖ DN 700 mm a 1000 mm - Válvulas de DN 200 mm.

Además la cruceta de cierre debe ser colocada como mínimo a 60 cm bajo la superficie del terreno.

#### h) Válvulas de Seccionamiento

Las válvulas de seccionamiento serán ubicadas teniendo en cuenta la operatividad del sistema.

- Válvulas Compuerta hasta tuberías de 250 mm.
- Válvulas Mariposa desde tuberías de 300 mm.

#### h) Profundidades de excavación y altura de relleno

Se considera profundidades de excavación en el rango de 1.35 m a 2.5 m y una altura de relleno mínima de 1.0 m encima de la clave del tubo.

### **5.2.2 Del sistema de bombeo**

#### a) Planeamiento de las estaciones de bombeo

La ubicación de la estación de bombeo obedece a criterios de mayor ahorro de energía, a fin de que el costo de operación, así como el tamaño de los equipos de bombeo sean de la menor dimensión posible para que cumplan en forma eficiente con las demandas del sistema en los momentos de máxima demanda al final del horizonte de diseño.

Para el diseño de la estación de bombeo se han considerado los siguientes aspectos:

- El equipo de bombeo (conjunto motor bomba).
- El calculo de la velocidad especifica.



b) Selección del conjunto motor-bomba

*b.1) Número de Unidades*, el número de unidades dependerá fundamentalmente del gasto de bombeo y de sus variaciones.

Cuando se tiene un gasto constante a lo largo del período de diseño, es preferible instalar un solo equipo de bombeo.

*b.2) Selección equipo de bombeo*, se toma fundamentalmente el caudal de bombeo al fin del período de vida útil del equipo y la altura dinámica total. Para la succión se ha verificado si se presenta altura positiva en la succión o negativa, referido a la altura sobre el nivel del mar.

*b.3) Tipo de Bomba*, los equipos que se han seleccionado son aquellos que representan la máxima eficiencia, se ha considerado la velocidad específica, así como el NPSH requerido, tensión de vapor, peso específico, las condiciones del lugar donde se instalará.

*b.4) Potencia del motor*, la potencia del motor debe ser mayor a la potencia requerida por la bomba en un 10% a 15%, lo que permitirá absorber las pérdidas por disipación de calor.

*b.5) Niveles del fluido*, el nivel mínimo del líquido deberá ser adecuado para satisfacer el diseño particular de la bomba, se emplea en todos los casos las recomendaciones del fabricante del equipo de bombeo.

c) Velocidades en las tuberías de succión y bombeo

*Líneas de bombeo*, se ha detallado los parámetros de las líneas de bombeo en el ítem correspondiente a líneas de impulsión.

*Líneas de succión*, se recomienda que las velocidades de flujo sean menores a 2,5 m/s y la velocidad de rotación del impulsor no debe ser mayor a 3600 rpm.



### 5.2.3 Del Estudio de Flujo en Régimen Transitorio

En el estudio del flujo en régimen transitorio como el que se presenta debido al fenómeno denominado golpe de ariete es práctica común utilizar celeridades de 1000 a 1200 m/s para tuberías de FFD y 500 m/s para tuberías de PVC.

Aunque se puede utilizar estos valores de celeridades en forma rápida para determinar la sobrepresión es recomendable realizar el cálculo de la celeridad de forma más precisa con datos propios a cada tubería.

Para controlar efectos de subpresión es suficiente la utilización de válvulas de aire (admisión de aire), siendo innecesaria la utilización de otro dispositivo de protección.

### 5.2.4 De la Cimentación

#### a) Profundidad mínima

El bloque de anclaje para el cambio de dirección en tuberías enterradas debe de ser colocado por lo menos a 60 cm bajo la superficie del terreno.

#### b) Anclajes para accesorios y tuberías

A fin de contrarrestar el empuje que pueda presentarse debido a la presión interna de la tubería deberá diseñarse anclajes de concreto en:

- Cambios de dirección.
- Cambios de diámetro.
- Válvulas.
- Terminales de línea taponadas.
- Curvas verticales.



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

Las dimensiones y forma de los anclajes se determinarán teniendo en cuenta la presión de la línea, el diámetro del tubo, clase del terreno y tipo de accesorio.

El área o superficie de concreto del anclaje deberá dimensionarse de modo que el esfuerzo o carga unitaria que se trasmite al terreno, no supere la carga de resistencia admisible dada por cada terreno.

La fuerza centrífuga por la velocidad del agua no se considera en el cálculo de las dimensiones del bloque de anclaje por ser pequeña en comparación con las fuerzas de empuje por presión del agua.

La presión de diseño para el dimensionamiento del anclaje es 1.5 veces la presión nominal de operación en el punto de análisis.

## 6. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO

---

### 6.1 Memoria de Calculo de la Línea de Impulsión

#### 6.1.1 Calculo del Diámetro y Pérdidas de Carga

Una vez conocidos los criterios y parámetros se procede al calculo del diseño propiamente dicho de la línea de impulsión.

La nueva línea se ha dividido en seis tramos desde el pozo P-03 hasta el reservorio R-2A para facilitar el proceso de calculo de las pérdidas locales y de fricción que permiten determinar la altura dinámica total del sistema.

El tramo de estudio para el desarrollo del calculo esta referido al tramo 4, el cual es el tramo de la línea de impulsión ha ser reemplazada.

Los valores obtenidos del calculo para este tramo y los otros tramos se presentan en la tabla N° 01 resumidas en el capítulo resultados.

Empleando la formula de Bresse para bombeo discontinuo calculamos el diámetro que tendrá la nueva tubería de PVC (tramo 4).

Utilizando los parámetros obtenidos de los estudios preliminares:

Caudal de bombeo ( $Q_b$ ) : 35 l/s

N° de horas de bombeo (N) : 18

$$D = 0.5873 \cdot \left(18 \frac{\text{horas}}{\text{día}}\right)^{0.25} \cdot \sqrt{0.035 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$D = 0.226 \text{ m}$$

En este caso el valor obtenido corresponde al diámetro interior de una tubería comercial de PVC de diámetro nominal DN 250 mm (10”).

La velocidad del flujo se obtiene aplicando la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{4 \cdot (0.035 \frac{m^3}{s})}{\pi \cdot (0.226 m)^2}$$

$$V = 0.87 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad es mayor a 0.6 m/s y menor a 2 m/s, es decir se encuentra dentro del rango de velocidades permisibles según criterios de diseño.

La pérdida de carga por fricción se calcula empleando la formula de Hazen-Williams descrita en el planteamiento teórico, siendo aplicada al tramo 4 de estudio, con los siguientes datos:

Longitud del tramo (L): 976.32 m.

Coefficiente de rugosidad C para tubería nueva de PVC : 135

$$H_f = \left[ \frac{0.035 \frac{m^3}{s}}{0.2785 \cdot 135 \cdot (0.226 m)^{2.63}} \right]^{1.85} \cdot 976.32 m$$

$$H_f = 3.35 m$$

Las pérdidas locales se determinan utilizando el teorema de Borde-Belanger teniendo en cuenta los accesorios y el cambio de dirección de los tramos de tubería durante su instalación.

Para el tramo 4 (tubería de PVC DN 250 mm) se ha definido según el perfil de la línea, el uso de los siguientes accesorios con sus respectivos valores del coeficiente de pérdidas locales k detallados en el cuadro N° 06 obtenidos de diversos manuales y textos especializados en hidráulica.

Cuadro N° 06. Valores del coeficiente de pérdida local para accesorios.

Accesorios	Cantidad	k	Total
Codo 45°	2	0.40	0.80
Codo 11.25°	5	0.10	0.50
Codo 22.5°	1	0.20	0.20
Tee (Válvula de purga)	1	0.10	0.10
Sumatoria de k			1.60
Velocidad en el Tramo (m/s)			0.87

Entonces reemplazando los datos en la expresión de pérdida local resulta:

$$H_l = 1.60 \cdot \frac{(0.87 \frac{m}{s})^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$H_l = 0.06 \text{ m}$$

Relacionando el diámetro con la longitud de la tubería del tramo en estudio.

$$y = \frac{976.32m}{0.226m}$$

Obtendremos:

$$y = 4320$$

Con lo que se concluye que la pérdida por accesorios y cambio de dirección en el tramo de la tubería de PVC es despreciable y no debe ser tomada en cuenta en el proceso de cálculo.



Con el fin de realizar un diseño mas conservador y teniendo la información a disposición se ha optado por considerar esta pérdida local para el tramo en cuestión, aún cuando puede ser considerada despreciable.

Las pérdidas locales significativas se encuentran en los tramos de tubería FFD en la estación de bombeo y en el reservorio-Many Hall por ser en estas donde se encuentran el mayor numero de accesorios.

Los valores de estas pérdidas locales se presentan en la tabla N° 02 del capítulo resultados.

### 6.1.2 Cálculo de la Sobrepresión por Cierre Instantáneo

Empleando las ecuaciones del método de Allievi para tubería de tipo PVC DN250 PN 10 (Clase 10) se tiene los siguientes parámetros:

Resistencia Máxima a la Presión de Agua	:	100 m.c.a.
Espesor de tubería (e)	:	0.012 m.
Modulo de elasticidad del material (E)	:	$2.75 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
Modulo de elasticidad del agua (K)	:	$2.0 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
Diámetro interior (d)	:	0.226 m
Densidad agua ( $\rho$ )	:	$1000 \text{ kg/m}^3$
Constante de gravedad (g)	:	9.81 m/s
Longitud de tubería (L)	:	976.32 m
Velocidad del agua en la tubería (V)	:	0.87 m/s
Diferencia de niveles entre el punto mas alto de llegada del agua al reservorio y el punto mas bajo del eje de tubería ( $\Delta H$ )	:	49.55m

Calculamos primero la velocidad de propagación de la onda:

$$a = \sqrt{\frac{1}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left( \frac{1}{2.0 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} + \frac{0.226 \text{ m}}{(0.012 \text{ m}) \left( 2.75 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)} \right)}}$$

$$a = 368.89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El tiempo de propagación de la onda igual al tiempo de cierre instantáneo se calcula como:

$$T_c = \frac{2 (976.32 \text{ m})}{368.89 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_c = 5.3 \text{ s}$$

Obtenidos estos datos podremos calcular la carga por sobrepresión en m.c.a:

$$\Delta H_a = \frac{(0.87 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \cdot (368.89 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta H_a = 32.72 \text{ m}$$

Entonces la presión máxima en el punto mas bajo del eje de la tubería será:

$$P_{m\acute{a}x} = 49.55 \text{ m} + 32.72 \text{ m}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 82.27 \text{ m.c.a}$$

Con lo que podremos concluir que la clase escogida para la tubería de PVC (clase 10) para las condiciones de trabajo es la correcta; coincidiendo con las especificaciones técnicas y parámetros de diseño planteados en el estudio ya que la resistencia máxima de presión de agua no superará los 100 m.c.a. como se observa en los resultados de sobrepresión por efecto del golpe de ariete.

Esta tubería soportara sin problemas la sobrepresión por efecto del golpe de ariete sin la necesidad de instalar accesorios de seguridad complementarios o válvulas contrapresión elevando el costo total de inversión.

Debido a que las uniones en los cambios de dirección son de FFD las presiones que pueden soportar son mayores a las de PVC por tal motivo, estas soportaran también la sobrepresión sin problemas.

Luego de calcular estos parámetros correspondientes a la línea de impulsión es necesario determinar la potencia necesaria que requiere el equipo de bombeo para vencer la altura dinámica total y entregar el agua al reservorio de forma efectiva.

### **6.1.3 Calculo de la potencia**

#### **6.1.3.1 Potencia de consumo**

Energía entregada por la bomba al agua considerando que:

Altura dinámica total (HDT) : 68.00 m.

Caudal de Bombeo ( $Q_b$ ): 35 l/s.

Eficiencia de la bomba ( $\eta_b$ ): 78%



$$P_c = \frac{100 \cdot (35 \frac{l}{s}) \cdot (68.00 m)}{75 \cdot (78)}$$

$$P_c = 40.7 \text{ H.P.}$$

### 6.1.3.2 Potencia instalada

Energía entregada al motor considerando que:

Eficiencia del sistema en conjunto bomba-motor ( $\eta_c$ ):

Donde:

$\eta_m$  eficiencia del motor : 83%

$$h_c = 78 \% \times 83 \%$$

$$h_c = 65 \%$$

$$P_c = \frac{100 \cdot (35 \frac{l}{s}) (68.00 m)}{75 \cdot (65)}$$

$$P_c = 48.8 \text{ H.P.}$$

Calculado ya el diámetro, la clase, el tipo de tubería y la potencia del equipo de bombeo de acuerdo a los criterios y parámetros del diseño, debemos determinar los costos de cada uno de los componentes del sistema descritos en la metodología para obtener el Valor Presente de los costos totales.

### 6.1.4 Cálculo de Costos totales y Valores Presentes

Para el tramo 4 de PVC DN 250 mm procedemos a calcular los costos totales y sus respectivos Valores Presentes.

- Costo total tubería instalada (adquisición, transporte, instalación y testeo).



Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote. Choy Bejar, Víctor David

$$\text{CostoTotalTuberia (US\$)} = \left(52.23 \frac{\text{US\$}}{\text{m}}\right) \cdot (976.32 \text{ m})$$

$$\text{CostoTotalTuberia (US\$)} = 50,994$$

- Costo total equipo de bombeo (adquisición, transporte, instalación, y testeo).

$$\text{Costo TotalEquipo (US\$)} = 1211.2 \cdot (48.8 \text{ HP})^{0.7183}$$

$$\text{Costo TotalEquipo (US\$)} = 19,777$$

- Costo Anual de Operación (Energía consumida).

$$\text{Costo Anual Operacion (US\$)} = 6570 \cdot (35.9 \text{ kW}) \cdot \left(0.2 \frac{\text{US\$}}{\text{kW-h}}\right)$$

$$\text{Costo Anual Operacion (US\$)} = 47,179$$

- Costo Anual de Mantenimiento (Repuestos, insumos, personal, herramientas, etc).

$$\text{Costo Anual Mantenimiento (US\$)} = 1,000$$

- Valor Presente de Inversiones Totales.

$$\text{V.P. Inversiones Totales (US\$)} = 50,994 + 19,777$$

$$\text{V.P. Inversiones Totales (US\$)} = 70,771$$

- Valor Presente de Reposiciones Totales.

$$\text{V.P. Reposición Total (US\$)} = 70,771 \cdot \left[ \left( \frac{0.12 \cdot (1+0.12)^{10}}{(1+0.12)^{10} - 1} \right) \cdot 10 - 1 \right]$$

$$\text{V.P. Reposición Total (US\$)} = 54,483$$

- Valor Presente de Explotación Totales.



$$V.P. \text{ Explotacion Totales (US\$)} = (1,000 + 47,179) \cdot \left[ \frac{0.12 \cdot (1+0.12)^{10}}{(1+0.12)^{10} - 1} \right]^{-1}$$

$$V.P. \text{ Explotacion Totales (US\$)} = 272,223$$

- Valor Presente Costos Totales

$$V.P. \text{ Costos Totales (US\$)} = 70,771 + 54,483 + 272,223$$

$$V.P. \text{ Costos Totales (US\$)} = 397,476$$

Luego en la decisión de si éste diámetro es el correcto o no económicamente debemos calcular los costos totales para nuevas líneas calculadas con dos diámetros comerciales anteriores y dos posteriores al primer diámetro comercial determinado con la formula de Bresse.

