



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS  
EXACTAS FÍSICAS Y NATURALES

PRÁCTICA SUPERVISADA - INGENIERÍA CIVIL  
**Bombeo Central Térmica Roca S.A**

Alumno: Oliver Juan Sebastián

Tutor interno: MSC. ING. GERARDO HILLMAN

Tutor externo: ING. JUAN OLIVER

Empresa: SINAR S.R.L

Fecha: 16/08/2013

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente práctica es un esfuerzo en el cual participaron numerosas personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dándome ánimo y acompañándome.

Agradezco la ayuda de mi tutor Gerardo Hillman quién me orientó dedicando su tiempo y paciencia durante la ejecución de este trabajo, por su aporte basado en la experiencia y conocimiento.

A mi familia quienes me acompañaron y apoyaron de forma incondicional, no sólo en mi carrera sino a lo largo de toda mi vida, brindándome su amor y confianza.

Además agradezco a mi novia y compañera Carolina quien estuvo presente brindándome su apoyo y cariño para lograr mis metas.

Gracias también a mis queridos amigos, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos años de convivir dentro y fuera de la facultad.

## INDICE

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | INTRODUCCIÓN.....   | 7  |
| 2.     | OBJETIVOS.....  | 9  |
| 2.1.   | CÁLCULO HIDRÁULICO DE LAS PÉRDIDAS.....                                 | 9  |
| 2.2.   | DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA QUE TRANSPORTA EL AGUA.....              | 9  |
| 2.3.   | SELECCIÓN DE BOMBAS NECESARIAS PARA EL TRABAJO.....                     | 9  |
| 2.4.   | VERIFICACIÓN DE LA TUBERÍA ACTUANDO COMO VIGA EN CRUCES ESPECIALES..... | 9  |
| 2.5.   | VERIFICACIÓN DE LOS MUERTOS DE ANCLAJE EN LOS CONDUCTOS VERTICALES..... | 9  |
| 2.6.   | REALIZACIÓN DEL PERFIL PLANIALTIMÉTRICO.....                            | 10 |
| 3.     | DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....                          | 11 |
| 3.1.   | INTRODUCCIÓN.....   | 11 |
| 3.2.   | UBICACIÓN.....  | 11 |
| 4.     | DESCRIPCIÓN DE OBRAS.....   | 14 |
| 4.1.   | INTRODUCCIÓN.....   | 14 |
| 4.2.   | CAPTACIÓN.....  | 19 |
| 4.2.1. | INTRODUCCIÓN.....   | 19 |
| 4.2.2. | CAPTACIÓN EN EL RIO NEGRO.....  | 19 |
| 4.3.   | CONDUCCIÓN.....   | 23 |
| 4.3.1. | INTRODUCCIÓN.....   | 23 |
| 4.3.2. | DESCRIPCIÓN DE LA CAÑERÍA.....  | 23 |
| 4.4.   | BLOQUES DE ANCLAJE.....   | 29 |
| 4.4.1. | INTRODUCCIÓN.....   | 29 |
| 4.4.2. | DESCRIPCIÓN.....  | 29 |
| 4.5.   | CISTERNA DE REBOMBEO.....   | 30 |
| 4.5.1. | INTRODUCCIÓN.....   | 30 |
| 4.5.2. | DESCRIPCIÓN.....  | 30 |
| 5.     | MEMORIA TÉCNICA DEL PROYECTO.....                                       | 32 |
| 5.1.   | PÉRDIDAS EN CAÑERIAS.....   | 32 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.1.1. | HAZEN-WILLIAMS.....                            | 33 |
| 5.2.   | SELECCIÓN DE CONDUCTO.....                     | 37 |
| 5.2.1. | INTRODUCCIÓN.....                              | 38 |
| 5.2.2. | SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA CAÑERÍA.....      | 38 |
| 5.2.3. | DIMENSIONAMIENTO DE LA CAÑERÍA.....            | 40 |
| 5.3.   | SELECCIÓN DE BOMBA.....                        | 49 |
| 5.3.1. | INTRODUCCIÓN.....                              | 50 |
| 5.3.2. | REQUERIMIENTO CAPTACIÓN.....                   | 50 |
| 5.3.3. | REQUERIMIENTO REBOMBEO.....                    | 52 |
| 5.4.   | ANCLAJES.....                                  | 54 |
| 5.5.   | CÁLCULO DE ANCLAJE.....                        | 58 |
| 5.5.1. | INTRODUCCIÓN.....                              | 58 |
| 5.6.   | CÁLCULOS.....                                  | 58 |
| 5.7.   | VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL OMEGA.....        | 61 |
| 5.7.1. | INTRODUCCIÓN.....                              | 61 |
| 5.7.2. | VERIFICACIÓN.....                              | 61 |
| 6.     | CÓMPUTO METRICO Y PRESUPUESTO.....             | 62 |
| 6.1.   | ÍTEM A.3.1-EXCAVACION Y RELLENO EN ZANJA.....  | 62 |
| 6.2.   | ÍTEM A.3.2- CAÑERÍAS Y ACCESORIOS DE PRFV..... | 62 |
| 6.3.   | ÍTEM A.3.3 VÁLVULAS Y ACCESORIOS:.....         | 63 |
| 6.4.   | ÍTEM A.3.4 RESOLUCIÓN DE INTERFERENCIAS.....   | 63 |
| 6.5.   | DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO.....               | 63 |
| 7.     | CONCLUSIÓN.....                                | 64 |
| 7.1.   | INTRODUCCIÓN.....                              | 64 |
| 7.2.   | CONCLUSIONES.....                              | 65 |
| 8.     | BIBLIOGRAFÍA.....                              | 66 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Imagen general de la zona de estudio (Google earth).....             | 12 |
| Figura 2. Ampliacion imagen zona de estudio. (Google Earth).....               | 12 |
| Figura 3. Mapa del Río Negro.....  | 14 |
| Figura 4. Esquema ciclo combinado.....   | 15 |
| Figura 5. Torre de enfriamiento. Cara frontal y lateral derecho.....           | 16 |
| Figura 6. Progresivas del conducto. (Google Earth).....                        | 17 |
| Figura 7. Esquema altimetrico captación.....                                   | 18 |
| Figura 8. Toma del Río Negro.....  | 19 |
| Figura 9. Esquema de la toma.....  | 21 |
| Figura 10. Esquema de Captación.....   | 23 |
| Figura 11. Cruce apoyado en puente.....  | 25 |
| Figura 12. Cruce en omega.....   | 25 |
| Figura 13. Cruce con tunel encamisado de acero.....                            | 25 |
| Figura 14. Cruce directo.....  | 26 |
| Figura 15. Puente metálico.....  | 28 |
| Figura 16. Esquema muerto de anclaje.....                                      | 30 |
| Figura 17. Ubicacion Rebombeo.....   | 31 |
| Figura 18. Ubicación de sondeos.....   |    |
| Figura 19. Tabla de radios en curvas ( Taylor Forge engineered systems a)..... | 36 |
| Figura 20. Tabla factor K (Crane).....   | 37 |
| Figura 21. Factor k en curvas y codos.....                                     | 37 |
| Figura 22. Comparativa Curva de Performance.....                               | 51 |
| Figura 23. Comparativa curva de rendimiento.....                               | 51 |
| Figura 24. Comparativa curva rendimiento.....                                  | 52 |
| Figura 25. Comparativa curva performance rebombeo.....                         | 53 |
| Figura 26. Comparativa curva de potencia rebombeo.....                         | 53 |
| Figura 27. Comparativa curva de rendimiento rebombeo.....                      | 54 |
| Figura 28. Empuje en cañerías.....   | 55 |
| Figura 29. Esquema de esfuerzos debido a cambio de direccion.....              | 56 |
| Figura 30- Empuje Pasivo.....  | 57 |
| Figura 31. Esquema muerto de anclaje.....                                      | 59 |
| Figura 32. Esquema de fuerzas.....   | 60 |

## INDICE DE TABLAS

|  |  |
|--|--|
| Tabla 1. Dimensiones del Río Negro.....  |  |
| Tabla 2. Tabla de coeficientes.....  |  |
| Tabla 3. Tabla de coeficientes de pérdidas ( pintar todo recuadro =).....      |  |
| Tabla 4. Longitud necesaria PRFV.....  |  |
| Tabla 5. Precios de cañerías PRFV.....   |  |
| Tabla 6. Tabla costo Total cañería PRFV.....                                   |  |
| Tabla 7. Tabla de costo Total cañería acero.....                               |  |
| Tabla 8. Datos de cálculo del primer tramo del bombeo.....                     |  |
| Tabla 9. Resumen Valores de Hazen-Williams.....                                |  |
| Tabla 10. Cálculo de pérdida de carga J en distintos diámetros de cañería..... |  |
| Tabla 11. Datos de cálculo del segundo tramo de bombeo.....                    |  |
| Tabla 12. Cálculo de pérdida de carga J en distintos diámetros de cañería..... |  |
| Tabla 13. Tabla de comparación codo vs curvas.....                             |  |
| Tabla 14. Cálculo de pérdidas debido a singularidades.....                     |  |
| Tabla 15. Cálculo de presión en la cañería (Primer tramo).....                 |  |
| Tabla 16. Cálculo de presión en cañería (segundo tramo).....                   |  |
| Tabla 17. Ubicación muertos de anclaje.....                                    |  |



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe refleja los trabajos realizados en la práctica supervisada del alumno Juan Sebastián Oliver, en el cumplimiento de los requerimientos de la carrera Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba

Esta Práctica Supervisada se desarrolló en la empresa SINAR S.R.L. Los tutores designados para la ejecución de la misma fueron el MSc. Ing. Gerardo Hillman por parte de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba y el Ing. Juan José Oliver por parte de la firma SINAR S.R.L.