A este procedimiento se le conoce como análisis de sensibilidad económica y nos permite identificar el diámetro a utilizar de acuerdo al menor costo total presente para la selección del nuevo equipo de bombeo.

Los valores de estos cálculos se resumen en la tabla N° 03 correspondiente al capítulo resultados. Se incluye además los valores de las pérdidas de carga por fricción y locales para los distintos diámetros comerciales alternativos.

## 6.2 Memoria de Calculo del Sistema de Bombeo

Obtenido el valor del diámetro económico procedemos a calcular la curva característica de la red compuesta por la tubería de impulsión, es decir elaborar la curva de altura gasto de la red para confrontarla con las curvas características del equipo de bombeo escogido en el desarrollo del diámetro económico y determinar el punto de operación óptimo (eficiencia bomba > 50%).

### 6.2.1 Cálculo de la Curva Característica de la red

A cada punto de la curva le corresponde un caudal y una altura dinámica total que se calcula como se describe en el planteamiento teórico.

Los caudales dados para construir la curva van desde 5 l/s a 40 l/s.

Para determinar la HDT se debe calcular las pérdidas de carga tanto por fricción como locales utilizando la fórmula de Hazen-Williams y el teorema de Borde-Belanger respectivamente.

#### Primer Punto de la curva característica de la red

Caudal inicial (Q) : 5 l/s

#### Pérdidas de carga por fricción

$$H_f = H_{f \text{ Tramo 1}} + H_{f \text{ Tramo 2}} + H_{f \text{ Tramo 3}} + H_{f \text{ Tramo 4}} + H_{f \text{ Tramo 5}} + H_{f \text{ Tramo 6}}$$

$$H_{f \text{ Tramo 1}} = \frac{19.89 \text{ m}}{[0.2785 \cdot 130 \cdot (0.150 \text{ m})^{2.63}]^{1.85}} \cdot (0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^{1.85}$$

$$H_{f \text{ Tramo 1}} = 0.015 \text{ m}$$

$$H_{f_{Tramo\ 2}} = \frac{14.09\ m}{\left[0.2785 \cdot 130 \cdot (0.150\ m)^{2.63}\right]^{1.85}} \cdot (0.005\ \frac{m^3}{s})^{1.85}$$

$$H_{f_{Tramo\ 2}} = 0.010\ m$$

$$H_{f_{Tramo\ 3}} = \frac{3.24\ m}{\left[0.2785 \cdot 130 \cdot (0.250\ m)^{2.63}\right]^{1.85}} \cdot (0.005\ \frac{m^3}{s})^{1.85}$$

$$H_{f_{Tramo\ 3}} = 0.0002\ m$$

$$H_{f_{Tramo\ 4}} = \frac{976.32\ m}{\left[0.2785 \cdot 135 \cdot (0.226\ m)^{2.63}\right]^{1.85}} \cdot (0.005\ \frac{m^3}{s})^{1.85}$$

$$H_{f_{Tramo\ 4}} = 0.091\ m$$



Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote. Choy Bejar, Víctor David

$$H_{f \text{ Tramo 5}} = \frac{8.50 \text{ m}}{\left[0.2785 \cdot 130 \cdot (0.250 \text{ m})^{2.63}\right]^{1.85}} \cdot \left(0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^{1.85}$$

$$H_{f \text{ Tramo 5}} = 0.001 \text{ m}$$

$$H_{f \text{ Tramo 6}} = \frac{26.22 \text{ m}}{\left[0.2785 \cdot 130 \cdot (0.600 \text{ m})^{2.63}\right]^{1.85}} \cdot \left(0.359 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^{1.85}$$

$$H_{f \text{ Tramo 6}} = 0.063 \text{ m}$$

$$H_f = 0.18 \text{ m}$$

#### Pérdidas de carga locales por accesorios y válvulas

$$H_l = H_{l \text{ Tramo 1-2}} + H_{l \text{ Tramo 3}} + H_{l \text{ Tramo 4}} + H_{l \text{ Tramo 5}} + H_{l \text{ Tramo 6}}$$

$$H_l = 10.45 \frac{16 \cdot (0.005 \frac{m^3}{s})^2}{2p^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.150 m)^4} + 0.80 \frac{16 \cdot (0.005 \frac{m^3}{s})^2}{2p^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.250 m)^4} +$$

$$1.60 \frac{16 \cdot (0.005 \frac{m^3}{s})^2}{2p^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.226 m)^4} + 5.10 \frac{16 \cdot (0.005 \frac{m^3}{s})^2}{2p^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.250 m)^4} +$$

$$5.05 \frac{16 \cdot (0.359 \frac{m^3}{s} + 0.005 \frac{m^3}{s})^2}{2p^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.600 m)^4}$$

$$H_l = 0.47 m$$

Reemplazando en la ecuación correspondiente a la HDT:

$$HDT = H_{Geo} + H_{Res} + H_f + H_l = 60.33 m + 0.50 m + 0.18 m + 0.47 m$$

$$HDT = 61.48 m$$

De igual forma se calcula para los siguientes puntos con los sucesivos caudales procediendo luego a graficarlos en Excel.

Los valores de estos cálculos se presentan en la tabla N° 04 del capítulo resultados.

## 6.2.2 Cálculo de la Curva Característica de la Bomba

De acuerdo a criterios de selección se ha visto conveniente el uso de un tipo de bomba con motor sumergible (electrobomba sumergible), de extensa aplicación en

la extracción de agua subterránea a gran profundidad.

Las electrobombas sumergibles se han vuelto la alternativa mas aceptable en vista de las limitaciones que presentan otro tipo de bombas como las bombas centrifugas verticales cuya capacidad de succión esta limitada en la practica a un máximo de 7 m de profundidad por debajo del nivel del terreno.

En vista de ello se busca modelos de electrobombas sumergibles cuyo campo de utilización se adapten a las condiciones de diseño.

Es así como se obtiene la electrobomba con las siguientes características:

#### **Bomba**

Tipo	:	Sumergible
Marca	:	CAPRARI
Modelo	:	S9S50/4C
DN	:	125mm
Número de etapas	:	Cuatro (4und)

#### **Motor**

Marca	:	CAPRARI
Modelo	:	MHS840
Voltaje	:	440 V (Trifásica)
Frecuencia	:	60 Hz
Potencia	:	40 HP (30 kW)
Velocidad	:	3600RPM
Factor de potencia	:	83%
Temperatura Max	:	40 °C
N° polos:		2 (Dos)





**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

Número de unidades: Uno (1 und)

Los datos de caudal y altura de bombeo que desarrolla esta electrobomba son extraídos de la curva proporcionada por el fabricante o proveedor que se detalla en la lamina N° 01 de la sección anexos y presentados en el siguiente cuadro N° 07.

*Cuadro N° 07. Altura-Gasto de la electrobomba sumergible seleccionada.*

Q <sub>bomba</sub> (lt/s)	18	19	20	21	22	23	24	26	27
HDT (m)	108	106.5	105	104	101.5	100	97.5	94	92

Q <sub>bomba</sub> (lt/s)	28	29	30	32	34	38	40	42
HDT (m)	89	86	82.5	77	72	59	52.5	44

También estos datos se presentan en la tabla N° 05 del capítulo resultados.

Estos datos forman la curva característica de la electrobomba y deben ser ploteados en la misma grafica de la curva característica de la red para poder encontrar el punto óptimo de operación del equipo.

Para nuestro caso con la electrobomba seleccionada el punto óptimo tendrá los siguientes parámetros:

- Caudal Óptimo (Q<sub>óptimo</sub>) : 35.30 lt/s
- Altura Dinámica Total Óptimo (HDT<sub>óptimo</sub>) : 68.12 m
- Altura Positiva de Succión Neta requerido (NPSH) : 6.6 m
- Eficiencia de la Bomba ( $\eta_{bomba}$ ) : 78%

Las curvas características de la red y de la bomba se muestran en la grafico N° 01 donde se observa el punto óptimo de operación.

Además en la Lamina N° 01 del capítulo resultados se presenta un resumen de las características del equipo de bombeo seleccionado y los parámetros de funcionamiento óptimo.

### 6.2.3 Cálculo del Coeficiente de Velocidad Específica

Para asegurar que la elección de la bomba es la correcta calculamos su coeficiente de velocidad específica. Se utiliza la altura de impulsión de un solo rotor.

$$HDT_{c/rotor} = \frac{68.12 \text{ m}}{4} = 17.03 \text{ m}$$

Entonces:

$$N_s = \frac{3.65 \cdot 3600 \text{ rpm} \cdot \sqrt{0.0353 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}}{(17.03 \text{ m})^{3/4}}$$

$$N_s = 294.5 \text{ rpm}$$

Utilizando la gráfica de la zona de buen Rendimiento de la bomba establecemos los límites para la altura de cada rotor:

Límite mínimo :  $N_{s1} = 400 \text{ rpm}$

Límite máximo :  $N_{s2} = 600 \text{ rpm}$

El gráfico de la zona de buen Rendimiento de la bomba por cada rotor se presenta en la Lamina N° 03 de la sección anexos.

## 6.3 Memoria de Calculo de la Cimentación

### 6.3.1 Comportamiento de Tuberías Enterradas

Tomando el punto mas bajo de la línea de impulsión donde el suelo es de tipo SM (arena limosa), se tendrá la mayor carga de relleno.

Utilizando los siguientes datos:

Peso específico del suelo ( $\gamma$ ) : 1420 kg/m<sup>3</sup>

Profundidad del relleno sobre la corona del tubo (HR) : 2.0 m.

Carga viva para vehículos de eje simple (Po) : 957 kg/m<sup>2</sup>

Reemplazando en la expresión de la carga de total:

$$P = (1420 \frac{kg}{m^3}) \cdot (2.0 m) + 957 \frac{kg}{m^2}$$

$$P = 3797 \frac{kg}{m^2}$$

El esfuerzo de compresión en las paredes del tubo será:

$$s_c = \frac{(3797 \frac{kg}{m^2}) \cdot (9.81 \frac{m}{s^2}) \cdot (0.250 m)}{2 \cdot 1000 \cdot (0.012 \frac{m^2}{m})}$$

$$s_c = 388.04 \frac{kN}{m^2}$$

Este esfuerzo de compresión obtenido no debe sobrepasar en este caso el  $\sigma_{\text{máx}}$  de compresión para tubería de PVC.

Por lo tanto, el factor de seguridad al límite de este esfuerzo en la pared es calculado mediante la expresión:

$$h_{cru} = \frac{981.00 \frac{kN}{m^2}}{388.04 \frac{kN}{m^2}}$$

$$h_{cru} = 2.53 > 2$$

Siendo  $\sigma_{\text{máx}} = \sigma_c = 10 \text{ kg/cm}^2$  ( $981 \text{ kN/m}^2$ ) la resistencia máxima de compresión que puede soportar el tubo de PVC PN 10 antes del fallo de ruptura.

### 6.3.2 Diseño de Anclajes

Tomando la línea de la tubería de PVC, el diseño del anclaje se desarrolla para un nudo de cambio horizontal y uno de cambio vertical.

#### Cambio de dirección Horizontal(Nudo 1 – Codo 45°)

Utilizando los siguientes datos para ser empleados en el calculo del empuje por presión de agua:

Peso específico del agua ( $\gamma$ )	:	1000 kg/m <sup>3</sup>
Diámetro interior de tubo (D)	:	0.250 m
Carga nominal en el cambio de dirección (Hp)	:	66.71 m
Angulo de cambio de dirección horizontal ( $\alpha$ )	:	45°

Reemplazando en la formula de la resultante:

$$R = \frac{\rho \cdot (0.250 \text{ m})^2 \cdot (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \cdot (1.5) \cdot (66.71 \text{ m}) \cdot \text{sen}\left(\frac{45^\circ}{2}\right)}{2}$$

$$R = 3759.43 \text{ kg}$$

De acuerdo a la información de suelos esfuerzo vertical admisible para el tramo de 800 m. donde se encuentra el nudo 1 es de  $3.09 \text{ kg/cm}^2$  a la profundidad de 1.5 metros. Como el anclaje se apoya en la pared de la zanja se debe de calcular el área con el esfuerzo horizontal admisible correspondiente a la mitad del esfuerzo vertical admisible e igual a  $1.55 \text{ kg/cm}^2$ .

Reemplazando este dato en la formula del área de contacto del bloque:

$$A_B = \frac{3759.43 \text{ kg}}{1.55 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A_B = 2433.29 \text{ cm}^2$$

Finalmente las dimensiones de la superficie de contacto del anclaje tendrán que ser aquellas que me den un área mayor a la calculada. Para este caso designamos los siguientes valores:

$$L = 55 \text{ cm} \quad \text{y} \quad W = 45 \text{ cm}$$

$$A_{B-\text{efectiva}} = 2475 \text{ cm}^2 > A_B$$

La tercera dimensión se obtiene considerando el ancho de la zanja que según las especificaciones técnicas de excavación se obtiene por la suma del diámetro



nominal del tubo mas 0.50 m.

Entonces podremos asumir para el tubo de DN 250 mm:

$$N = 40 \text{ cm}$$

Como la forma del bloque escogido para la cimentación es del tipo tronco piramidal, las dimensiones de la base son las obtenidas arriba (L y W), mientras que las otras dos dimensiones del área que se encuentra en contacto con el tubo serán determinadas en función del diámetro nominal y la tercera dimensión N.

$$T = (45 - 0.2 \times 25) \text{ cm} \quad , \quad F = \left(40 - \frac{25}{2}\right) \text{ cm}$$

$$T = 35 \text{ cm} \quad , \quad F = 27.50 \text{ cm}$$

#### Cambio de dirección Vertical (Nudo 4 – Codo 11.25°)

De la misma manera que el procedimiento anterior solamente se necesita conocer:

Carga nominal en el cambio de dirección ( $H_p$ ) : 63.78 m

Angulo de cambio de dirección vertical ( $\theta$ ) : 11.25°

Reemplazando en la formula de la resultante:

$$R = \frac{\rho \cdot (0.250 \text{ m})^2 \cdot (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \cdot (1.5) \cdot (63.78 \text{ m}) \cdot \text{sen}\left(\frac{11.25^\circ}{2}\right)}{2}$$

$$R = 920.61 \text{ kg}$$

De acuerdo a la información de suelos la esfuerzo vertical admisible para el tramo de 200 m donde se encuentra el nudo 4 es de  $2.72 \text{ kg/cm}^2$  a la profundidad de 2.20 metros.

Como el anclaje se apoya en el fondo de la zanja se debe de calcular el área de la superficie de contacto empleando el esfuerzo vertical admisible .

Reemplazando este dato en la formula del área del bloque:

$$A_B = \frac{920.61 \text{ kg}}{2.72 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A_B = 338.46 \text{ cm}^2$$

Entonces las dimensiones que cumplen con la condición del área mayor a  $A_b$  serán:

$$L = 40 \text{ cm} \quad \text{y} \quad W = 35 \text{ cm}$$

$$A_{B\text{-efectiva}} = 1400 \text{ cm}^2 > A_B$$

El área efectiva de la superficie de contacto es alta ya que cada una de las dos dimensiones deben ser mayores al diámetro nominal del tubo.