El objetivo central del presente trabajo consistió en la selección de los equipos de bombeo y cañerías para el abastecimiento de agua a la central Termo Roca S.A, con el fin de incorporar un ciclo combinado en la generación de energía eléctrica. Esto producirá un aumento en la capacidad de generación de la planta de 126MW a 180MW.

La Central Térmica Roca está ubicada en la localidad de General Roca, Río Negro y fue adquirida por el grupo Albanesi, en el mes de Mayo del 2011.

Posee una turbina General Electric, modelo PG9171E, de 126MW de capacidad nominal de generación con todas sus instalaciones gasoducto, línea de alta tensión y transformadores.

La Central se encontraba fuera de servicio desde enero de 2009 por una falla grave producida en la turbina que afectó también al generador.

La primera etapa del proyecto consistió en la reparación del equipamiento afectado y el reemplazo del rotor, mientras que la segunda etapa contempla la implementación del sistema de combustible líquido que permitirá el uso de gas oil como combustible alternativo, dado que actualmente funciona únicamente con gas. .

A su vez se harán inversiones en las instalaciones auxiliares, tanques de gas oil y playa de descarga de combustible.

El inicio de la operación comercial, y puesta a disposición del sistema fue Junio de 2012.

A continuación se explicará el contenido de la Práctica Supervisada.

- En el capítulo 2 se presentan los objetivos de la práctica, enumerando y explicando las tareas realizadas. También se mencionan otras tareas concebidas para la compleción del proyecto.
- El capítulo 3 consiste en la ubicación de la zona de estudio y se presentaran las características del Río Negro, que será de donde se extraerá el agua para el abastecimiento de la central Térmica Roca S.A.



- En el capítulo 4 se realiza una descripción de las obras que se efectuarán. Entre estas se encuentran la captación, el tipo de cañería utilizado, los bloques de anclaje para no permitir el deslizamiento de la cañería y también una descripción de la cisterna de rebombeo.
- El capítulo 5 presenta la memoria técnica del proyecto, en la cual se muestran los métodos utilizados para los distintos cálculos. Además se muestran los criterios y los cálculos utilizados para cada tarea, con sus respectivos resultados y verificaciones necesarias.
- En el capítulo 6 se muestra resumidamente el cómputo y presupuesto de la captación del agua.
- Por último en el capítulo 7, se resumen las principales conclusiones obtenidas a lo largo del presente trabajo de Practica Supervisada.





## **2. OBJETIVOS**

El objetivo central del presente trabajo consistió en el proyecto de acueducto de agua a la central Térmica Roca S.A para lo cual se desarrollaron de las siguientes tareas:

### **2.1. Cálculo hidráulico de las pérdidas**

Se calcularon las pérdidas totales, en las cuales se distinguen:

- Pérdidas debido a fricción.
- Pérdidas debido a accesorios.
- Pérdidas debido a cambio de dirección.
- Pérdidas debido a entrada y salida en cañerías.

### **2.2. Dimensionamiento de la tubería que transporta el agua**

En esta sección se dimensionó la tubería y se eligió el tipo de material a utilizar. Se tuvo en cuenta para el dimensionamiento de esta, la velocidad admisible del fluido, la pérdidas por fricción (son las más significativas). Para la selección del material a utilizar, se realizó un análisis económico y de disponibilidad en el mercado.

### **2.3. Selección de bombas necesarias para el trabajo**

A partir de los requerimientos necesarios para cada etapa se seleccionaron las bombas necesarias para realizar la tarea a partir de un criterio de eficiencia. Se limitó solo a 2 empresas.

### **2.4. Verificación de la tubería actuando como viga en cruces especiales**

Se verificaron las deformaciones admisibles de la tubería actuando como viga en cruces en Omega.

### **2.5. Verificación de los muertos de anclaje en los conductos verticales**



Se verificó la seguridad al desplazamiento vertical y horizontal de los muertos de anclajes debido al cambio de dirección en el desplazamiento del fluido.

## 2.6. Realización del perfil planialtimétrico

Se realizó el perfil planialtimétrico, con la posterior confección de los planos en el programa Autocad.

Otras tareas realizadas fueron:

- Nivelación de tramos específicos para la corrección del perfil planialtimétricos y para practica del alumno
- Ayuda en la planificación del trazado del caño
- Confección de detalles en Autocad: Cisternas, bombeo, cruces, etc.
- Obtención de valores de distintos ítems para la posterior confección del presupuesto.
- Presentación de planos en el consejo de ingeniería.



### **3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **3.1. Introducción**

La central Térmica Roca S.A es una central convencional, es decir produce energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor mediante la combustión de combustibles fósiles. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica. Con el fin de aumentar la capacidad de generación actual de 126MW a 180MW se incorporará un ciclo combinado. Para que el ciclo funcione, es necesaria el agua provista por el conducto para las torres de enfriamiento.

La central está ubicada a 10 km de la ciudad de General Roca, Río Negro. A continuación se detallara el lugar de emplazamiento de la obra

#### **3.2. Ubicación**

General Roca, también denominada regionalmente Roca, es una ciudad argentina ubicada al noroeste de la provincia de Río Negro, en el departamento General Roca y en el norte de la Patagonia Argentina.

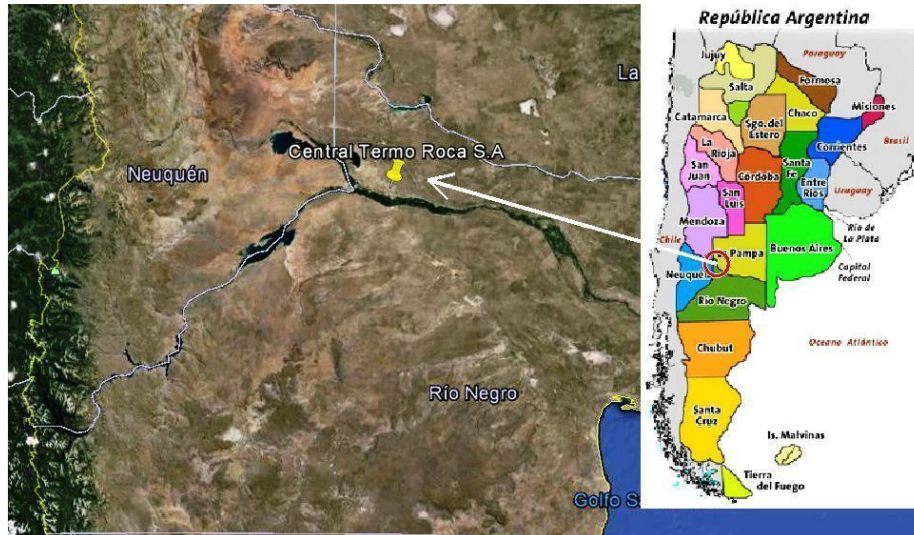


Figura 1. Imagen general de la zona de estudio (Google earth).

A continuación se muestra una foto más detallada (Figura 2) en la cual se aprecia la zona del Alto Valle, en donde se destacan la ciudad de Neuquén, Cipolletti, General Roca y Regina.



Figura 2. Ampliación imagen zona de estudio. (Google Earth)

La captación se realizará en el Río Negro, como puede apreciarse en la figura 2. Se realizará una breve descripción de este.



El río Negro es el curso de agua más importante de la provincia argentina de Río Negro y también de la Patagonia en cuanto a su caudal. Tiene una longitud de 635 km, aunque con una de sus cabeceras, el río Limay, la longitud total del sistema fluvial Negro-Limay llega hasta los 1.252 km.

El río Negro nace nominalmente de la confluencia de los ríos Limay y Neuquén, en el extremo oriental la provincia del Neuquén, y fluye en dirección este-sudeste en territorio rionegrino hasta alcanzar al océano Atlántico cerca del balneario El Cóndor, 30 kilómetros al sur de Viedma, capital de la provincia. En el último tramo de su curso constituye el límite natural entre las provincias de Río Negro y Buenos Aires.

Es un río de carácter alóctono, ya que no recibe afluentes, con gran cantidad de meandros e islas fluviales, destacándose por su superficie la de Choele Choele. Discurre entre las bardas o terrazas que forman las mesetas patagónicas, a través de un valle de inundación de ancho variable y tierras muy fértiles producto de la sedimentación.

Su cuenca está altamente humanizada, ya que su caudal se encuentra regulado por las represas que se encuentran en los ríos Limay y Neuquén y es repartido entre los diversos canales de regadío presentes. La fertilidad del valle ha sido aprovechada para generar uno de los mayores oasis de regadío del país, en el cual se cultivan mayoritariamente manzanas, peras, duraznos, tomates, entre otras frutas y hortalizas. El valle constituye el área más densamente poblada de toda la Patagonia. La cuenca del río es generalmente dividida en tres partes: Alto Valle del Río Negro, al oeste, donde se encuentran, entre otras, las ciudades de General Roca y Cipolletti; Valle Medio centrado en la ciudad de Choele Choele; y el Valle Inferior en la desembocadura del río, con Viedma como ciudad más importante de esa área.