Para la tercera dimensión usaremos la forma practica para anclajes de cambio de dirección vertical.

$$N = 1.2 \times 25 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$$

De igual forma que en el cálculo para el anclaje horizontal, las dimensiones de la base del bloque de tronco piramidal son las obtenidas arriba (L y W), mientras que las otras dos dimensiones del área que se encuentra en contacto con el tubo serán determinadas en función de la tercera dimensión N y el diámetro nominal.

$$T = (30 - 0.2 \times 25) \text{ cm} \quad , \quad F = \left(30 - \frac{25}{2}\right) \text{ cm}$$

$$T = 25 \text{ cm} \quad , \quad F = 17.50 \text{ cm}$$

Las dimensiones de los bloques de tronco piramidal de anclaje para los otros nudos se detallan en la tabla N° 06 del capítulo resultados.

El material del que está hecho el bloque de anclaje es de concreto cuya resistencia a la compresión es  $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$ , por consiguiente el empuje no provocará desplazamiento ni compresión del material y el esfuerzo será transmitido al suelo que soportara sin problemas la tensión resultante.

El anclaje estará colocado de tal forma que la fuerza de empuje resultante R incida de forma perpendicular con la base de éste, debiendo además pasar por el centro de la superficie de contacto con el suelo.



## 7. RESULTADOS

---

De acuerdo con la metodología y el planteamiento técnico desarrollada anteriormente para realizar los cálculos de las diversas etapas del diseño basándonos en los parámetros y criterios descritos, se presentan las tablas de resultados para cada fase del proceso que componen la memoria de calculo.

- Tabla N° 01 : Pérdidas de Carga y Altura Dinámica Total – DN 250 mm.
- Tabla N° 02 : Pérdidas de Carga Local por Accesorios – DN 250 mm.
- Tabla N° 03 : Elección del diámetro económico – Pérdidas de Carga para Diámetros Alternativos.
- Tabla N° 04 : Construcción de la Curva Característica de la Red.
- Tabla N° 05 : Valores de Altura-Gasto de la Electrobomba Seleccionada.
- Gráfico N° 01: Curvas Características de la Red y Bomba - Punto Optimo de Operación.
- Lamina N° 01: Parámetros del Equipo de Bombeo Seleccionado – Q y H Optimo.
- Tabla N° 06 : Dimensiones de Anclajes en la Línea de Impulsión Proyectada – Tubería PVC Enterrada.

**Tabla N° 01.** Pérdidas de Carga y Altura Dinámica Total - DN 250 mm

**Localidad :** Chimbote

**Sistema :** Línea de Impulsión desde Pozo P-03 hacia el Reservorio R-2A

Descripción	Material Clase	Caudal m <sup>3</sup> /s	Velocidad m/s	D m	Rugosidad C	L m	S m/m	Perd. Local m.c.a.	Perd. Fric. m.c.a.	Cota Piezometrica
Bomba-Tramo 1	FFD k-9	0.035	1.98	0.150	130	19.75	0.0270		0.53	69.79
Tramo 2	FFD k-9	0.035	1.98	0.150	130	14.09	0.0270	2.09	0.38	69.25
Tramo 3	FFD k-9	0.035	0.71	0.250	130	3.24	0.0022	0.02	0.01	66.78
<b>Tramo 4</b>	<b>PVC PN 10</b>	<b>0.035</b>	<b>0.87</b>	<b>0.226</b>	<b>135</b>	<b>976.32</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.06</b>	<b>3.35</b>	66.75
Tramo 5	FFD k-9	0.035	0.71	0.250	130	8.50	0.0022	0.13	0.02	63.34
Tramo 6 - Reservorio	FFD k-9	0.394	1.39	0.600	130	26.22	0.0028	0.50	0.07	63.19
<b>Total perdida de carga</b>						<b>1048.12</b>		<b>2.80</b>	<b>4.36</b>	62.62

Estación de Bombeo	Tramo 1 : Longitud de tubería FFD desde la bomba a codo de salida.
Línea de Impulsión	Tramo 2 : Longitud de tubería FFD desde codo de salida hacia cambio de diámetro. Tramo 3 : Longitud de tubería FFD desde ampliación de tubería FFD a unión con Tubería PVC.
Reservorio - Many Hall	Tramo 4 : Longitud de tubería PVC desde unión FFD-PVC a unión PVC-FFD. Tramo 5 : Longitud de tubería FFD desde unión PVC-FFD hacia ampliación de many hall FFD. Tramo 6 : Longitud de tubería FFD desde ampliación de many hall hasta la descarga al Reservorio.

Altura Dinámica Total (HDT)	
Nivel Dinámico (a)	1.79 m.s.n.m
Nivel de Descarga (b)	62.12 m.s.n.m
Altura Geométrica = b-a	60.33 m
Altura de Reserva	0.50 m
Pérdida de Carga Total por Fricción	4.36 m
Pérdida Local Estación de Bombeo	2.11 m
Pérdida Local Línea de Impulsión	0.06 m
Pérdida Local Reservorio - Many Hall	0.63 m
<b>Altura Dinámica Total</b>	<b>68.00 m</b>

**Tabla N° 02.** Pérdidas de Carga Local por Accesorios - DN 250 mm

**Tramo 1 y Tramo 2 (FFD DN 150 mm) - Estación de Bombeo**

Accesorios	Cantidad	k	Total
Codo 90°	1	0.90	0.90
Unión de Desmontaje	2	0.40	0.80
Tee paso Directo	2	0.10	0.20
Medidor de Caudal	1	2.50	2.50
Válvula de Retención	2	2.50	5.00
Válvula Ventosa	1	0.25	0.25
Válvula Compuerta	1	0.20	0.20
Ampliación (Reducción Inversa)	2	0.30	0.60
Sumatorias de k			10.45
<b>Pérdida local = <math>k \cdot v^2 / 2g</math> : Velocidad (m/s)</b>	1.98	<b>Pérdida (m)</b>	<b>2.09</b>

**Tramo 3 (FFD DN 250 mm) - Estación de Bombeo**

Accesorios	Cantidad	k	Total
Codo 45°	2	0.40	0.80
Sumatorias de k			0.80
<b>Pérdida local = <math>k \cdot v^2 / 2g</math> : Velocidad (m/s)</b>	0.71	<b>Pérdida (m)</b>	<b>0.02</b>

**Tramo 4 (PVC DN 250 mm) - Línea de Impulsión**

Accesorios	Cantidad	k	Total
Codo 45°	2	0.40	0.80
Codo 11.25°	5	0.10	0.50
Codo 22.5°	1	0.20	0.20
Te paso directo (válvula de purga)	1	0.10	0.10
Sumatorias de k			1.60
<b>Pérdida local = <math>k \cdot v^2 / 2g</math> : Velocidad (m/s)</b>	0.87	<b>Pérdida (m)</b>	<b>0.06</b>

**Tramo 5 (FFD DN 250 mm) - Reservorio - Many Hall**

Accesorios	Cantidad	k	Total
Unión Gibault	1	0.40	0.40
Válvula de Retención	1	2.50	2.50
Unión de Desmontaje	1	0.40	0.40
Válvula Compuerta	1	0.20	0.20
Codo 45°	1	0.40	0.40
Yee 45° con Brida Ciega	1	1.20	1.20
Sumatorias de k			5.10
<b>Pérdida local = <math>k \cdot v^2 / 2g</math> : Velocidad (m/s)</b>	0.71	<b>Pérdida (m)</b>	<b>0.13</b>

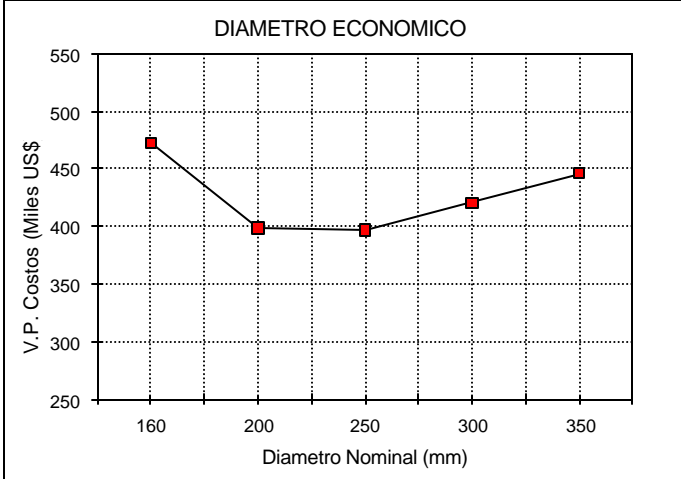
**Tramo 6 (FFD DN 600 mm) - Reservorio - Many Hall**

Accesorios	Cantidad	k	Total
Codo 90°	2	0.90	1.80
Codo 45°	2	0.40	0.80
Yee 45°	1	0.50	0.50
Ampliación (Reducción Inversa)	1	0.30	0.30
Unión de Desmontaje	1	0.40	0.40
Válvula de Mariposa	1	0.25	0.25
Descarga	1	1.00	1.00
Sumatorias de k			5.05
<b>Pérdida local = <math>k \cdot v^2 / 2g</math> : Velocidad (m/s)</b>	1.39	<b>Pérdida (m)</b>	<b>0.50</b>

**Tabla N° 03.** Elección del Diámetro Económico - Pérdidas de Carga para Diámetros Alternativos

LOCALIDAD : CHIMBOTE					
Sistema de Agua Potable					
LINEA DE IMPULSION : POZO P-03 AL RESERVORIO R-2A					
<b>INFORMACION BASICA</b>					
Caudal de Bombeo ( m3/s )	0.035				
Linea de Impulsion (m)	976.32				
Hazen & Williams ( C )-PVC	135				
Hazen & Williams ( C )-FFD	130				
Nivel minimo succion ( m )	1.79				
Nivel de descarga.	62.12				
Tasa de descuento ( % )	12				
N° de anualidades	10				
Funcion de Costos					
K Equipo	1211.3				
a Equipo	0.7183				
Costo energia ( US\$/Kw-h )	0.2				
Horas funcionamiento bomba	18				
Eficiencia de la bomba	0.78				
Eficiencia del motor electrico	0.83				
Eficiencia conjunta	0.65				



**DIAMETRO ECONOMICO**

Diametro Nominal (mm)	V.P. Costos (Miles US\$)
160	475
200	400
250	400
300	425
350	450

DESCRIPCION	D. Nominal/Diametro Interno de Tuberia ( mm )				
	PVC PN10	PVC PN10	PVC PN10	FFD K-9	FFD K-9
	160	200	250	300	350
	144	181	226	300	350
Velocidad (m/s)	2.15	1.36	0.87	0.50	0.36
Gradiente hidraulico (m/m)	0.0307	0.0101	0.0034	0.0009	0.0004
Altura geometrica (m)	60.33	60.33	60.33	60.33	60.33
Pérdidas friccion y local en la Linea de Impulsion (m)	30.37	10.01	3.41	0.92	0.44
Pérdidas friccion y locales Estacion de Bombeo (m)	3.19	3.08	3.03	3.04	2.45
Pérdidas friccion y locales Reservoirio-Many Hall (m)	1.82	1.36	0.72	0.64	0.61
Altura de reserva (m)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Altura dinamica total HDT (m)	96.22	75.28	68.00	65.43	64.33
Potencia de consumo del Equipo de Bombeo (HP)	57.6	45.0	40.7	39.1	38.5
Potencia Instalada del Equipo de Bombeo (HP)	69.1	54.0	48.8	47.0	46.2
Potencia Instalada del Equipo de Bombeo (kW)	50.8	39.8	35.9	34.6	34.0
COSTO DE TUBERIA INSTALADA (US\$/metro lineal)	26.23	35.22	52.23	71.99	89.75
COSTO TOTAL DE TUBERIA INSTALADA (US\$)	25,610	34,385	50,994	70,288	87,625
COSTO TOTAL EQUIPO INSTALADO (US\$)	25,378	21,277	19,777	19,239	19,004
COSTO ANUAL DE OPERACIÓN (Energia-US\$)	66,760	52,234	47,179	45,402	44,634
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO (US\$)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
V.P. INVERSIONES TOTALES (US\$)	50,987	55,661	70,771	89,527	106,629
V.P. REPOSICIONES TOTALES (US\$)	39,252	42,850	54,483	68,922	82,088
V.P. EXPLOTACION TOTAL ( US\$)	382,862	300,783	272,223	262,183	257,841
<b>V.P. COSTOS TOTALES (US\$)</b>	<b>473,101</b>	<b>399,295</b>	<b>397,476</b>	<b>420,632</b>	<b>446,558</b>

**Tabla N° 04. Construcción de la Curva Característica de la Red**

Pérdidas de carga calculadas con la fórmula de Hazen-Williams

Nivel en la succión: 1.79 m.s.n.m. Nivel de descarga: 62.12 m.s.n.m.

Caudales (Vs)		5	10	15	20	25	30	35	40
Altura Geométrica (m)		60.33	60.33	60.33	60.33	60.33	60.33	60.33	60.33
Altura de Reserva (m)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tramo 1 DN6" FFD	Diámetro interior (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150
	Coefficiente de rugosidad C	130	130	130	130	130	130	130	130
	Longitud (m)	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75
	Velocidad (m/seg)	0.28	0.57	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26
	Pérdida por fricción / ml	0.0007	0.0027	0.0056	0.0096	0.0145	0.0203	0.0270	0.0346
	Pérdida por fricción (m.c.a.)	0.015	0.053	0.111	0.189	0.286	0.401	0.533	0.683
Tramo 2 DN6" FFD	Diámetro interior (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150
	Coefficiente de rugosidad C	130	130	130	130	130	130	130	130
	Longitud (m)	14.09	14.09	14.09	14.09	14.09	14.09	14.09	14.09
	Velocidad (m/seg)	0.28	0.57	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26
	Pérdida por fricción / ml	0.0007	0.0027	0.0056	0.0096	0.0145	0.0203	0.0270	0.0346
	Pérdida por fricción (m.c.a.)	0.010	0.037	0.079	0.135	0.204	0.286	0.381	0.487
Pérdida localizada (m.c.a.)	0.043	0.171	0.384	0.682	1.066	1.535	2.089	2.729	
Tramo 3 DN 10" FFD	Diámetro interior (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250
	Coefficiente de rugosidad C	130	130	130	130	130	130	130	130
	Longitud (m)	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24
	Velocidad (m/seg)	0.10	0.20	0.31	0.41	0.51	0.61	0.71	0.81
	Pérdida por fricción / ml	0.0001	0.0002	0.0005	0.0008	0.0012	0.0017	0.0022	0.0029
	Pérdida por fricción (m.c.a.)	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.007	0.009
Pérdida localizada (m.c.a.)	0.000	0.002	0.004	0.007	0.011	0.015	0.021	0.027	
Tramo 4 DN 10" PVC	Diámetro interior (mm)	226	226	226	226	226	226	226	226
	Coefficiente de rugosidad C	135	135	135	135	135	135	135	135
	Longitud (m)	976.32	976.32	976.32	976.32	976.32	976.32	976.32	976.32
	Velocidad (m/seg)	0.12	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.87	1.00
	Pérdida por fricción / ml	0.0001	0.0003	0.0007	0.0012	0.0018	0.0026	0.0034	0.0044
	Pérdida por fricción (m.c.a.)	0.091	0.330	0.698	1.189	1.796	2.517	3.347	4.285
Pérdida localizada (m.c.a.)	0.001	0.005	0.011	0.020	0.032	0.046	0.062	0.081	
Tramo 5 DN 10" FFD	Diámetro interior (mm)	250	250	250	250	250	250	250	250
	Coefficiente de rugosidad C	130	130	130	130	130	130	130	130
	Longitud (m)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
	Velocidad (m/seg)	0.10	0.20	0.31	0.41	0.51	0.61	0.71	0.81
	Pérdida por fricción / ml	0.0001	0.0002	0.0005	0.0008	0.0012	0.0017	0.0022	0.0029
	Pérdida por fricción (m.c.a.)	0.001	0.002	0.004	0.007	0.010	0.014	0.019	0.024
Pérdida localizada (m.c.a.)	0.003	0.011	0.024	0.043	0.067	0.097	0.132	0.173	
Tramo 6 DN 24" FFD	Diámetro interior (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600
	Coefficiente de rugosidad C	130	130	130	130	130	130	130	130
	Longitud (m)	26.22	26.22	26.22	26.22	26.22	26.22	26.22	26.22
	Velocidad (m/seg)	1.29	1.31	1.32	1.34	1.36	1.38	1.39	1.41
	Pérdida por fricción / ml	0.0024	0.0025	0.0025	0.0026	0.0027	0.0027	0.0028	0.0029
	Pérdida por fricción (m.c.a.)	0.063	0.065	0.067	0.068	0.070	0.072	0.073	0.075
Pérdida localizada (m.c.a.)	0.427	0.438	0.450	0.462	0.475	0.487	0.500	0.513	
Carga total máxima de la Red (m)		61.48	61.94	62.66	63.64	64.85	66.31	68.00	69.92