Tabla 1. Dimensiones del Río Negro

| Dimensiones             |   |
|-------------------------|---|
| Longitud                | Solo,635 km; Sistema Negro-Limay,1.252 km |
| Superficie de la cuenca | 132.275 <a href="#">km<sup>2</sup></a>    |
| Caudal medio            | 1.014 <a href="#">m<sup>3</sup>/s</a>     |

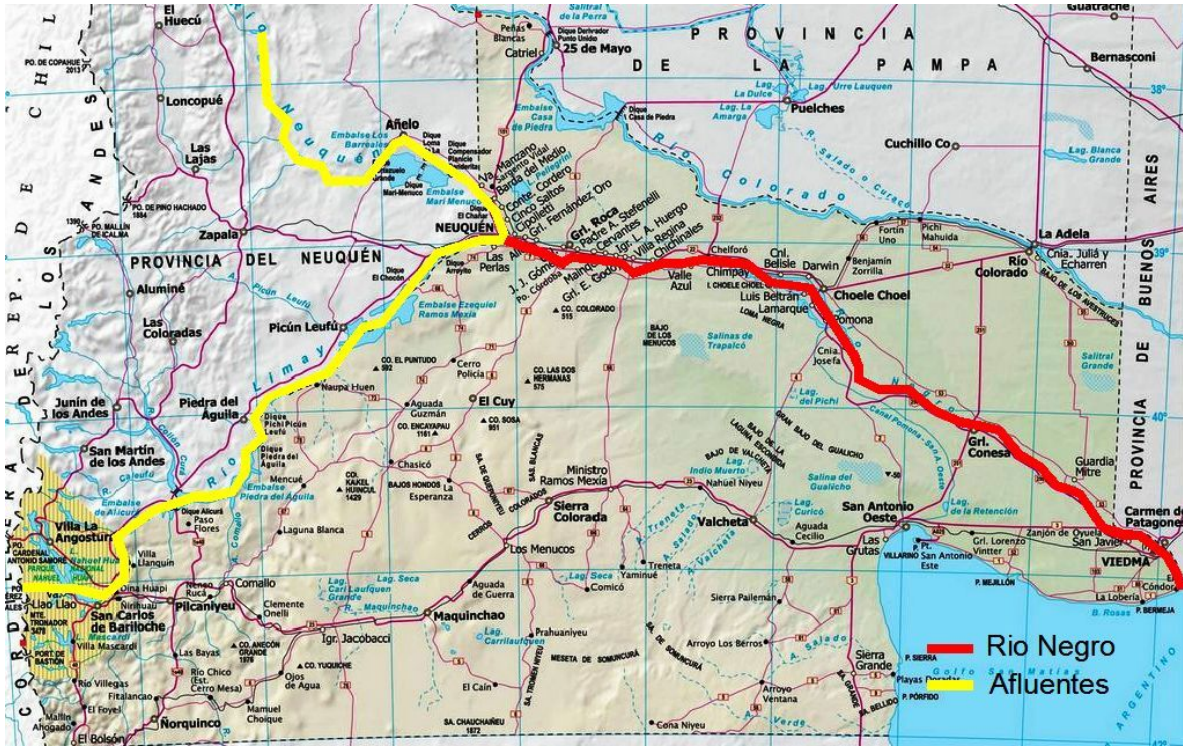


Figura 3. Mapa del Río Negro

## 4. DESCRIPCIÓN DE OBRAS

### 4.1. Introducción

Con el fin de aumentar la capacidad de generación actual de la central Térmica Roca S.A de 126MW a 180MW se incorporará un ciclo combinado. La planta actual genera electricidad a partir del calor liberado por la combustión de gas. Este calor se emplea en un ciclo termodinámico para mover un alternador y así producir la energía eléctrica. Los gases de escape de la turbina de gas tienen una elevada temperatura y se utilizarán para producir vapor que mueve una segunda turbina, esta vez de vapor. Cada una de estas turbinas está acoplada a su correspondiente alternador para generar energía eléctrica. Actualmente se emplea acoplarlas a un mismo eje de manera que accionan un mismo generador eléctrico. Se adjunta un esquema básico de funcionamiento de una central térmica de ciclo combinado

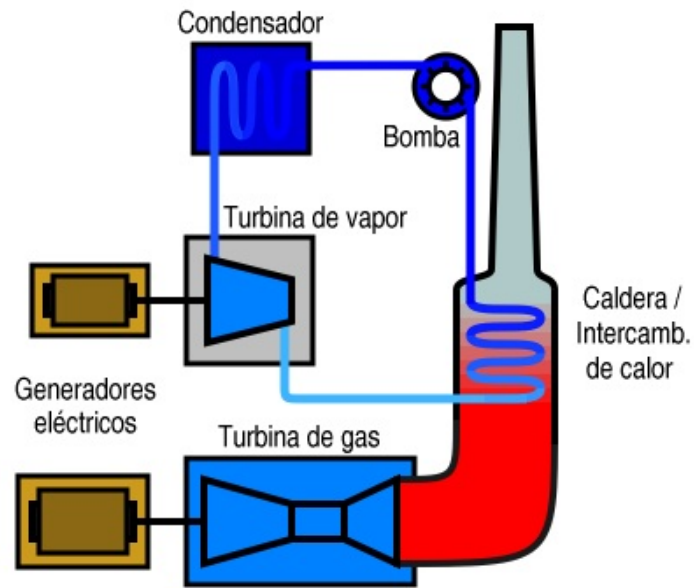


Figura 4. Esquema ciclo combinado

El agua que necesita la Central es para la parte del condensador, específicamente en las torres de enfriamiento. Su función es la de condensar el vapor y así después bombear el agua devuelta para comenzar un nuevo ciclo. Se adjunta a continuación una foto de la torre de enfriamiento que dispone la central.



Figura 5. Torre de enfriamiento. Cara frontal y lateral derecho

Para abastecer de agua a la torre de enfriamiento se diseña un acueducto, que tendrá como inicio la captación directa sobre el Río Negro en la zona conocida como Paso Córdoba.

La traza del acueducto se desarrollará a la vera de la Ruta Provincial N° 6, por la Banquina Oeste hasta aproximadamente la progresiva 7+030, donde comienza un tendido de fibra óptica de la empresa Claro. Para evitar esta interferencia se decidió realizar un cruce de la ruta y seguir el tendido por la banquina Este, hasta la culminación del primer tramo, en la Cisterna de Rebombear. Esta obra estará ubicada a orillas del Canal Principal de Riego. Desde allí, y a través de un rebombear, la traza del acueducto continuará siempre a la vera de la Ruta Provincial N° 6 por la banquina Este hasta llegar a la Central Termoeléctrica, aproximadamente en la progresiva 19+850. Todo esto se ve reflejado en la figura 6, que se muestra a continuación



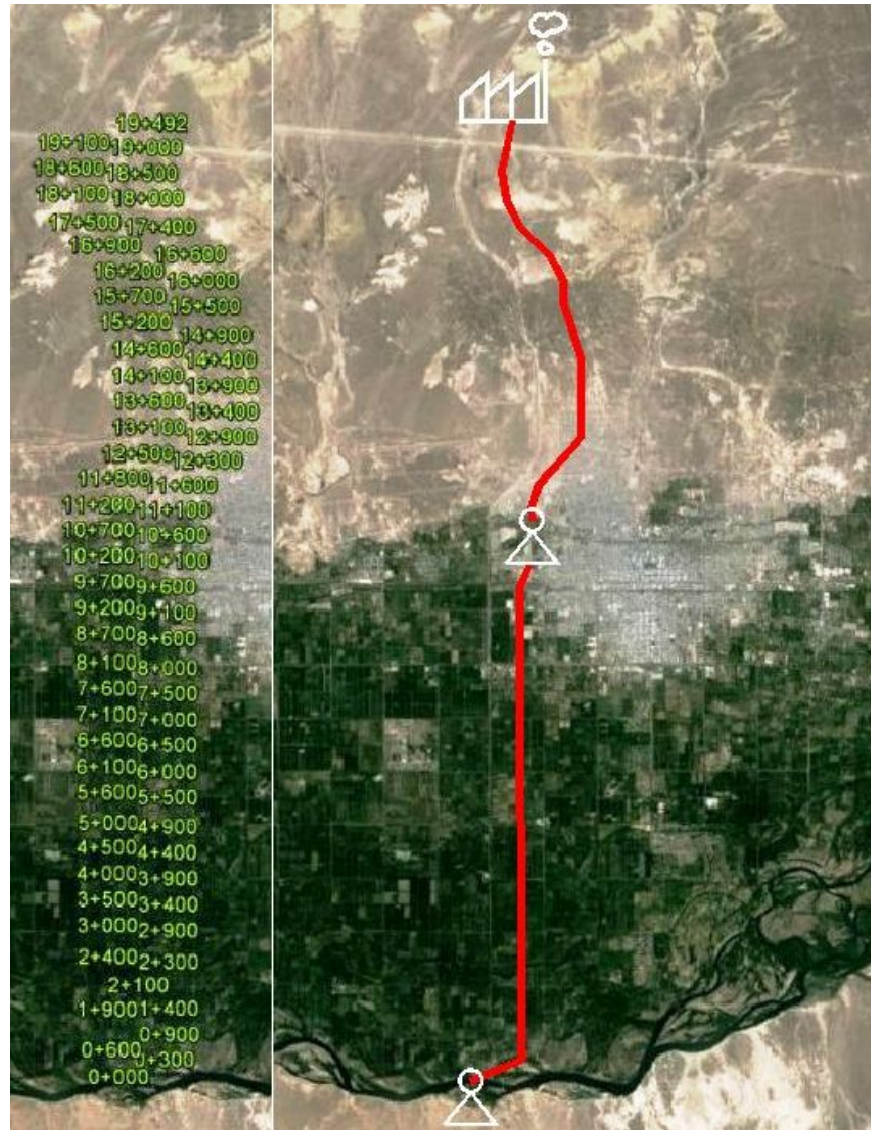


Figura 6. Progresivas del conducto. (Google Earth)

Paso previo a esta definición se evaluó la posibilidad de un abastecimiento directo (sin rebombeo) desde el Río Negro. Esta alternativa quedó desestimada por dos cuestiones: la primera mayor inversión inicial, bombas de mayor potencia y la segunda por un mayor gasto de energía eléctrica y mantenimiento de los equipos.

El primer desafío fue salvar la diferencia de nivel desde el punto de partida en la toma hasta el punto de llegada a la Central.

El esquema siguiente es la opción final adoptada del proyecto. Como se puede apreciar hay un desnivel de 5m a lo largo de 10800m, progresiva donde se realiza una estación de rebombeo, para salvar 101m en los 9050m restantes de la conducción.

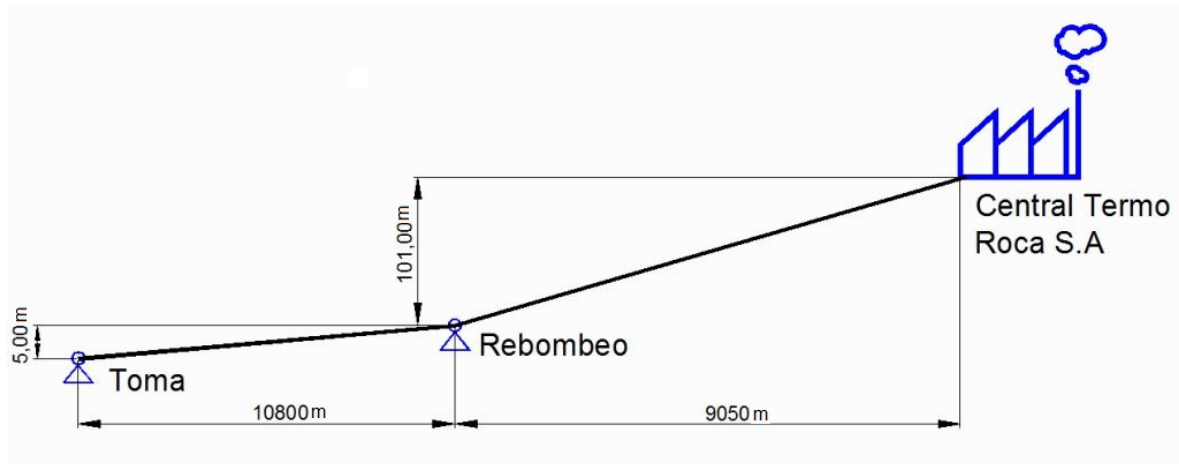


Figura 7. Esquema altimétrico captación

El segundo aspecto fue calcular la carga necesaria de las bombas para transportar el agua primero desde la toma hasta la estación de rebombero y luego de ahí hasta la Central. Para esto se tuvieron en cuenta además de la variación de la altura geométrica:

- Pérdidas en el conducto debido a la fricción
- Pérdidas de entrada y salida, por reducción del conducto
- Pérdidas singulares entre las cuales destacamos: Cambio de dirección, válvula mariposa, válvula de cierre,

El tercer aspecto a resolver fueron las interferencias en el trazado del conducto, ya que en todo su desarrollo, nos encontraremos con cruces especiales de canales, desagües, rutas, calles, vías de ferrocarril. Más adelante se desarrollará la resolución cada una de estas.

A continuación se adjuntan los planos del perfil planialtimétrico final del proyecto. Seguido de esto se hará una descripción general de las obras proyectadas:

1. Captación
2. Bombeo
3. Conducción
4. Bloques de anclaje
5. Cisterna de rebombero



## 4.2. CAPTACIÓN

### 4.2.1. Introducción

Las tomas fluviales y en ellas, la selección del punto de extracción, son sin duda, las más delicadas de todas las obras de captación, puesto que el agua de los ríos presenta problemas de calidad, variaciones estacionales de la temperatura, contaminación “aguas arriba” por efluentes urbanos e industriales.

A continuación se hará una descripción de la obra de captación, luego acompañada por un esquema en donde se aprecie la configuración final adoptada.

### 4.2.2. Captación en el Río Negro

La captación se hará sobre el Río Negro. La ubicación regional de este se puede apreciar en la figura 8, mientras que en la figura 9 se presenta el esquema con la disposición de las bombas y el sentido de la captación.



Figura 8. .Toma del Río Negro



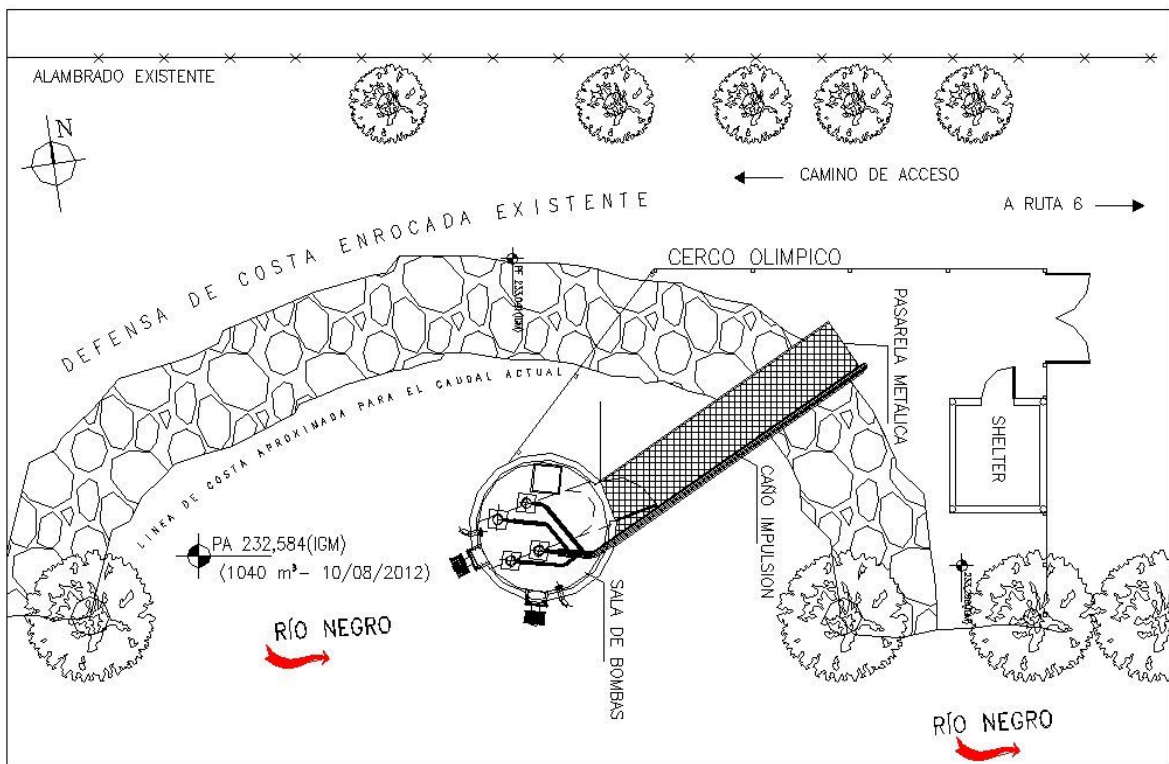


Figura 9. Esquema de la toma



La captación se hará a través de una Cámara de Captación circular de Hormigón Armado de 4,00 m de diámetro interior y paredes de 25 cm de espesor con una altura total de 8,70 m. Se encuentra ubicada dentro del Río Negro. Al pie de la Cámara se protegerá con un enrocado para evitar la socavación.

El ingreso de agua a la Cámara de captación se produce a través de 2 filtros de sección circular con una capacidad de aproximada de 230 m<sup>3</sup>/hs y dos orificios de 25 cm de diámetro, a utilizarse durante tareas de mantenimiento, tanto los filtros como los orificios tendrán válvulas mariposa.

Los filtros podrán izarse para mantenimiento y limpieza a través de guías y malacates ubicados en la parte superior. Adicionalmente y a efectos de contemplar el retiro de estos para su mantenimiento, se ha previsto la inclusión de dos tomas auxiliares proyectadas en caño de acero de  $\varnothing 10''$  con sendas válvulas mariposas operadas desde el coronamiento.

La finalidad de los filtros es para evitar el ingreso de algas o sedimentos a la cámara de captación y originen taponamientos en las bombas. Los filtros estarán ubicados entre cotas IGM 229,500 y 230,000 m [snm] lo cual asegurará que aun con los mínimos niveles en el río, habrá un tirante suficiente para poder captar agua. (rango operación obra toma )

Está previsto la instalación de cuatro equipos de bomba-motor centrifugas, de las cuales 3 estarán en continuo funcionamiento para un total de 300 m<sup>3</sup>/hs, se irán rotando con la 4 bomba y deberán cumplir con las siguientes características:

Caudal: 100 m<sup>3</sup>/hs     $\Delta h = 40$  m    POTENCIA: 20 HP.

De acuerdo a los distintos catálogos de bombas analizados, para un caudal de 100 m<sup>3</sup>/hs se utilizaran bombas cuyo diámetro de descarga es de  $\varnothing 6''$ , las bombas estarán conectadas a un colector principal de  $\varnothing 350$  mm por medio de caños de acero de  $\varnothing 6''$ . En salida de cada bomba se instalaran válvulas de retención y válvulas mariposas de cierre. Sobre el colector principal se instalaran las válvulas de aire y de protección anti ariete. Por medio de una reducción concéntrica y una transición bridada se realizara el empalme del colector de acero a PRFV.