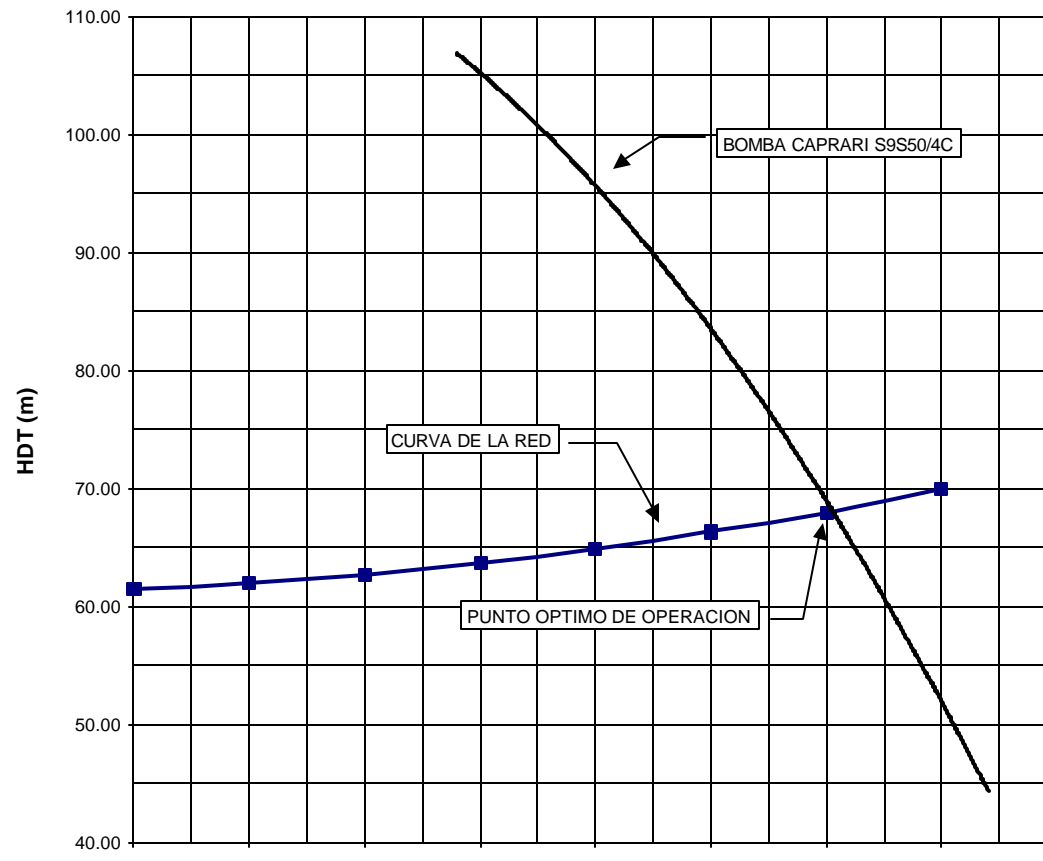
**Tabla N° 05.** Valores de Altura-Gasto de la Electrobomba Seleccionada

Caudal - bomba CAPRARI (l/s)	19	20	21	22	23	24	25	26
HDT - bomba (m)	106.5	105	104	101.5	100	97.5	96	94

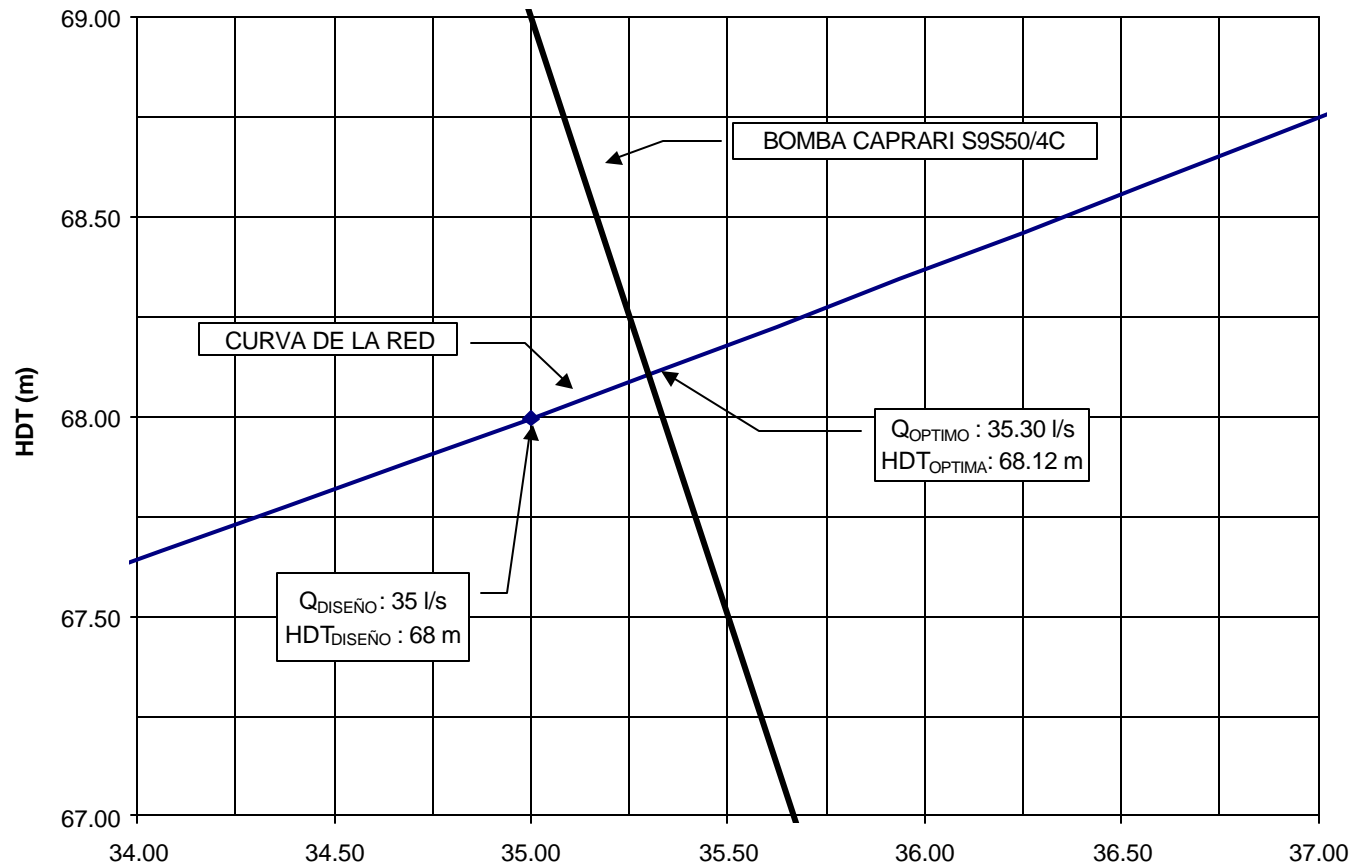
Caudal - bomba CAPRARI (l/s)	27	28	29	30	32	34	36	38
HDT - bomba (m)	92	89	86	82.5	77	72	66	59

Caudal - bomba CAPRARI (l/s)	40	42
HDT - bomba (m)	52.5	44

**Gráfico N° 01. Curvas Características de la Red y Bomba - Punto Optimo de Operación**



**Gráfico N° 01. Curvas Características de la Red y Bomba - Punto Optimo de Operación**





**Lamina N° 01.** Parámetros del Equipo de Bombeo Seleccionado – Q y H óptimo.

<b><u>Bomba</u></b>		
Tipo	:	Sumergible
Marca	:	CAPRARI
Modelo	:	S9S50/4C
DN	:	125mm
Número de etapas	:	Cuatro (4und)
Caudal óptimo	:	35.30 l/s
HDT óptimo	:	68.12 m
NPSH	:	6.6 m
Eficiencia	:	78%
<b><u>Motor</u></b>		
Marca	:	CAPRARI
Modelo	:	MHS840
Voltaje	:	440 V (Trifásica)
Frecuencia	:	60 Hz
Potencia	:	40 HP (30 kW)
Velocidad	:	3600RPM
Factor de potencia	:	83%
Temperatura Max	:	40 °C
N° polos	:	2 (Dos)
Número de unidades	:	Uno (1 un



**Tabla N° 06.** Dimensiones de Anclajes en la Línea de Impulsión Proyectada – Tubería PVC Enterrada

NUDO	PROGRESIVA	TIPO	ANGULO (°)	DIAMETRO (mm)	CAMBIO DE DIRECCION	CARGA NOMINAL (m)	EMPUJE R (kg)	ESFUERZO ADMISIBLE DEL SUELO	AREA DE CONTACTO AB (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	W (cm)	N (cm)	LxB (cm <sup>2</sup> )	T (cm)	F (cm)
1	0+006	Codo	45.00	250.00	Horizontal	66.71	3759.43	1.55	2433.29	55.0	45.0	40.0	2475	35.0	27.5
2	0+032	Codo	45.00	250.00	Horizontal	66.62	3754.36	1.55	2430.00	55.0	45.0	40.0	2475	35.0	27.5
VP1	0+400	Tee	90.00	250.00	Vertical	65.32	6801.78	4.33	1570.85	45.0	35.0	30.0	1575	25.0	17.5
	0+400	Codo	90.00	110.00	Vertical	65.32	1088.28	4.33	251.34	30.0	25.0	20.0	750	17.8	14.5
	0+400	Válvula	90.00	110.00	Vertical	65.32	1088.28	4.33	251.34	30.0	25.0	20.0	750	17.8	14.5
3	0+680	Codo	22.50	250.00	Horizontal	64.34	1848.46	1.55	1196.41	40.0	35.0	30.0	1400	25.0	17.5
	0+680	Codo	11.25	250.00	Horizontal	64.34	928.70	1.55	601.10	40.0	35.0	30.0	1400	25.0	17.5
4	0+840	Codo	11.25	250.00	Vertical	63.78	920.61	2.72	338.46	40.0	35.0	30.0	1400	25.0	17.5
5	0+900	Codo	11.25	250.00	Vertical	63.57	917.68	2.01	466.51	40.0	35.0	30.0	1400	25.0	17.5
6	0+920	Codo	11.25	250.00	Vertical	63.50	916.57	2.72	336.98	40.0	35.0	30.0	1400	25.0	17.5
7	0+962	Codo	11.25	250.00	Vertical	63.35	914.41	2.01	464.93	40.0	35.0	30.0	1400	25.0	17.5



## 8. ANÁLISIS RESULTADOS

### 8.1 De la Línea de Impulsión

Analizando los resultados obtenidos podemos apreciar que las tuberías de FFD DN 300 mm y DN 350 mm tienen que ser descartadas de la elección del diámetro económico ya que representan un costo alto en comparación con las de PVC, además se ha demostrado a través de los resultados de calculo obtenidos que el flujo se desplazara a velocidades medias menores a 0.6 m/s establecidas por los criterios de diseño, lo que ocasionara en estas líneas problemas de sedimentación de partículas que pueda colarse en el flujo durante el bombeo siendo necesaria la purga de la línea en periodos mas cortos de los recomendados incrementando posteriormente el costo de mantenimiento.

Por otro lado las tuberías de PVC proveen mayor eficiencia hidráulica y menores perdidas por fricción. Dentro de estas se observa que la tubería de DN 160 mm presenta mayores perdidas de carga que las de DN 200 mm y DN 250 mm por lo que la descalifica en la elección del diámetro económico presentando un incremento en el costo por energía perdida para lograr alcanzar la altura dinámica total requerida.

Además la velocidad media de flujo de esta línea supera los 2 m/s, quedando descartada por estar fuera del rango de diseño.

Entonces las tuberías que pueden ser empleadas en el diseño son la de PVC DN 200 mm y DN 250 mm siendo la ultima la seleccionada como la de diámetro económico por presentar el menor costo de total de inversión.

La tubería de PVC DN 200 mm puede ser también usada ya que es la alternativa mas aceptable después de la DN 250 mm por presentar una velocidad de flujo más

homogénea, es decir cercana a la mitad del rango de diseño pero aquello involucra una mayor pérdida de carga en comparación con la tubería seleccionada.

La tubería seleccionada de PVC DN 250 mm es de la clase 10 o PN 10 (Presión Nominal =  $10 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ m.c.a.}$ ), ya que tendría que soportar una presión hidrostática máxima en su punto mas bajo de 82.27 m.c.a. incluida la sobrepresión producto del efecto de golpe de ariete.

## 8.2 Del Equipo de Bombeo

La elección de la bomba sumergible en lugar de la de eje vertical esta condicionada por las características del pozo, es decir su verticalidad la cual debe ser bien definida, así como por la fácil instalación y bajo costo de mantenimiento.

La electrobomba Caprari trabajara a un régimen de altura y caudal mayores a los requeridos con menor potencia que la calculada lo que la califica como la selección correcta, aunque su rendimiento sea bajo como se demuestra al calcular su velocidad especifica.

Como la bomba es de tipo sumergible, la instalación dentro del pozo será de 5 metros por debajo del nivel dinámico, asegurando que la variación anual del nivel del acuífero (2.5m a 4m) no afecte la sumergencia requerida para su funcionamiento a 100% de carga.

Los valores presentes de reposición y explotación son calculados para un periodo de 10 años considerado como el tiempo de vida útil de la bomba a una tasa de descuento del 12% establecido por el BID para proyectos de agua potable.

El coeficiente de velocidad especifica  $N_s$  para cada rotor es menor al limite mínimo de la zona de buen rendimiento, esto significa que aunque cae fuera de esta zona la selección es la correcta debido a que se aproxima al mínimo recomendado para alcanzar una buena eficiencia. Pero si comercialmente se encuentra una bomba que cumpla con los requerimientos de diseño girando a una velocidad mayor debe ser analizada ya que un equipo con mayor velocidad



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

involucra un incremento tanto en el tamaño como en el costo en contraste con el incremento significativo que se pueda lograr en su rendimiento, si esto se cumple no convendría realizar dicho cambio en la selección.

### **8.3 Del la Cimentación**

De acuerdo a los resultados del factor de seguridad al limite de compresión en la pared del tubo observamos que la carga del relleno sobre este, no presenta riesgo para el emplazamiento de la tubería ya que el tipo y la clase elegida mantendrá su estructura sin llegar al colapso de ruptura para el periodo de las dos etapas de estudio.

En lo que respecta a las dimensiones de los anclajes se aprecia que para los accesorios como codos de diferente ángulo y la válvula se tienen diferentes fuerzas hidrostática pero con igual magnitud de aristas del bloque de anclaje (L, W, T y F), ya que el diámetro de contacto del accesorio con el anclaje es el mismo debiendo mantenerse los 5 centímetros a cada lado del contorno del tubo en la base superior del bloque como medida estandarizada. Por consiguiente la superficie de contacto con el terreno también es la misma ocasionando que algunos bloques tengan mayor capacidad de resistencia que otros dando así mayor estabilidad a la línea a posibles desplazamientos por causas sísmicas por la misma fuerza de presión del agua.



## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1 Conclusiones

- La tubería elegida de acuerdo a los resultados obtenidos es la de DN 250 mm por ser la de menor costo total en comparación con los otros diámetros alternativos.
- La estabilidad de la tubería seleccionada esta garantizada ya que los resultados demuestran que la clase de tubería de PVC clase 10 soporta sin problemas la sobrepresión por golpe de ariete.
- En el diseño de la línea se opta por minimizar el costo de excavación colocando en la progresivas 0+900 y 0+920 dos codos de 11.25° por no ser posible mantener una linealidad de la tubería sin sobrepasar los limites de deflexión establecidos en los parámetros de diseño.
- Se instala la válvula de purga en la progresiva 0+400 para facilitar la evacuación de los sólidos sedimentados aprovechando la ubicación del emisor principal Buenos Aires, minimizando el costo de tubería de conexión a este accesorio.
- En este proyecto las tuberías de FFD no son convenientes para constituir la línea de impulsión ya que las presiones que experimenta no sobrepasan los 100 m.c.a.
- La nueva bomba de tipo sumergible asegurara el suministro de agua al reservorio adecuadamente. Además es la mejor opción por su bajo costo de operación y mantenimiento con respecto a los de eje vertical.
- La eficiencia en conjunto es baja (65%), pero suficiente para satisfacer las exigencias de trabajo.

- La bomba no presentara problemas de cavitación ya que el árbol de impulsores estará siempre bajo el nivel de agua en el pozo.
- La línea de impulsión no colapsara por falla de ruptura ya que el relleno produce presiones admisibles por la tubería de PVC, así como también no presentara falla por deflexión de su diámetro por ser la altura de relleno menor a la critica.
- Se concluye que la selección es la correcta porque se aproxima al mínimo recomendado para obtener una buena eficiencia.

## 9.2 Recomendaciones

La realización del presente trabajo nos permite sugerir las siguientes recomendaciones:

- Antes de proceder al diseño, se debe de contar necesariamente con la información de topográfica e hidrogeología de la zona donde se realizara el proyecto, así como si es posible la movilización personal hasta la misma zona para observar las características del terreno y de las estructuras que tienen relación directa en indirecta con el proyecto.
- Tener en cuenta siempre que al trabajar con tuberías de PVC estas debe ser tratadas con mucho cuidado ya que son susceptibles a los golpes así como a la exposición prolongada de los rayos ultravioleta por ser sensibles deteriorando la resistencia del material.
- Cuando se seleccione la bomba para pozos profundos se deberá tener muy presente la utilidad de este y de las condiciones a las cuales trabajará (ubicación geográfica) para determinar la mas adecuada sin mayor costo de inversión ni problemas de cavitación.
- Se recomienda utilizar lo menos posible en la línea de impulsión accesorios de cambio de dirección como los codos ya que estos son costosos.

Por tal motivo es mejor incurrir en la excavación a menos que esta no sea posible por la dificultad del terreno o por que se generará un incremento de los costos mayor con relación a la cantidad de accesorios extras a instalar.

- Se recomienda siempre colocar a continuación de la salida del flujo de la bomba una válvula de retención con muelle de cierre para amortiguar el golpe de ariete, en caso que no la tuviera.
- Se recomienda no bombear agua a temperaturas mayores de los 60 °C
- Asegurarse de que el pozo este libre de partículas de arena que puedan dañar los impulsores de la bomba.
- Cerciorarse de que el pozo este aproximadamente a 25 m. lejos de cualquier fuente de contaminación.
- Realizar estudios de mecánica de suelos mas profundos, las capacidades de los suelos a distintas profundidades para el establecimiento de los anclajes respectivos en la cimentación.
- Se recomienda de ser posible utilizar una bomba que gire a una velocidad mayor que la seleccionada y que cumpla con los requerimientos de diseño sin incremento significativo de tamaño y costo.





Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote. Choy Bejar, Víctor David

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. “Manual de Tubería y Plomería” (“Pipefilter’s and Plumber’s vestpocket reference book). Autor: Bachman/Murray. Editorial Continental. Decimosexta reimpresión – julio 1992.
2. “Manual de Pozos Pequeños”. Autor: Gibson, Ulric P. Editorial Limusa. Año 1989.
3. “Abastecimiento de Agua -Teoría y Diseño”. Autor: Arocha R. Simon. Editorial Vega. Año 1980 Madrid.
4. “Manual de Bombas”. Autor: Asociación de Ingenieros Académicos (Hidrostal, Worthington, Goulds Pump). Año 1991.
5. “Diseño de Estructuras Hidráulicas”. Autor: Krochin Sviatoslav.
6. “Hidráulica General”. Autor: Sotelo Avila. Editorial Limusa.
7. “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”. Autor: Ramiro Ortiz Flores. Editorial Nomos– McGraw Hill.
8. “Manual de Hidráulica” Autor: J. M. Acevedo Neto y Guillermo Acosta Alvarez. Editorial Edgard Blucher. México – Harla. Sexta Edición 1975.
9. “Diseño de Acueductos y Alcantarillado” Autor: Lopez Cuallo Ricardo.
10. “El Agua Subterránea y los Pozos- Libro de Referencia dedicado a la Industria de los Pozos de Agua”. Primera Edición 1975. Publicado por Jonson División. UOP Inc.
11. “Mecánica de los Fluidos e Hidráulica- Teoría y Problemas” Autor: Ranald V. Giles. Editorial McGraw – Hill . Año 1970.



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

12. “Mecánica de Fluidos”. Autor: Irving H. Shames. Editorial McGraw – Hill. Tercera Edición. Año 1995.
13. “Guía del Usuario del Modulo de Presupuestos para Windows Versión 1.0”. Autor: Grupo S10. Primera edición – Septiembre 1997.
14. Separatas del Curso de Costos y Presupuesto – IV Ciclo de Actualización Profesional para Titulación en Ingeniería Mecánica de Fluidos.
15. Separatas del Curso de Hidráulica Urbana y Rural – IV Ciclo de Actualización Profesional para Titulación en Ingeniería Mecánica de Fluidos.
16. Informes del estudio de hidrología y mecánica de suelos realizado por la empresa BCEOM /OIST.
17. Base de datos de costos de materiales, equipos y mano de obra para proyectos de agua potable y alcantarillado – Departamento Técnico – Empresa Consultora CESEL S.A.
18. Parámetros para la evaluación de costos referidos a la potencia del equipo de bombeo y tuberías. SUNASS.



## 11.ANEXOS

---

- Especificaciones Técnicas.
- Metrado, Presupuesto y costos unitarios.
- Tabla N° 01 : Caudales de Ingreso al reservorio R-2A a través del Many-Hall.
- Lamina N° 01 : Características de Bombas Sumergible Utilizables - Modelos.
- Lamina N° 02 : Dimensiones de Modelos de Electrobombas Sumergible.
- Lamina N° 03 : Velocidad Especifica - Zona de Buen Rendimiento.
- Lamina N° 04 : Resumen de Nudos por Accesorios. Línea de Impulsión Proyectada : Pozo P-03 al Reservorio R-2A.
- Lamina N° 05 : Dimensiones y Forma de Anclajes. Línea de Impulsión Proyectada : Pozo P-03 al Reservorio R-2A.
- Plano N° 01 : Planta y Perfil Longitudinal. Línea de Impulsión Proyectada : Pozo P-03 al Reservorio R-2A.
- Plano N° 02 : Estación de Bombeo - Detalles. Línea de Impulsión Proyectada : Pozo P-03 al Reservorio R-2A.
- Plano N° 03 : Reservorio - Many Hall - Detalles. Línea de Impulsión Proyectada : Pozo P-03 al Reservorio R-2A.



Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote. Choy Bejar, Víctor David

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

---

### I. INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN – PVC

#### I.1 Generalidades

Las presentes especificaciones técnicas corresponden al suministro, instalación y puesta en servicio de tubería de cloruro de polivinilo (PVC) lisa para agua potable.

Las líneas de agua potable serán instaladas con los diámetros indicados en los planos.

#### I.2 Excavación de Zanja

La realización de la zanja y su relleno depende de los siguientes parámetros:

- Entorno.
- Características de la tubería (tipo de junta y diámetro).
- Naturaleza de terreno (con o sin agua).
- Profundidad de colocación.

La inclinación de los taludes de la zanja debe estar en función de la estabilidad de los suelos (niveles freáticos altos, presencia de lluvias, profundidad de excavaciones y el ángulo de reposo del material) y su densidad a fin de concretar la adecuada instalación, no olvidando el aspecto económico.

En zonas con nivel freático alto, cabe la posibilidad de tener que efectuar entibados o tablestacados en las paredes de la zanja, a fin de evitar derrumbes, Asimismo, es posible tener que efectuar operaciones de bombeo a fin de bajar el nivel freático o recuperar una zanja inundada.

### **I.2.1 Apertura de la zanja**

Por debajo de la calzada prever la demolición de la vía de circulación, con recorte previo de los bordes de la zanja para evitar la degradación de las partes colindantes. La anchura es un poco superior al ancho de la zanja.

La excavación suele efectuarse con una pala hidráulica cuyas características están adaptadas al diámetro del tubo, al entorno y a la profundidad de colocación.

Durante la ejecución se tendrá cuidado para:

- Estabilizar las paredes, bien mediante taludes, bien por blindajes.
- Expurgar los flancos de los taludes para evitar que caigan bloques de tierra o de roca.

### **I.2.2 Anchura de la zanja**

La anchura de la zanja es función del diámetro nominal, la naturaleza del terreno, la profundidad de colocación y del método de blindaje y compactación.

El ancho de la zanja debe ser uniforme en toda la longitud de la excavación.

El ancho de la zanja a nivel de la parte superior de la tubería debe ser lo menor posible, de manera que permita una instalación correcta y eficiente, esto minimiza la carga de la tierra sobre el tubo. Así, un aumento en el ancho de zanja por encima de la clave del tubo no incrementa la carga de tierra sobre la tubería. Este aumento de ancho se consigue dando una pendiente adecuada a los costados de la zanja.

Una zanja angosta dificulta la instalación de la tubería (tendido y compactación).

Como recomendación general se sugiere el siguiente ancho de la zanja al nivel de la clave del tubo: DN + 0,50 m.

### **I.2.3 Profundidad de la zanja**

Las zanjas se realizan en cada punto con la profundidad indicada por el perfil longitudinal. Salvo estipulación diferente de las bases técnicas, la profundidad



normal de las zanjas es tal que el espesor del relleno no sea inferior a 1 metro por encima de la generatriz superior del tubo.

#### **I.2.4 Material excavado**

Todo el material excavado deberá ser ubicado a una distancia aproximada de 0,40 m del borde de la zanja, de tal manera que no obstaculice el trabajo posterior de instalación de la tubería.

#### **I.2.5 Realización de taludes**

Pocas veces utilizada en entorno urbano, debido a las superficies que requiere, la realización de taludes consiste en dar a las paredes una inclinación denominada “ángulo de talud”, que debe aproximarse al ángulo de fricción interno del terreno. Este ángulo varía con la naturaleza de los terrenos hallados.

#### **I.2.6 Blindaje de las excavaciones**

Las técnicas de blindaje son numerosas y es importante estudiarlas y adaptarlas antes de comenzar las obras.

El blindaje debe realizarse en los casos previstos por la reglamentación vigente o, de manera general, cuando así lo requiera la naturaleza del terreno.

##### **a) Técnicas de blindaje más normales**

- Tableros de madera en elementos prefabricados (ensamblables o no).
- Entibados de madera o metálicos.
- Tablestacas.

Cualquiera que sea el procedimiento utilizado, habrá que tener en cuenta la presión de las tierras.

#### **I.2.7 Fondo de zanja**

Esta preparación es el comienzo de una instalación satisfactoria. Con rapidez y eficiencia de la maquinaria moderna de excavación, es económico y recomendable excavar un poco más de lo especificado a efectos de nivelar con material granular.



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

El material granular colocado a máquina y formado a mano proporciona un fondo de zanja satisfactorio firme y que soporta continuamente la tubería.

Los materiales más económicos son: arena, fina o triturado pequeño, ya que su compactación se obtiene con un mínimo de apisonamiento. Con esta base, el objetivo primordial es evitar vacíos debajo y alrededor del cuadrante de la tubería.

En lugar de material granular, el sobrecorte puede rellenarse y nivelarse con material seleccionado de la excavación siempre y cuando no contenga piedras grandes, terrones duros y basura. Materiales que tengan piedra, arcilla en pedazos, barro o materia orgánica no deben ser usados.

El fondo de la zanja debe presentar una superficie bien nivelada, para que los tubos se apoyen sin discontinuidad a lo largo de la generatriz inferior; a cuyo efecto los cinco centímetros de sobre-excavación, deben rellenarse y apisonarse con arena o tierra fina bien seleccionado. Se determinará la ubicación de las uniones en el fondo de la zanja antes de bajar a ella los tubos, en cada uno de esos puntos se abrirán hoyos o canales transversales de la profundidad y ancho necesario para el fácil manipuleo de los tubos y sus accesorios en el momento de su montaje.

El fondo de la zanja debe ser también continuo, plano y libre de piedras, troncos o materiales duros y cortantes.

Debe nivelarse también de conformidad con el perfil longitudinal de la canalización y quedar exento de cualquier obra antigua de mampostería.

**Presencia de agua:** La excavación debe empezar aguas abajo y proseguir aguas arriba, de manera que permita la auto-excavación del agua del fondo de la zanja.

Cuando la excavación se efectúa en un terreno embebido de agua (napa freática), puede ser necesario evacuar las aguas de la zanja mediante:

- Achique por bombeo (directamente en la zanja o en un pozo lateral).
- Descenso de la capa freática por aspiración o pozos filtrantes.