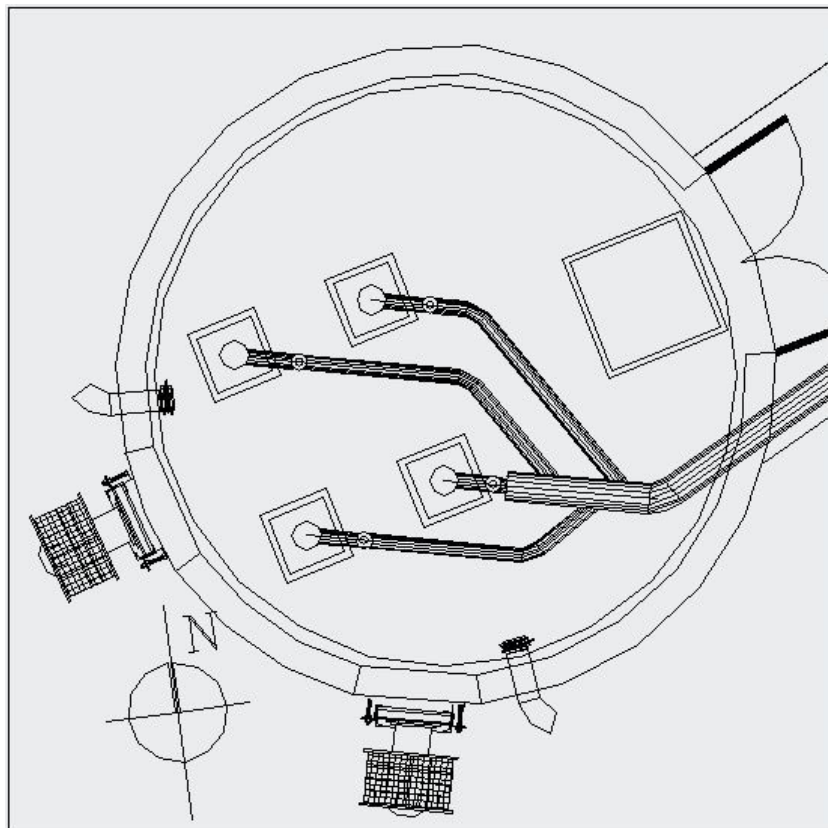


Figura 10. Esquema de Captación

En la figura 10 se puede apreciar la ubicación de las 4 bombas en la cámara de captación, los 2 filtros y los 2 orificios de  $\varnothing 25$  cm para tareas de mantenimiento. A su vez se denota la diferencia de tamaño entre el conducto de descarga de la bomba de  $\varnothing 6''$  y el colector principal de  $\varnothing 350$  mm. A continuación se adjunta un plano más detallado con detalles.

### 4.3. CONDUCCIÓN

#### 4.3.1. Introducción

A continuación se realizará una descripción de la cañería y de las soluciones adoptadas para sortear las distintas interferencias que se tuvieron a lo largo del trazado.

#### 4.3.2. Descripción de la cañería



De acuerdo a las necesidades de consumo de agua, se ha diseñado la tubería de impulsión la cual constará de dos tramos principales. Un primer tramo que será hasta la progresiva [Km] 10+800 y el segundo tramo que partirá desde una estación de rebombeo hasta la progresiva [Km] 19+850.

La cañería adoptada es de PRFV en toda su longitud, exceptuando en las partes donde hay cambio de dirección del conducto o cruces especiales, en donde se utilizarán accesorios de acero.

Luego lo que cambiará en las tuberías de PRFV, será la resistencia del caño debido a la presión interna, que se usará PN6, PN10 Y PN16. Más adelante se denotará en que tramos se utilizara cada uno.

Por último se eligió el diámetro nominal 350mm para toda la conducción. Esto se verá reflejado en su correspondiente cálculo en el capítulo 5.

El primer tramo es desde el Río Negro hasta el Canal Principal de riego, en progresiva [Km] 10+800. Se ha diseñado la construcción en tubería de PRFV, de diámetro Nominal 350 mm PN6 (CLASE 6), en toda su longitud. Durante el trayecto será necesario realizar 24 cruces especiales de canales, desagües, rutas, calles públicas y vías de ferrocarril. Estos cruces especiales se detallarán a continuación debido a la importancia que poseen en el cálculo de las pérdidas de carga.

Los cruces especiales se sortearon con cruces aéreos y subterráneos. Entre los cruces aéreos se destacan los que se apoyan en puentes existentes o se realizan mediante un cruce en Omega. Para los cruces subterráneos tenemos también 2 casos, el primero es cruce directo sin protección y el segundo es con un encamisado de acero.

Se adjuntan esquemas de los distintos tipos de cruce, que a continuación se hará una descripción de cada uno y la progresiva en donde está ubicado.

### **Cruce aéreo apoyado sobre puente existente**



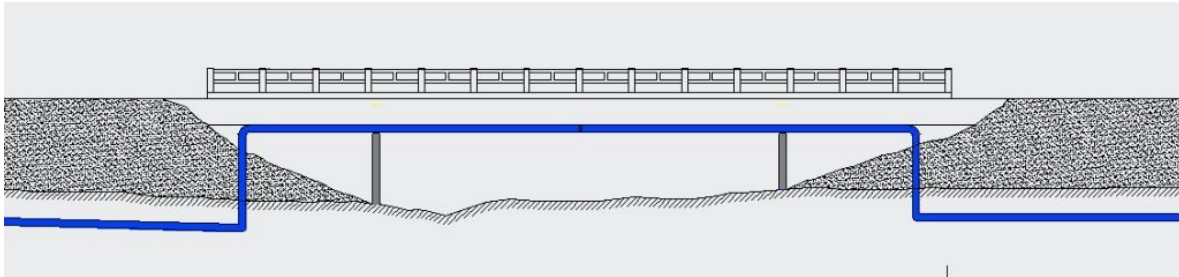


Figura 11. Cruce apoyado en puente

**Cruce aéreo en Omega**

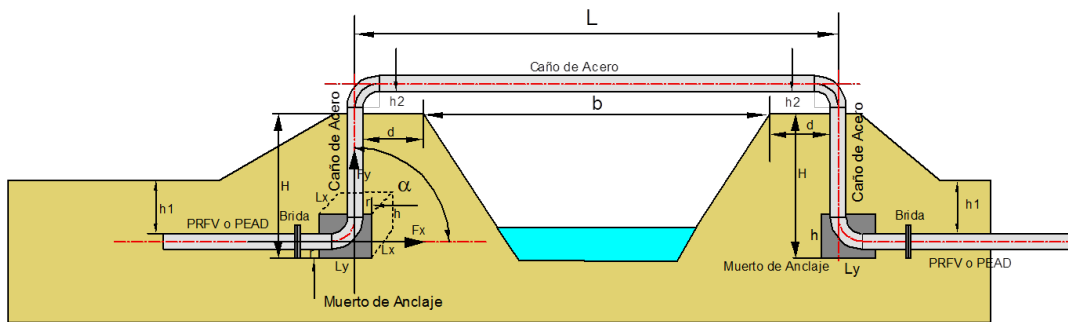


Figura 12. Cruce en omega

**Cruce de caño con túnel encamisado de acero (agregar cortes)**

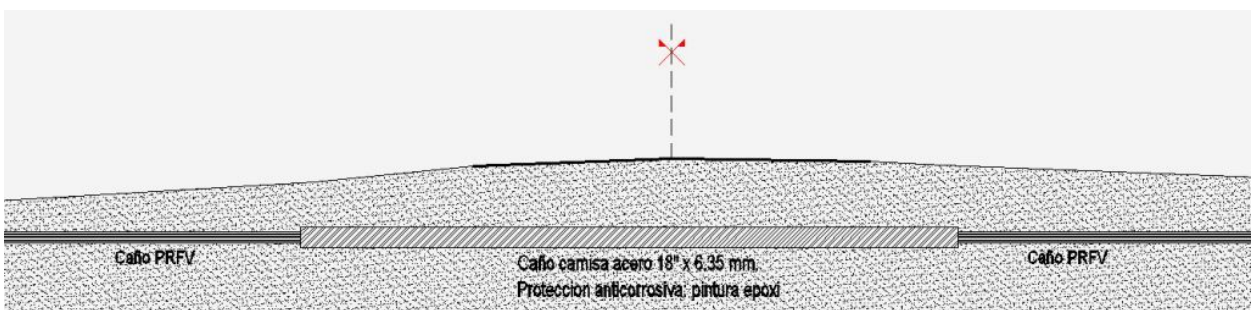


Figura 13. Cruce con túnel encamisado de acero



### Cruce directo sin encamisado

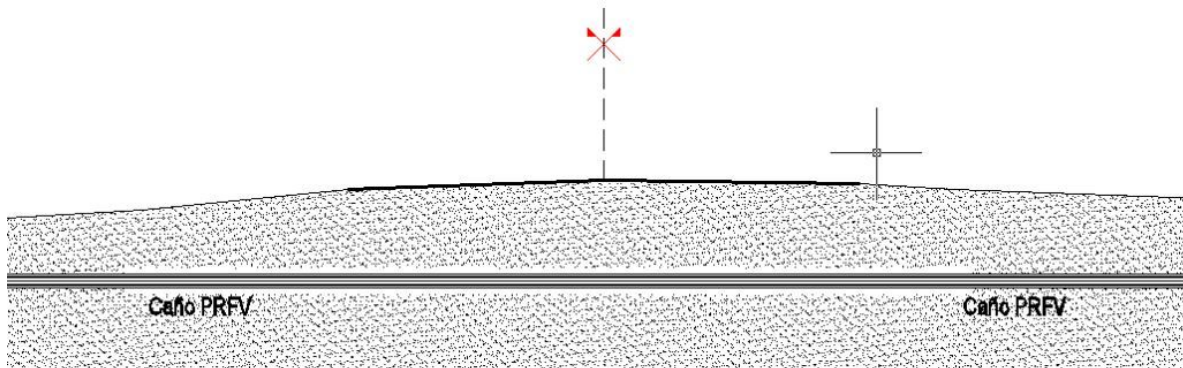


Figura 14. Cruce directo

### Cruces especiales

A lo largo de la traza del acueducto hay distintos tipos de interferencias a resolver. Se detallan a continuación la solución adoptada y la progresiva en donde se encuentra ubicada cada una de estas.

Progresiva [Km] 2+337: Comienza el cruce de brazo de laguna, a resolver con cañería de acero apoyada sobre el puente existente donde mediante curvas a 45° retoma la banquina de oeste de la ruta.-

Progresiva [Km] 2+524: Cruce por **debajo** de solera del canal con el caño de PRFV.

Progresiva [Km] 4+146: Cruce se hace mediante un **OMEGA** con cañería de acero y transiciones a 90°.

Progresiva [Km] 5+230 Cruce se hace mediante un **OMEGA** con cañería de acero.

Progresiva [Km] 5+580: Cruce por **debajo** de solera del canal, con el caño de PRFV sin protección

Progresiva [Km] 6+200: Cruce por **debajo** de solera del canal, con el caño de PRFV sin protección.

Progresiva [Km] 6+450: Cruce por **debajo** de solera del canal, con el caño de PRFV sin protección

Progresiva [Km] 6+731: Cruce por **debajo** de solera del canal, con el caño de PRFV sin protección.



Progresiva [Km] 7+030: En este punto nos encontramos con el tendido de fibra óptica, que se extiende de norte a sur en forma paralela a la Ruta Prov. N° 6, por lo que se procede a cruzar al otro lado de la ruta (lado Este) con un cruce por debajo de la carpeta asfáltica y encamisado con cañería de acero de  $\varnothing 18$ , para luego retomar nuevamente hacia el Norte y cruzar en forma perpendicular a la fibra óptica. (esquema)

Progresiva [Km] 7+280 Cruce con un **OMEGA** con cañería de acero y transiciones.

Progresiva [Km] 8+080: Cruce mediante **OMEGA** con cañería de acero y transiciones.

Progresiva [Km] 8+350 Cruce mediante un **túnel encamisado** con cañería de acero

Progresiva [Km] 8+385 Cruce de rotonda. Son aproximadamente 65 mts que se realizaran a **cielo abierto** y donde el caño de PRFV no lleva protección.-

Progresiva [Km] 8+413 Cruce mediante un **túnel encamisado** con cañería de acero de diámetro 18" y de 20,30 mts de longitud.

Progresiva [Km] 8+512: Cruce mediante **OMEGA** con cañería de acero y transiciones de 10,50 m de longitud.

Progresiva [Km] 9+416: Cruce a ejecutar sobre cinta asfáltica mediante **túnel encamisado** con cañería de acero de diámetro 18".

Progresiva [Km] 9+456: Cruce por **debajo** con caño PRFV sin protección.-

Progresiva [Km] 9+780: Cruce mediante **OMEGA** con cañería de acero.-

Progresiva [Km] 9+785: Cruce mediante **OMEGA** con cañería de acero y transiciones.

Progresiva [Km] 9+940: Cruce de vías de ferrocarril, a ejecutar mediante **túnel encamisado** con cañería de acero de diámetro 18". Se ejecutaran 12 m de túnel debajo las vías del Ferrocarril Ferrosur en la progresiva [Km] 1153,432 de la traza de la vía.-

Progresiva [Km] 9+950: Cruce del desagüe colector paralelo a las vías del ferrocarril a unos 60 cm por **debajo** del fondo con caño PRFV sin protección.

Progresiva [Km] 10+455: Cruce a **cielo abierto** encamisado con cañería de acero de diámetro 18".

Progresiva [Km] 10+461: Cruce por **debajo** del fondo con caño PRFV sin protección

Progresiva [Km] 10+940: Llegada e ingreso a la cisterna de rebombeo con **transición** a cañería de acero de  $\varnothing 14$ ".

El segundo tramo inicia en progresiva [Km] 10+800 desde el canal Principal de Riego hasta la Central Térmica, progresiva [Km] 19+850 En función de las presiones de carga



que está sometida la tubería se ha diseñado la misma en PRFV diámetro Ø 350 mm PN16 entre progresivas [Km] 10+856 a [Km] 13+296, PN 10 entre progresivas [Km] 13+296 a [Km] 14+680, y PN6 entre progresivas [Km] 14+680 a [Km] 19+850. Durante el trayecto de la misma se ejecutarán los siguientes cruces especiales:

Progresiva [Km] 10+920: En esta progresiva se encuentra el cruce del canal Principal de riego, con un caño de acero de Ø14" apoyado en un puente de estructura metálica, de 30 mts de longitud, se adjunta un esquema a continuación

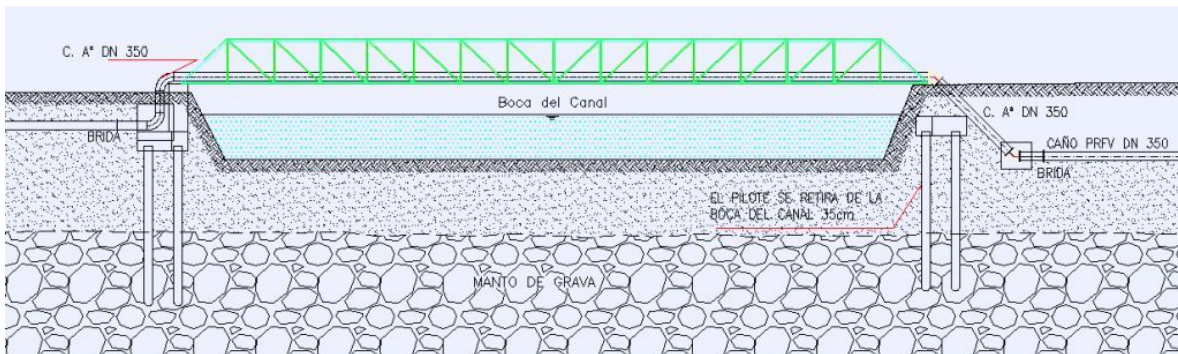


Figura 15. Puente metálico

Progresiva [Km] 11+020: Cruce por debajo con caño PRFV sin protección.

Progresiva [Km] 11+190: Cruce con caño PRFV sin protección, en este canal si está en servicio y no se puede cortar el riego será necesario hacer el cruce en OMEGA.

Progresiva [Km] 12+451: Cruce por debajo de la calle Jorge Newbery.

Progresiva [Km] 19+400: Cruce de un paquete de ductos formado por tres cañerías de petróleo de la empresa OLDELVAL (Oleoductos del Valle) a los que se suman una del gasoducto NEUBA II de TGS y uno de alta peligrosidad que transporta gas + gas licuado de la empresa MEGA, junto a éste va un conducto de fibra óptica, el desarrollo es aproximado de 80 mts, el cruce se hará por debajo de todos los ductos existentes

Progresiva [Km] 19+500: Cruce de Ruta Provincial N° 6, a ejecutar sobre cinta asfáltica mediante túnel, encamisado con cañería de acero de diámetro 18". Se ejecutarán 19,00 m de túnel a 2,30 mts debajo de la calzada.-

Aproximadamente en la Progresiva [Km] 19+850 ingresamos en el predio de la Central y la descarga del agua será en una cisterna circular o rectangular, con una capacidad entre 600 [m³] a 700 [m³], desde donde se alimentarán los distintos consumos.

La presión de servicio será en todos los casos la indicada en los planos y planillas de cotización, donde el número de clase (PN6; PN10; PN16), corresponde a dicha presión medida en (Kg/cm2).

A continuación se adjuntan planos más detallados de la solución adoptada para los distintos cruces.



+

#### 4.4. BLOQUES DE ANCLAJE

##### 4.4.1. Introducción

En tuberías sometidas a presión interna se generan empujes o esfuerzos que tienden a desacoplarlas, los que revisten especial importancia en los accesorios como válvulas, curvas, te, taponos, etc. Además, en casos especiales de cambios considerables de temperatura (más de 15°C), debemos añadir los empujes o tracciones provocadas por las dilataciones o contracciones de la cañería

A fin de evitar estos posibles desplazamientos se diseñan anclajes especiales, capaces de absorber el desequilibrio de las fuerzas que puedan ocurrir en cualquier cambio en el trazado de la tubería.