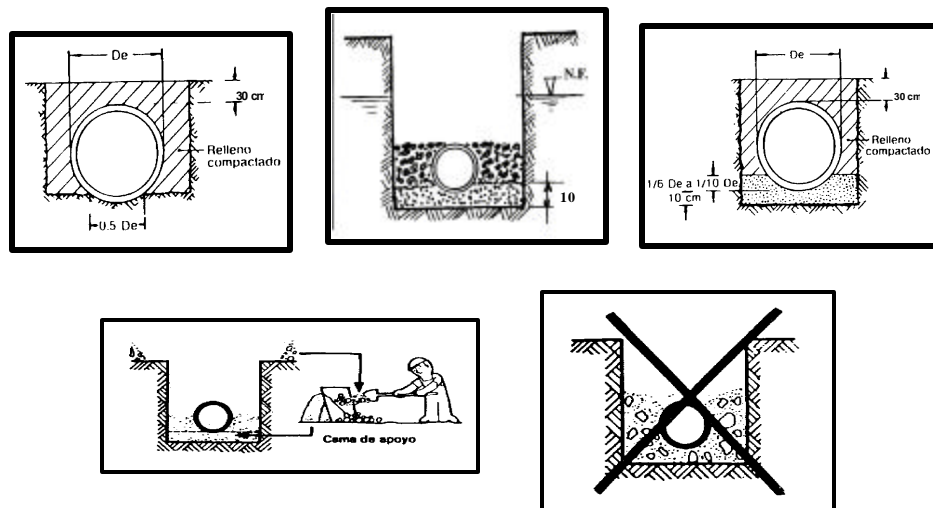
### I.2.8 Lecho de colocación

El fondo de la excavación constituye la zona de asiento del tubo. Si el suelo existente es pulverulento y relativamente homogéneo, es posible colocar el tubo en el fondo de la zanja como se acaba de describir.

Es preciso comprobar que el tubo tiene un asiento suficiente, en especial para los grandes diámetros. Cuando un fondo de zanja no se presta a la colocación directa, conviene aportar un lecho de colocación de gravilla machacada o de arena cuyo espesor es del orden de 10 cm.

El tipo y calidad de la cama de apoyo que soporta la tubería es muy importante para una buena instalación, la cual se puede lograr fácil y rápidamente, dando como resultado una instalación sin problemas.

- Debe nivelarse también de conformidad con el perfil longitudinal de la canalización y quedar exento de cualquier aspereza rocosa o de obra antigua de mampostería.



Para proceder a instalar las líneas de agua, previamente las zanjas excavadas deberán estar refinadas y niveladas.





**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

El refine consiste en el perfilamiento tanto de las paredes como del fondo, teniendo especial cuidado que no queden protuberancias rocosas que hagan contacto con el cuerpo del tubo.

La nivelación se efectuará en el fondo de la zanja, con el tipo de cama de apoyo aprobada por la supervisión.

De acuerdo al tipo y clase de tubería a instalarse, los materiales de la cama de apoyo que deberá colocarse en el fondo de la zanja serán:

a) En terrenos normales y semirocosos

Será específicamente de arena gruesa o gravilla, que cumpla con las características exigidas como material selecto a excepción de su granulometría. Tendrá un espesor no menor de 0,10 m, debidamente compactada o acomodada (en caso de gravilla), medida desde la parte baja del cuerpo del tubo.

Sólo en caso de zanja, en que se haya encontrado material arenoso no se exigirá cama.

b) En terreno rocoso

Será del mismo material y condición del inciso a), pero con un espesor no menor de 0,15 m.

c) En terreno inestable (arcillas expansivas, limos etc.)

La cama se ejecutará de acuerdo a las recomendaciones del proyectista.

### **I.2.9 Bajada a zanja**

Antes de que las tuberías, válvulas, grifos contra incendio, accesorios, etc., sean bajadas a la zanja para su colocación, cada unidad será inspeccionada y limpiada, eliminándose cualquier elemento defectuoso que presente rajaduras o protuberancias.

La bajada podrá efectuarse a mano sin cuerdas, a mano con cuerdas o con equipo de izamientos, de acuerdo al diámetro, longitud y peso de cada elemento y, a la

recomendación de los fabricantes con el fin de evitar que sufran daños, que comprometan el buen funcionamiento de la línea.

### **I.2.10 Cruces con servicios existentes**

En los puntos de cruces con cualquier servicio existente, la separación mínima con la tubería de agua y/o alcantarillado, será de 0,20 m, medidos entre los planos horizontales tangentes respectivos.

El tubo de agua preferentemente deberá cruzar por encima del colector de alcantarillado, lo mismo que el punto de cruce deberá coincidir con el centro del tubo de agua, a fin de evitar que su unión quede próxima al colector.

Sólo por razones de niveles, se permitirá que el tubo de agua cruce por debajo del colector, debiendo cumplirse los 0,20 m de separación mínima en la coincidencia en el punto de cruce con el centro del tubo de agua.

No se instalará ninguna línea de agua potable, que pase a través o entre en contacto con ninguna cámara de inspección de desagües, luz, teléfono, etc., ni con canales para agua de regadío.

### **I.2.11 Limpieza de las líneas de agua**

Antes de proceder a su instalación, deberá verificarse su buen estado, conjuntamente con sus correspondientes uniones, anillos de jebe y/o empaquetaduras, los cuales deberán estar convenientemente lubricados.

Durante el proceso de instalación, toda las líneas deberán permanecer limpias en su interior.

Los extremos opuestos de las líneas, serán sellados temporalmente con taponés, hasta cuando se reinicie la jornada de trabajo, con el fin de evitar el ingreso de elementos extraños a ella.

### **I.3 Relleno de zanjas**

#### **I.3.1 Modo de efectuar el relleno**

La manera de efectuar el relleno de la zanja se hará con el objeto de que siempre se evite la formación de cavidades en la parte inferior de los tubos.

Se colocará en la zanja primeramente tierra fina o material seleccionado, libre de piedras raíces, maleza, etc. y se pisoneará uniformemente debajo y a los costados de la longitud total, de cada tubo hasta alcanzar su diámetro horizontal. El relleno se seguirá pisoneando convenientemente, en forma tal que no levante el tubo o lo mueva de su alineamiento horizontal o vertical, y en capas sucesivas que no excedan de 10 cm. de espesor, hasta obtener una altura mínima de 30 cm. sobre la generatriz superior del tubo. Esta primera etapa puede ser ejecutada parcialmente antes de iniciar las pruebas parciales de la tubería.

El resto del relleno se compactará con rodillos aplanadores y otras máquinas apropiadas de acuerdo con el material de que se disponga. Las máquinas deberán pasarse tantas veces sean necesarias para obtener una densidad del relleno no menor del 95% de la máxima obtenida mediante el ensayo Proctor standard. La compactación se hará a humedad óptima y en capas horizontales no mayores de 15 cm. Tanto la clase del material de relleno como la compactación deben controlarse continuamente durante la ejecución de la obra.

No debe emplearse en el relleno tierra que contenga materias orgánicas en cantidades deletéreas ni raíces, arcillas ó limos uniformes. Todos los espacios entre rocas se rellenarán completamente con tierra.

No deben tirarse a la zanja piedras grandes por lo menos hasta que el relleno haya alcanzado una altura de 1 m sobre el lomo del tubo o parte superior del colector de concreto.

En las calles sin pavimento, se dejará la superficie del terreno pareja, tal como estaba antes de la excavación, y los rellenos sucesivos que fuesen menester para acondicionar, la superficie de la zanja en esta forma será parte de la responsabilidad del constructor, hasta por seis meses después de hecho el relleno. En las calles pavimentadas el constructor mantendrá la superficie del relleno al nivel de las calles mientras se repone el pavimento.

### **I.3.2 Asentamiento con agua**

Si fuera posible, conviene apisonar la tierra del primer relleno con agua, evitando la utilización de pisones, los que podrían admitirse solamente en las capas superiores.

### **I.3.3 Rellenos para tuberías PVC**

#### Zona de relleno alrededor del tubo

Se distinguen:

- El relleno de sujeción (resistencia a la ovalización únicamente en el caso de los grandes diámetros), realizado en tierra expurgada o en materiales de aporte y compactado hasta el tercio inferior.
- El relleno de protección (en el caso de terrenos de granulometría muy heterogénea), efectuado con tierra expurgada o arena; este relleno puede actuar como protección y sujeción.

#### **Zona de relleno superior**

Por lo general se va llenando con la tierra sacada sin compactar (caso general) o con materiales de aporte compactados (por debajo de calzada).

Para las tuberías PVC, la altura mínima de relleno sobre la clave del tubo debe ser de 1,0 m con encamado y relleno de arena y material fino selecto compactado hasta por lo menos 0,30 m sobre la clave del tubo.



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

### **I.3.4 Restitución del pavimento**

El contratista restituirá el pavimento, veredas, buzones, bermas, etc. a su condición original. Todo el exceso de tuberías, construcciones temporales, desmontes, etc., será retirado por el contratista, quien dejará el sitio de trabajo completamente limpio a satisfacción del Ingeniero Inspector.

## **I.4 Colocación de líneas de agua potable con uniones**

Las válvulas, grifos contra incendio, accesorios, etc. necesariamente serán de la misma clase de la tubería a instalarse.

### **I.4.1 Curvatura de la línea de agua**

En los casos necesarios que se requiera darle curvatura a la línea de agua, la máxima desviación permitida en ella, estará de acuerdo a las tablas de deflexión recomendadas por los fabricantes.

### **I.4.2 Lubricante**

El lubricante a utilizarse en la instalación de las líneas de agua, deberá ser previamente aprobado por la empresa, no permitiéndose emplear jabón, grasas de animales, etc. que puedan contener bacterias que dañen la calidad del anillo.

### **I.4.3 Niplería**

Los niples de tubería sólo se permitirán en casos especiales tales como: empalmes a líneas existentes, a grifos contra incendios, a accesorios y a válvulas. También en los cruces con servicios existentes.

Para la preparación de los niples necesariamente se utilizará rebajadoras y/o tarrajas, no permitiéndose el uso de herramientas de percusión.

### **I.4.4 Profundidad de la línea de agua**

Para la operación y funcionamiento de la línea de agua, sus registros de válvulas se hará con tubería de concreto y/o cajas de ladrillos con tapa de fierro fundido u otro material normalizado cuando éstas sean accionadas directamente con

crucetas; y con cámaras de concreto armado de diseño especial, cuando sean accionadas mediante reductor y/o *by-pass* o cuando se instalarán válvulas de mariposa, de compuerta mayores de Ø 16", de aire y de purga.

La parte superior de las válvulas accionadas directamente con cruzetas, estarán a una profundidad mínima de 0,60 y máxima de 1,20 con respecto al nivel del terreno o pavimento. En el caso de que las válvulas se instalen a mayor profundidad, el Constructor está obligado a adicionar un suplex en su vástago, hasta llegar a la profundidad mínima establecida de 0,60 m, ello de acuerdo a lo indicado en Figura N° 1.

El recubrimiento mínimo del relleno sobre la clave del tubo, en relación con el nivel del pavimento será de 1,00 m.

Sólo en caso de pasajes peatonales y calles angostas hasta 3 m de ancho, en donde no existe circulación de tránsito vehicular, se permitirá un recubrimiento mínimo de 0,60 m sobre la clave del tubo.

#### **I.4.5 Ubicación de válvulas**

Los registros de válvulas estarán ubicados en las esquinas, entre el pavimento y la vereda y alineado al propiedad de los lotes, debiendo el Constructor, utilizar un (1) niple de empalme tipo moha a la válvula, para facilitar la labor de mantenimiento o cambio de la misma. En el caso de que la válvula fuera ubicada en una berma o en terreno sin pavimento, su tapa de registro irá empotrada en una losa de concreto  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  de 0,40 x 0,40 x 0,10 m.

Los grifos contra incendio se ubicarán también en las esquinas, a 0,20 m interior del filo de la vereda, debiendo estar su boca de descarga a 0,30 m sobre el nivel de la misma en dirección al pavimento. No se permitirá ubicarlos dentro del pavimento, ni tampoco a la altura de los ingresos a las viviendas.

### **I.5 Anclajes y apoyos**

Los accesorios y grifos contra incendio, requieren necesariamente ser anclados, no así las válvulas que sólo deben tener un apoyo para permitir su cambio.

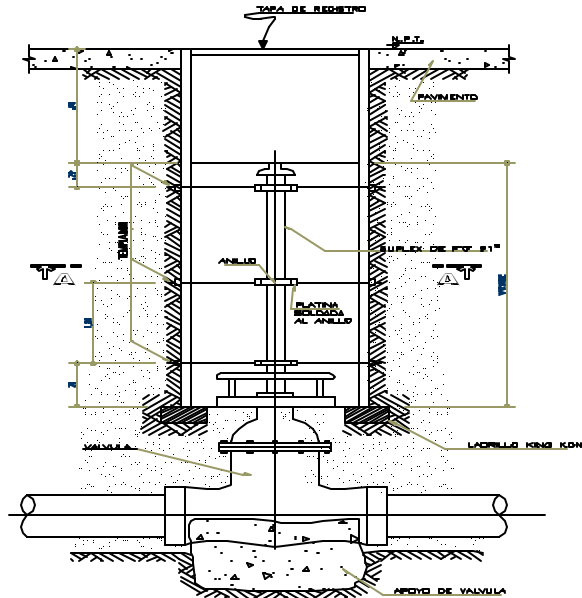
Los anclajes, que serán de concreto simple y/o armado  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ , con 30% de piedras hasta 8", se usarán en todo cambio de dirección tales como: tees, codos, cruces, reducciones, en los tapones de los terminales de línea y en curvas verticales hacia arriba, cuando el relleno no es suficiente, debiendo tenerse cuidado de que los extremos del accesorio queden descubiertos.

Los apoyos de la válvula, también serán de concreto simple y/o armado. Para proceder a vaciar los anclajes a apoyos, previamente el Constructor presentará a la empresa, para su aprobación, los diseños y cálculos para cada tipo y diámetro de accesorios, grifos o válvulas, según los requerimientos de la presión a zanja abierta y a la naturaleza del terreno en la zona donde serán anclados o apoyados.

### **I.6 Empalmes a líneas de agua en servicio**

El Constructor obligatoriamente dejará su tubería que ha instalado a un (1) metro de distancia de la línea de agua existente a empalmar en el mismo alineamiento y cota de la tubería en servicio.

Figura N° 1. Caja de válvulas con profundidades mayores de 1.20 m



### I.7 Dimensiones de las zanjas

El ancho de la zanja dependerá de la naturaleza del terreno en trabajo y del diámetro de la tubería por instalar, pero en ningún caso será menor de los estrictamente indispensables para el fácil manipuleo de la tubería y sus accesorios dentro de dicha zanja.

ANCHOS DE ZANJA			
DIAMETRO NOMINAL		ANCHO DE ZANJA	
mm	pulg.	Mínimo (cm)	Máximo (cm)
110	4	45	70
160	6	45	75
200	8	50	80
250	10	55	85
315	12	60	90
400	16	70	100
450	18	75	105
500	20	80	110



### **I.8 Cruce con vías de primera clase**

En los cruces con vías de primera clase, la excavación debe profundizarse de manera que el entierro mínimo sobre la cabeza de los tubos llegue a un metro veinte centímetros (1,20 m), debiéndose proteger el tubo con alcantarillas, con tubos tipo Armco, con canaletas o arcos de concreto ó de ladrillo. Esta última protección es aplicable también a los puntos en los que no se puede dar a la zanja la profundidad necesaria.