##### 4.4.2. Descripción

En todos los casos que se presenten empujes laterales debido a la presión del agua en la cañería, como ser en caso de curvas, ramales etc. y/o empujes frontales (tapón, etc.) por el mismo motivo, se colocarán bloques de anclaje de manera de impedir el movimiento de la pieza. Estos serán de hormigón. En la memoria técnica se adjunta la planilla con el cálculo de los bloques de anclajes, verificando la seguridad al levantamiento y la seguridad al desplazamiento horizontal. Todo esto se ve reflejado en los factores de seguridad adoptados. A continuación se adjunta un esquema

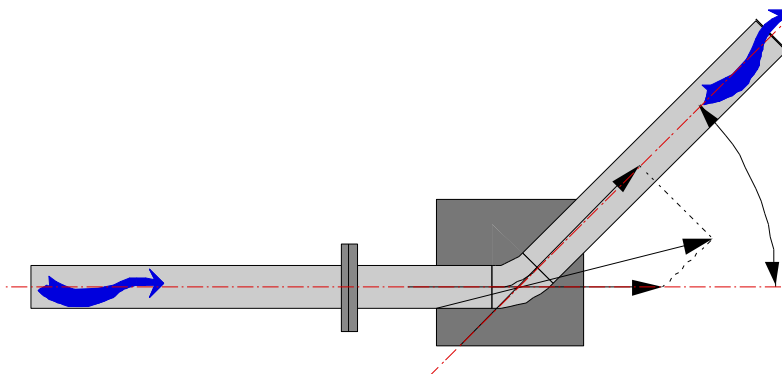


Figura 16. Esquema muerto de anclaje

#### 4.5. CISTERNA DE REBOMBEO

##### 4.5.1. Introducción

Como se ha explicado anteriormente, la conducción constará de 2 tramos principales. El primer tramo es desde la toma del río Negro hasta la estación de rebombeo y el segundo tramos desde el rebombeo hasta la central Térmica Roca S.A. Hasta aquí llegara el agua impulsada desde el río y mediante equipos de bombeo será reenviada hasta las cisternas de almacenamiento existentes en la Central Térmica Roca. Se diseñó de esta forma debido a un factor económico principalmente.

##### 4.5.2. Descripción

El sistema de bombeo se situará en la progresiva [Km] 10+800 sobre un espacio público sobre la margen sur del Canal Principal de riego, al este de la Ruta Provincial N° 6, con permiso otorgado por la Municipalidad de General Roca. Constará con una cisterna de rebombeo de HºAº circular de 196 m³ de capacidad. La cisterna será construida en hormigón armado, es del tipo circular con un diámetro interior de 10 mts y 3,00 mts de alto y paredes de 30 cm de espesor.-

En el fondo de la cisterna se disponen 65 cm de profundidad para que trabaje como sedimentador. En la parte superior se deja una revancha de 51 cm. Desde el nivel superior del pelo de agua se dejará un caño de de 250 mm de rebalse por cualquier emergencia.



En un caso de emergencia que el agua del río tenga una alta concentración de sólidos en suspensión (llegó a 2.000 mgr/lts) se podrá tomar agua del canal Principal. Este posee un tirante normal aproximado de 1,80 mts.

En la última creciente del río Negro (1.600 m<sup>3</sup>/seg), la turbidez específica alcanzó los 95 mgr/lts.

A continuación en la figura 17 se puede apreciar la ubicación en planta de la cisterna



Figura 17.Ubicacion Rebomdeo

El agua impulsada desde el río se almacenará en la cisterna de rebomdeo para luego reenviarla mediante equipos de bombeo hasta las cisternas de almacenamiento existentes en la Central Térmica Roca.

Los cuatro equipos a instalar en este lugar tendrán las siguientes características:

Caudal: 100 m<sup>3</sup>/hs     $\Delta h = 140$  mts    POTENCIA: 60 HP.-

De acuerdo a los distintos catálogos de bombas analizados, para un caudal de 100 m<sup>3</sup>/hs se utilizarán bombas cuyo diámetro de descarga es de 6". Se optó por la utilización de caños de acero en el tramo de la bomba hasta el Manifold de salida de las bombas. Para el caudal total (300 m<sup>3</sup>/h) se ejecutará en cañería de Acero Ø 10". En la salida de cada bomba se instalarán válvulas de retención y Válvulas Mariposas de cierre. Sobre el colector principal se instalarán las válvulas de aire y de protección anti ariete. Por medio



de una reducción concéntrica y una transición bridada se realizara el empalme de tubería de acero a PRVF.

A continuación se adjuntan 2 planos de la cisterna:

- Planta y cortes
- Plano de estructura y fundación

La cisterna está fundada sobre suelos de buena capacidad portante con tensión admisible mayores a 4 , formada por gravas arenosas, de acuerdo al estudio de suelos realizado en la zona. Todos los ensayos se realizaron con un penetrómetro de baja energía, según norma DIN 4094, con punta cónica de 7,1 [cm<sup>2</sup>] de sección recta, pisón de 12 [Kg] y



A continuación se adjunta la ubicación de los sondeos realizados y los ensayos de penetración realizados.

## **MEMORIA TÉCNICA DEL PROYECTO**

### **5.1. PÉRDIDAS EN CAÑERIAS**

Figura 18.Ubicación de sondeos





## Introducción

El flujo en tubería viene acompañado de pérdidas de energía expresado en dimensiones de longitud, denominada habitualmente pérdida de carga. En el caso de tuberías horizontales, la pérdida de carga se manifiesta como una disminución de presión en el sentido de flujo. Estas se producen debido a fricción a lo largo del conducto y en puntos concretos como codos, ramificaciones, válvulas, cambios de dirección, etc.

A continuación se explicará el método de pérdida de carga en conductos de Hazen-Williams utilizado en los cálculos.

### 5.1.1. Hazen-Williams

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C - 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero:

En donde:

- J: pérdida de carga o de energía (m)
- Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)
- C: coeficiente de rugosidad (adimensional)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- L: longitud de la tubería (m)

En la siguiente tabla se muestran los valores del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales:

Tabla 2. Tabla de coeficientes

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES



| Material                        | C       | Material           | C       |
|---------------------------------|---------|--------------------|---------|
| Asbesto cemento                 | 140     | Hierro galvanizado | 120     |
| Latón                           | 130-140 | Vidrio             | 140     |
| Ladrillo de saneamiento         | 100     | Plomo              | 130-140 |
| Hierro fundido, nuevo           | 130     | Plástico (PE, PVC) | 140-150 |
| Hierro fundido, 10 años de edad | 107-113 | PRFV               | 150     |
| Hierro fundido, 20 años de edad | 89-100  | Tubería lisa nueva | 140     |
| Hierro fundido, 30 años de edad | 75-90   | Acero nuevo        | 140-150 |
| Hierro fundido, 40 años de edad | 64-83   | Acero usado        | 130     |
| Concreto                        | 120-140 | Lata               | 130     |
| Cobre                           | 130-140 | Madera             | 120     |
| Hierro dúctil                   | 120     | Hormigón           | 120-140 |

### **Pérdidas de carga en singularidades**

Además de las pérdidas de carga por rozamiento, se producen otro tipo de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección, codos, juntas...) y que se deben a fenómenos de turbulencia. La suma de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas por rozamiento dan las pérdidas de carga totales.

= Pérdida de carga total

V = Velocidad media del conducto

K = Coeficientes empírico de los distintos accesorios

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

En donde:



h: pérdida de carga o de energía [m]

K: coeficiente empírico [adimensional]

V: velocidad media del flujo [ ]

g: aceleración de la gravedad [ ]

El coeficiente "K" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería. En la siguiente tabla se resumen los valores aproximados de "K" para cálculos rápidos:

Tabla 3. Tabla de coeficientes de pérdidas ( pintar todo recuadro =)

| VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES |      |     |
|--|------|-----|
| Accidente  | K    | L/D |
| Válvula esférica (totalmente abierta)            | 10   | 350 |
| Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)     | 5    | 175 |
| Válvula de seguridad (totalmente abierta)        | 2,5  | -   |
| Válvula de retención (totalmente abierta)        | 2    | 135 |
| Válvula de compuerta (totalmente abierta)        | 0,2  | 13  |
| Válvula de compuerta (abierta 3/4)               | 1,15 | 35  |
| Válvula de compuerta (abierta 1/2)               | 5,6  | 160 |
| Válvula de compuerta (abierta 1/4)               | 24   | 900 |
| Válvula de mariposa (totalmente abierta)         | -    | 40  |
| T por salida lateral                             | 1,80 | 67  |
| Codo a 90° de radio normal (con bridas)          | 0,75 | 27  |
| Codo a 90° de radio grande (con bridas)          | 0,60 | 20  |
| Codo a 45° de radio normal (con bridas)          | 0,40 | -   |
| Codo a 45° de radio grande (con bridas)          | 0,35 | -   |

Debido a que se optó en el diseño por curvas a 45 y 90 grados, ya que producen menor pérdida de carga que los codos, se adjuntan las tablas que sirvieron para la realización de los cálculos.

En la figura 19 a continuación, permitió la obtención de los radios de las curvas tanto a 45 como a 90 grados, que luego nos permite el cálculo del factor "k" y así obtener la pérdida debido a esta singularidad.