### **I.9 Prueba Hidráulica en líneas de Agua Potable**

La finalidad de ejecutar la prueba de la tubería en el campo consiste en comprobar únicamente si el trabajo realizado durante la instalación, el manipuleo y el empalme de los tubos están perfectamente ejecutados. Debe entenderse claramente que esta operación no se refiere a la comprobación de la resistencia del material, tarea que se ha llevado a cabo antes que el tubo salga de la fábrica y que se realiza bajo estrictas normas de control de calidad, de acuerdo a las recomendaciones de las normas nacional y de otras de carácter internacional.

Se aconseja no aumentar mucho la presión de prueba con respecto a la presión de trabajo. La tubería se prueba en fábrica a 4 veces la presión de trabajo, según la clase correspondiente, con lo que queda asegurada ampliamente su resistencia.

Excederlas con el aumento de presión no mejora las condiciones de funcionamiento y si en cambio puede dar lugar a fatigas de los materiales constitutivos del sistema: tubería, piezas especiales, arranques domiciliarios, anclajes, etc.

Antes de efectuar la prueba de presión se debe verificar que la tubería, especialmente las piezas especiales, estén debidamente ancladas. Además debe existir relleno sobre la tubería, con excepción de las conexiones. Este relleno debe tener una altura aproximada a los 50 cm.

En las partes altas de la línea en prueba, cambios de dirección y extremos cerrados, se deberá prever la colocación de una adecuada cantidad de elementos de purga de aire (válvulas), los que permitirán la eliminación del aire que puede introducirse accidentalmente, así como el que trae el agua en disolución al llenar con agua la prueba de presión.

La longitud de la línea de tubería a probar no debe exceder de los 400 metros, recomendándose longitudes menores a medida que se instalen tubos de mayor diámetro.

En relación a las especificaciones técnicas señaladas, se consideran las pruebas siguientes:

- Prueba hidráulica de tuberías y accesorias en zanja abierta.
- Prueba de compactación en el relleno de zanja.
- Prueba hidráulica a zanja tapada.

### **I.9.1 Prueba a zanja abierta**

La presión de prueba será 1.5 veces la presión nominal de la línea de impulsión, conducción y de aducción, medida en el punto más bajo del circuito o tramo en prueba.

Antes de llenar las tuberías con agua, los accesorios deben estar correctamente anclados, lo mismo que efectuado su relleno compactado hasta 30 cm por encima de la clave del tubo, debiendo guardar solo al descubierto todas las uniones.

La bomba de prueba deberá instalarse en la parte más baja de la línea y de ninguna manera en las altas.

Para expulsar el aire de la línea que se está probando, se debe instalar purgas adecuadas en los puntos altos, cambios de dirección y extremos de la misma.

El tiempo mínimo de duración de la prueba será de dos (2) horas, debiendo la línea permanecer durante este tiempo bajo la presión de prueba.



### **I.9.2 Prueba de compactación en el relleno de zanja**

Se procederá a la evaluación del nivel de compactación logrado, no debiendo ser inferior al 95% de la máxima densidad seca del proctor modificado ASTM D 698 ó AASHTO T 180.

De no alcanzar el porcentaje establecido, se deberá hacer las correcciones del caso, debiendo efectuar nuevos ensayos hasta llegar al nivel deseado.

### **I.9.3 Prueba a zanja tapada**

La presión de prueba a zanja tapada con relleno compactado será la misma de la presión nominal de la tubería.

El tiempo mínimo de duración de la prueba a zanja tapada con relleno compactado será de una (1) hora, debiendo la línea de agua permanecer durante este tiempo bajo la presión de prueba.

La bomba de presión se ubica en la parte más baja del circuito en prueba, se purga el aire de la línea colocando un splich en los puntos altos del circuito y en el extremo. El bombeo debe ser lento a fin de no crear turbulencia.

### **I.9.4 Prueba de Deflexión (Para P.V.C.)**

Se verificará en todos los tramos que la deflexión en la tubería instalada no supere el nivel máximo permisible del 5% del diámetro interno del tubo. Para la verificación de esta prueba se hará pasar una bola de madera compacta o un “mandril” (cilindro metálico de 30 cm de largo) con un diámetro equivalente al 95% del diámetro interno del tubo, la misma que deberá rodar libremente en el interior del tubo o deslizarse al ser tirado por medio de un cable desde el buzón extremo, en el caso del cilindro metálico.

Una vez constatado el correcto resultado de las pruebas, se podrá proceder al relleno de la zanja.



## II. INSTALACIÓN DE BOMBAS SUMERGIBLES

### II.1 Generalidades

Es importante que el pozo esté bien perforado, derecho y perpendicular al fondo. Es recomendable que en el momento de instalar la bomba, ésta deberá mantenerse de 3 ó 5 m por debajo del nivel dinámico del pozo según la variación del nivel.

La longitud de cada tramo de la columna de ascenso está normalizada a 10 pies.

Las bombas de pozo se han proyectado para bombeo de aguas claras desde pozos profundos, debiendo tomar las siguientes consideraciones de uso.

- Nunca deben funcionar en seco las bombas sumergibles.
- Nunca debe bombearse agua a temperaturas superiores a 60°C, salvo indicación expresa del fabricante.
- Mientras no se instalen las bombas, éstas deben conservarse en lugares secos y libres de polvo.

Con referencia a su manipulación, se debe usar sistemas de izaje y eslingue idóneo, todo conforme a las normas de seguridad.

Se debe cerciorarse que el grupo esté protegido de la intemperie, de la arena y de la radiación solar directa.

No se debe abandonar en el ambiente del pozo el material de embalaje, evitando la contaminación del ambiente.

### II.2 Controles preliminares

- Revisar siempre la libre rotación de la bomba, operando con el eje evitando en lo posible dañarlo.
- Chequear que la línea de impulsión posea una válvula de retención de cierre rápido para proteger la bomba de eventuales golpes de ariete, una válvula de cierre, un medidor de caudal, una válvula de purga de aire y un manómetro como mínimo.



**Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote.** Choy Bejar, Víctor David

- Las tuberías deberán apoyarse cerca de la boca de impulsión, para evitar desalineamientos en el eje de la bomba, mediante dados de concreto.
- Para el caso de instalación a profundidades superiores a 10m o períodos de inactividad de 15–30 días antes del arranque, es preciso controlar que la línea de transmisión esté llena de agua, se debe chequear que la bomba gire libremente.

El primer arranque se debe efectuar con la válvula de cierre parcialmente abierta, para limitar el arrastre de limo o arena, en el caso que el agua se presente oscura es necesario cerrar ligeramente la válvula hasta obtener una agua clara, posteriormente abrir ligeramente la válvula, controlando que la bomba no bombee una cantidad superior de sólidos de 40 ppm.

### **II.3 Montaje de la Bomba en la Estación de Bombeo**

Para el manejo de la bomba se debe hacer mediante un equipo de elevación apropiado y no debe permanecer debajo de cargas suspendidas.

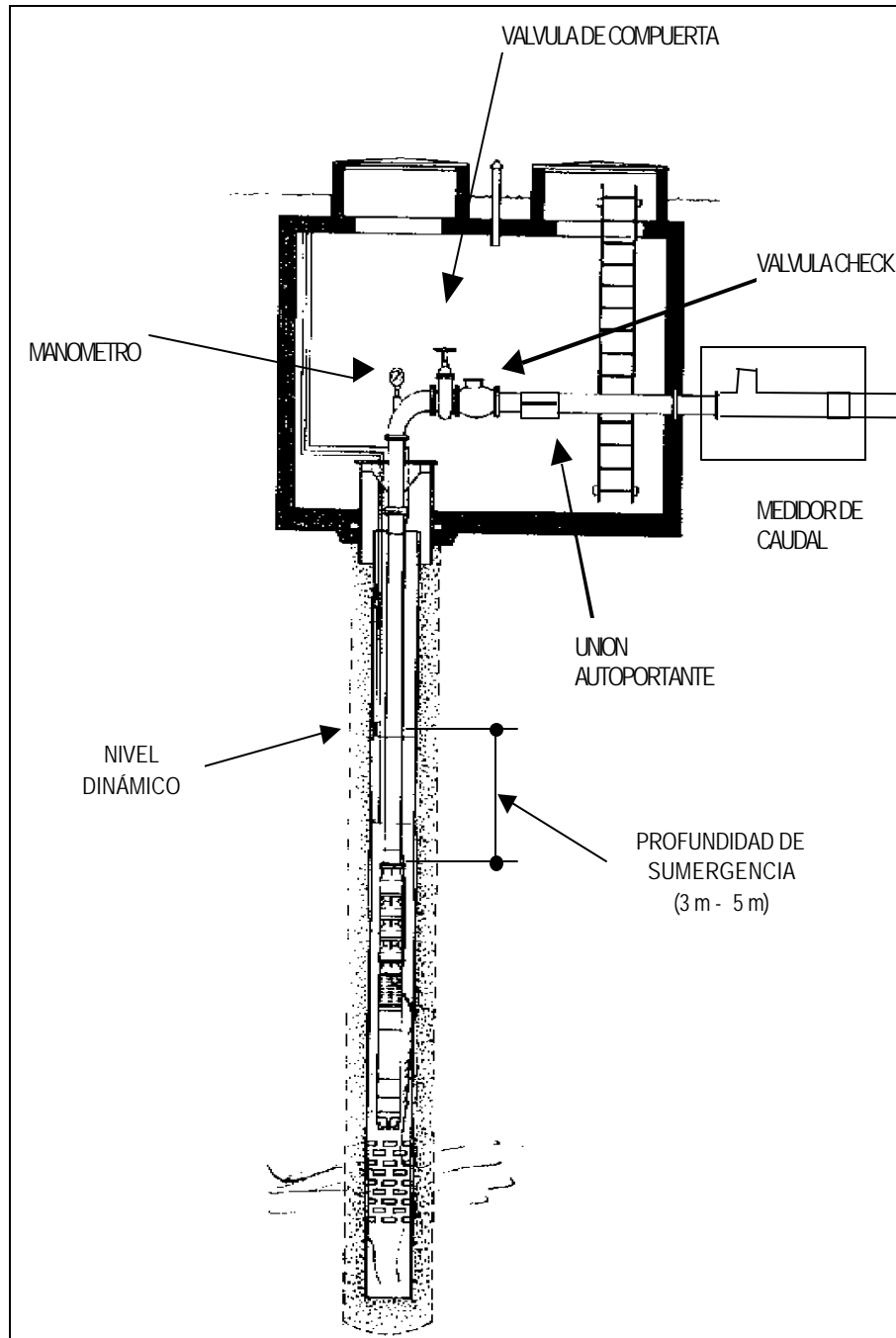
La bomba siempre debe ser suspendida por su asa de elevación nunca de los cables del motor ó la manguera.

La altura mínima entre el gancho de elevación y el suelo deberá ser suficiente como para extraer la bomba del Pozo.

El equipo de elevación deberá ser capaz de elevar y descender la bomba verticalmente, de preferencia en lo posible que no requiera que dicho gancho se desplace.

El uso de un equipo de elevación sobredimensionado puede causar daños en la bomba por el agarrotamiento que puede presentarse al izarla.

*Perfil del Pozo*





Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción del agua subterránea planes de expansión de mínimo costo de agua potable y alcantarillado EPS Chimbote. Choy Bejar, Víctor David

## **METRADO, PRESUPUESTO Y COSTOS UNITARIOS**

---

El metrado, presupuesto y costos unitarios están hechos en base a lo trazado en la presente monografía, siendo extraído del plano de perfil longitudinal en el caso del metrado de la tubería para ser evaluada posteriormente en la elección del diámetro económico.

Además se considera también el uso de equipo pesado y liviano encontrado en la zona, costos de materiales e insumos como arena, piedra, arcilla, etc. de las canteras cercanas a la obra y la mano de obra aledaña para mantener un menor gasto del proyecto.

También está considerado en el presupuesto los precios unitarios de los tubos y accesorios puestos en obra desde Lima incluyendo el flete calculado con la distancia virtual y el peso del objeto.

El precio del equipo de bombeo ha sido estimado en base a su potencia siendo incluida el montaje y desmontaje de equipos encontrados en el pozo así como de las instalaciones eléctricas (Tableros de control, cables, etc.).

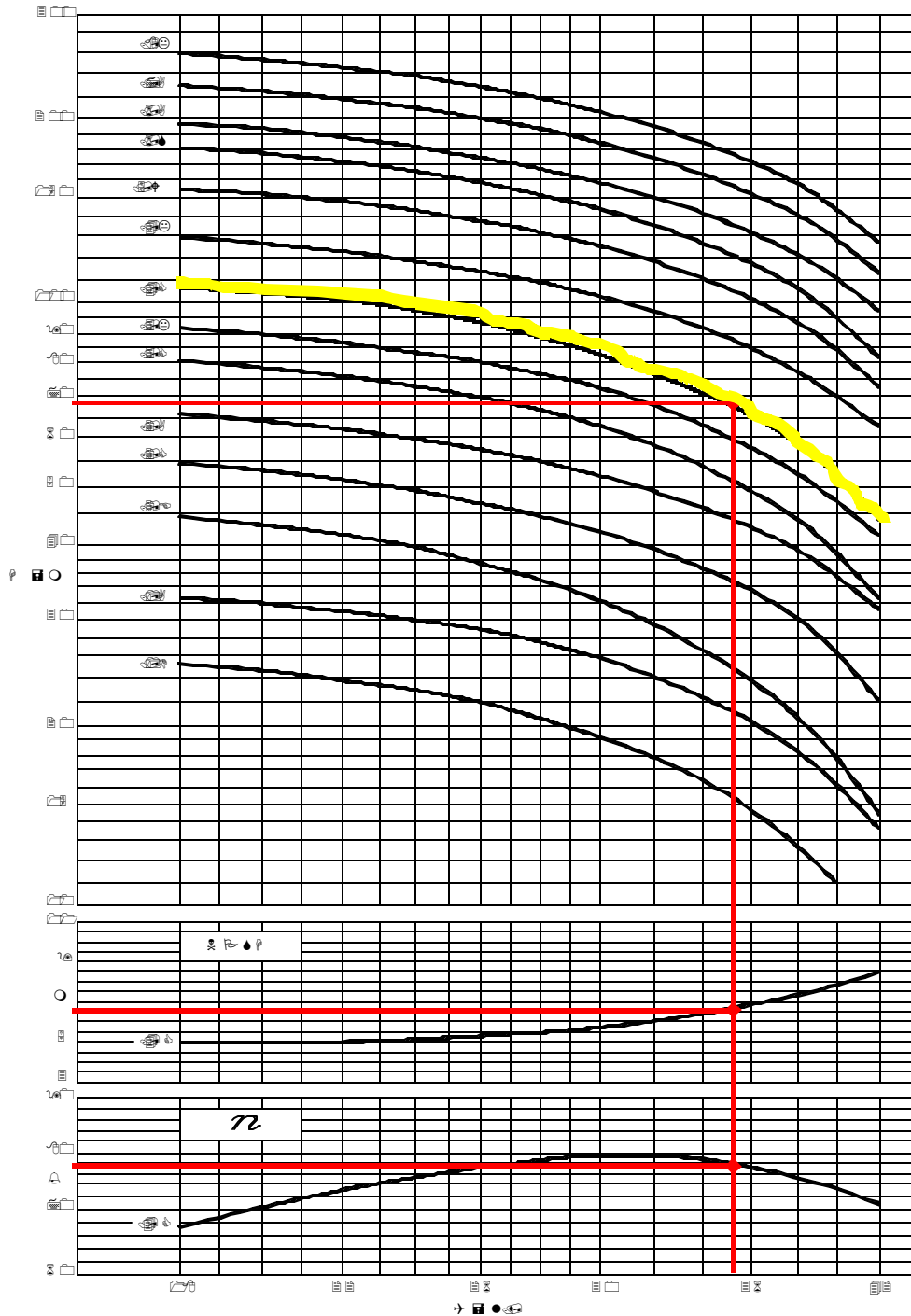
Por último el presupuesto está hecho con precios vigentes al mes de Diciembre del 2001.

**Tabla N° 01.** Caudales de Ingreso al Reservorio R-2A a través del Many-Hall

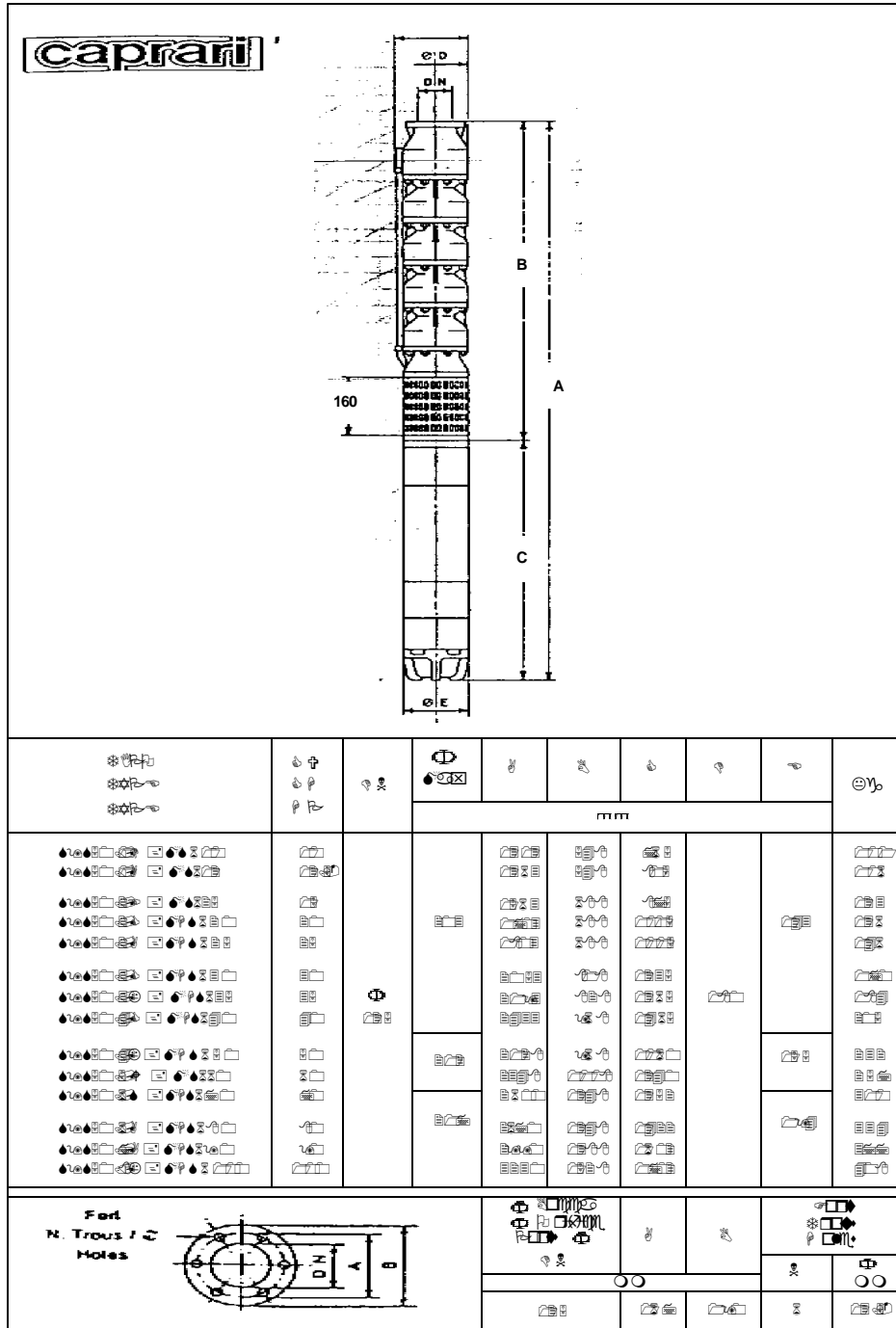
NOMBRE DEL POZO	CAUDAL DE INGRESO (l/s)
P-03	35
P-05	48
P-07	50
P-10	34
P-11	30
P-13	48
P-14	20
P-15	65
P-16	32
P-17	32
<b>CAUDAL TOTAL (l/s)</b>	<b>394</b>



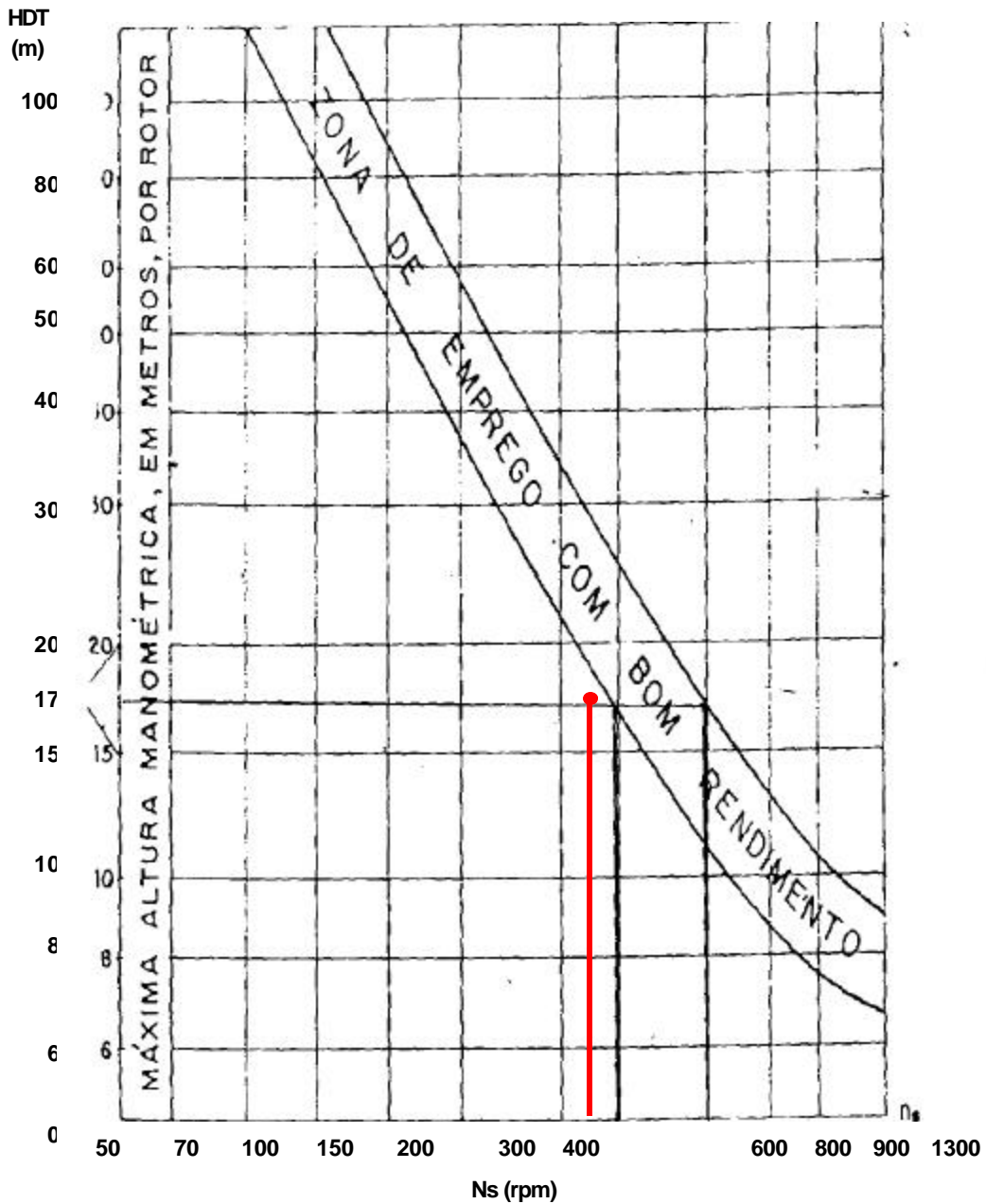
Lamina N° 01. Características de las Bombas Sumergible Utilizables-Modelos



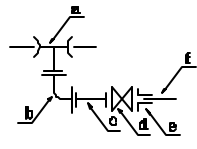
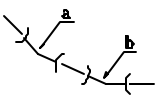






Lamina N° 02. Dimensiones de Modelos de Electrobombas Sumergible



Lamina N° 03. Velocidad Especifica – Zona de Buen Rendimiento.



<b>PROGRESIVA 0+006</b>																																																		
1	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIB</th> <th>DIAMETRO</th> <th>MAT</th> <th>EMP</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CODO 45°</td> <td>CC</td> <td>250</td> <td>PPD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT	1	CODO 45°	CC	250	PPD	PVC	1																																			
ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT																																												
1	CODO 45°	CC	250	PPD	PVC	1																																												
<b>PROGRESIVA 0+032</b>																																																		
2	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIB</th> <th>DIAMETRO</th> <th>MAT</th> <th>EMP</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CODO 45°</td> <td>CC</td> <td>250</td> <td>PPD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT	1	CODO 45°	CC	250	PPD	PVC	1																																			
ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT																																												
1	CODO 45°	CC	250	PPD	PVC	1																																												
<b>PROGRESIVA 0+400 : VALVULA DE PURGA</b>																																																		
VP1	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIB</th> <th>DIAMETRO</th> <th>MAT</th> <th>EMP</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>TUBERIA PRESION ISO 4422 C-7.5</td> <td></td> <td>110</td> <td>PVC</td> <td></td> <td>3.75</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ADAPTADOR DE BRIDA</td> <td></td> <td>100/110</td> <td>FFD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>VALVULA DE COMPUERTA</td> <td>BB</td> <td>100</td> <td>FFD</td> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>UNION FLANGIA BRIDA - MANGUITO DE D.60</td> <td>BB</td> <td>100</td> <td>FFD</td> <td>FFD</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>CODO 90°</td> <td>BB</td> <td>100</td> <td>PPD</td> <td>PPD</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>TEE</td> <td>OCB</td> <td>250/100</td> <td>PPD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT	1	TUBERIA PRESION ISO 4422 C-7.5		110	PVC		3.75	2	ADAPTADOR DE BRIDA		100/110	FFD	PVC	1	3	VALVULA DE COMPUERTA	BB	100	FFD		1	4	UNION FLANGIA BRIDA - MANGUITO DE D.60	BB	100	FFD	FFD	1	5	CODO 90°	BB	100	PPD	PPD	1	6	TEE	OCB	250/100	PPD	PVC	1
ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT																																												
1	TUBERIA PRESION ISO 4422 C-7.5		110	PVC		3.75																																												
2	ADAPTADOR DE BRIDA		100/110	FFD	PVC	1																																												
3	VALVULA DE COMPUERTA	BB	100	FFD		1																																												
4	UNION FLANGIA BRIDA - MANGUITO DE D.60	BB	100	FFD	FFD	1																																												
5	CODO 90°	BB	100	PPD	PPD	1																																												
6	TEE	OCB	250/100	PPD	PVC	1																																												
<b>PROGRESIVA 0+680</b>																																																		
3	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIB</th> <th>DIAMETRO</th> <th>MAT</th> <th>EMP</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CODO 22.5°</td> <td>CC</td> <td>250</td> <td>FFD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>CODO 11.25°</td> <td>CC</td> <td>250</td> <td>FFD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT	1	CODO 22.5°	CC	250	FFD	PVC	1	1	CODO 11.25°	CC	250	FFD	PVC	1																												
ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT																																												
1	CODO 22.5°	CC	250	FFD	PVC	1																																												
1	CODO 11.25°	CC	250	FFD	PVC	1																																												
<b>PROGRESIVA 0+840</b>																																																		
4	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIB</th> <th>DIAMETRO</th> <th>MAT</th> <th>EMP</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CODO 11.25°</td> <td>CC</td> <td>250</td> <td>FFD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT	1	CODO 11.25°	CC	250	FFD	PVC	1																																			
ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT																																												
1	CODO 11.25°	CC	250	FFD	PVC	1																																												
<b>PROGRESIVA 0+900</b>																																																		
5	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIB</th> <th>DIAMETRO</th> <th>MAT</th> <th>EMP</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CODO 11.25°</td> <td>CC</td> <td>250</td> <td>FFD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT	1	CODO 11.25°	CC	250	FFD	PVC	1																																			
ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT																																												
1	CODO 11.25°	CC	250	FFD	PVC	1																																												
<b>PROGRESIVA 0+920</b>																																																		
6	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIB</th> <th>DIAMETRO</th> <th>MAT</th> <th>EMP</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CODO 11.25°</td> <td>CC</td> <td>250</td> <td>FFD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT	1	CODO 11.25°	CC	250	FFD	PVC	1																																			
ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT																																												
1	CODO 11.25°	CC	250	FFD	PVC	1																																												
<b>PROGRESIVA 0+962</b>																																																		
7	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ATRIB</th> <th>DIAMETRO</th> <th>MAT</th> <th>EMP</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CODO 11.25°</td> <td>CC</td> <td>250</td> <td>PPD</td> <td>PVC</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT	1	CODO 11.25°	CC	250	PPD	PVC	1																																			
ID	DESCRIPCION	ATRIB	DIAMETRO	MAT	EMP	CANT																																												
1	CODO 11.25°	CC	250	PPD	PVC	1																																												
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS E.A.P. INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS																																																		
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>TITULO:</td> <td>RESUMEN DE NUDOS POR ACCESORIOS LINEA DE IMPULSION PROYECTADA : POZO P-03 AL RESERVORIO R-2A</td> <td>LAMINA N°:</td> <td>04</td> </tr> <tr> <td>ELABORADO:</td> <td>BACH. VICTOR DAVID CHOY BEJAR</td> <td>ESCALA:</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>FECHA:</td> <td>MAYO 2002</td> </tr> </tbody> </table>		TITULO:	RESUMEN DE NUDOS POR ACCESORIOS LINEA DE IMPULSION PROYECTADA : POZO P-03 AL RESERVORIO R-2A	LAMINA N°:	04	ELABORADO:	BACH. VICTOR DAVID CHOY BEJAR	ESCALA:				FECHA:	MAYO 2002																																					
TITULO:	RESUMEN DE NUDOS POR ACCESORIOS LINEA DE IMPULSION PROYECTADA : POZO P-03 AL RESERVORIO R-2A	LAMINA N°:	04																																															
ELABORADO:	BACH. VICTOR DAVID CHOY BEJAR	ESCALA:																																																
		FECHA:	MAYO 2002																																															