BULLETIN 691  
REVISED 10/69



**Taylor Forge Seamless Welding Fittings**

Taylor Forge Division • Gulf + Western Manufacturing Company • P.O. Box 485, Chicago, Ill. 60690

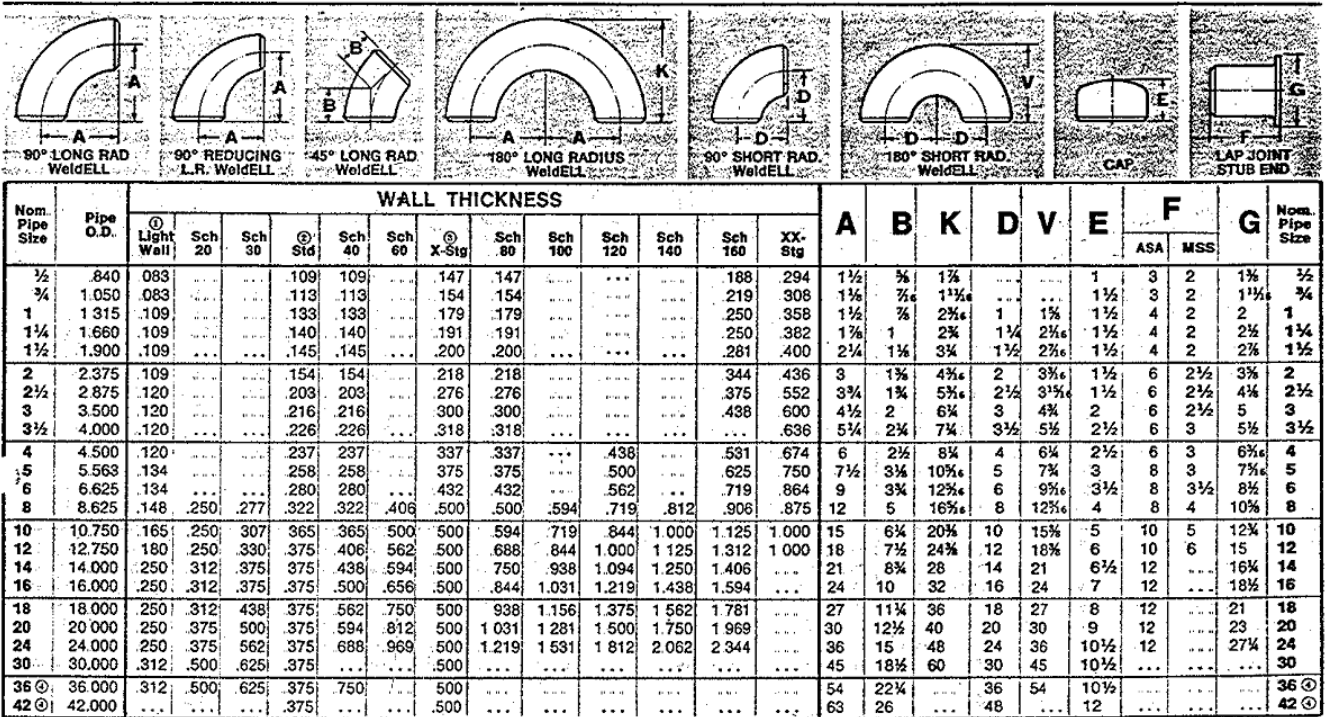


Figura 19. Tabla de radios en curvas ( Taylor Forge engineered systems a)

Las figuras 20 y 21, son obtenidas del libro Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías por CRANE. Con estas tablas me permiten la obtención del factor "k" para las curvas de 45 y 90 grados.



**A-24. TABLA DEL FACTOR “K” (página 1 de 4)  
Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios**

("K" está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10)

**FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS,  
DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA**

|                                      |      |      |      |      |      |      |        |      |      |      |         |        |         |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|---------|--------|---------|
| Diámetro mm                          | 15   | 20   | 25   | 32   | 40   | 50   | 65, 80 | 100  | 125  | 150  | 200,250 | 300400 | 450-600 |
| Nominal pulg                         | ½    | ¾    | 1    | 1¼   | 1½   | 2    | 2½, 3  | 4    | 5    | 6    | 8: 10   | 12-16  | 18-24   |
| Factor de fricción (f <sub>r</sub> ) | .027 | .025 | .023 | .022 | .021 | .019 | .018   | .017 | .016 | .015 | .014    | .013   | .012    |

**FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR “K” PARA VÁLVULAS  
Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO**

Figura 20. Tabla factor K (Crane)

**CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS  
O CON EXTREMOS PARA  
SOLDAR A TOPE**



| r/d | K                 | r/d | K                 |
|-----|-------------------|-----|-------------------|
| 1   | 20 f <sub>T</sub> | 8   | 24 f <sub>T</sub> |
| 1.5 | 14 f <sub>T</sub> | 10  | 30 f <sub>T</sub> |
| 2   | 12 f <sub>T</sub> | 12  | 34 f <sub>T</sub> |
| 3   | 12 f <sub>T</sub> | 14  | 38 f <sub>T</sub> |
| 4   | 14 f <sub>T</sub> | 16  | 42 f <sub>T</sub> |
| 6   | 17 f <sub>T</sub> | 20  | 50 f <sub>T</sub> |

El coeficiente de resistencia  $K_{BI}$ , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

$$K_B = (n - 1) \left( 0.25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0.5 K \right) + K$$

$n$  = número de curvas de 90°

$K$  = coeficiente de resistencia para una curva de 90°  
(según tabla)

Figura 21. Factor k en curvas y codos

**5.2. SELECCIÓN DE CONDUCTO**



### 5.2.1. Introducción

Este apartado corresponde a la selección del material utilizado, el diámetro del conducto, cálculo de las pérdidas totales y la presión final del conducto en toda su longitud.

### 5.2.2. Selección del material de la cañería

El proyecto de conducción tiene una longitud total de 19850m. Debido a la longitud de cañería necesaria, el costo corresponde a un porcentaje muy importante del proyecto. Es por esto que se debe realizar un análisis más detallado y evaluar las opciones.

Según la disponibilidad de material en el mercado y conocimiento del trabajo del material, se optó por 2 opciones:

- Cañería de PRFV
- Cañería de Acero

La primera diferencia fundamental que poseen estos 2 materiales a parte de su valor es:

- El acero soporta altas presiones para un mismo material y diámetro.
- El PRFV viene diseñado para soportar una presión máxima especificada. La denominación es PN1-6-32 que corresponden a las presión en bares. 1 bar es equivalente a 1 atmósfera, lo que a su vez equivale a 1 . Dependiendo del valor de presión a la que esté sometido el conducto, serán las necesidades de presión. Estas presiones se ven reflejadas en el cálculo de pérdidas totales en el capítulo. De estos cálculos se llegó a las siguientes necesidades de cañería:

Tabla 4. Longitud necesaria PRFV

| Clase [ ] | Longitud [m] |
|-----------|--------------|
| PN6       | 16000        |
| PN10      | 1410         |
| PN16      | 2440         |

Una vez conocida las necesidades para cada material se solicitó presupuesto a distintas empresas y a continuación se exponen solo los más económicos para cada material.



### Cañerías de PRFV

El presupuesto más económico fue el ofrecido por la empresa Straplas S.A. Se adjunta el presupuesto para cada clase de conducto de PRFV.

Tabla 5. Precios de cañerías PRFV

| Clase [Kg/cm <sup>2</sup> ] | Diam. [mm] | Long. [mm] | Precio P/mt [U\$S + IVA] |
|-----------------------------|------------|------------|--------------------------|
| 6                           | 350        | 6000       | 99,45                    |
| 16                          | 350        | 6000       | 117,81                   |
| 10                          | 350        | 6000       | 108,60                   |

El costo total de cañería de PRFV se expresa en la tabla siguiente:

Tabla 6. Tabla costo Total cañería PRFV

| Clase | Longitud [m] | Precio P/mt [U\$S + IVA] | Precio Total [U\$S + IVA] |
|-------|--------------|--------------------------|---------------------------|
| PN6   | 16000        | 99,45                    | 1591200                   |
| PN10  | 1410         | 108,6                    | 153126                    |
| PN16  | 2440         | 117,81                   | 287456,4                  |
| Total |              |                          | 2031782,4                 |

### Cañería acero

El presupuesto más económico para cañerías de acero fue de la empresa Tubos Renard S.A.:

Tabla 7. Tabla de costo Total cañería acero

| Clase   | Longitud [m] | Precio P/mt [U\$S + IVA] | Precio Total [U\$S + IVA] |
|---|--------------|--------------------------|---------------------------|
| Caño de acero con costura ERW 355,6 x 6,40mm (Dint: 343mm). | 19850        | 135,18                   | 2683323                   |



### **Costo Total**

Evaluando los 2 presupuestos tenemos:

- Para PRFV costo total U\$S + IVA 2031782,4
- Para acero costo total U\$S + IVA 2683323

La diferencia entre ambos presupuestos nos da un costo total de U\$S + IVA 651,540.6. Debido a este análisis de costo se opta por la utilización de cañerías de PRFV con accesorios de acero para los cruces especiales.

### **5.2.3. Dimensionamiento de la cañería**

Para el dimensionamiento de la cañería se calculó en primer medida las pérdidas debido a fricción, ya que es la pérdida más importante que va a tener toda la conducción. Para su cálculo se utilizó el método de Hazen-Williams, debido a la simplicidad y que es un método muy utilizado.

Se utilizó el coeficiente “C” de Hazen-Williams de 130 que corresponde a un acero con uso. El correspondiente coeficiente para PRFV es de 150 y para acero nuevo (accesorios) entre 140-150. Esta consideración es para tener en cuenta el uso a futuro y que siga funcionando sin problemas.

### **Captación**

Tabla 8. Datos de cálculo del primer tramo del bombeo

|                     |        |                       |
|---------------------|--------|-----------------------|
| Longitud =          | 10.900 | [mts]                 |
| Diámetro-interior = | 350    | [mm]                  |
| Caudal Q =          | 0,0833 | [m <sup>3</sup> /seg] |
| <b>C H-W =</b>      | 130    |                       |





Tabla 9. Resumen Valores de Hazen-Williams

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Q <sup>1.85</sup> | 0,010032766 |
| C <sup>1.85</sup> | 8222,864    |
| D <sup>4.87</sup> | 0,006020206 |
| J [m/m]           | 0,002214    |
| J total [m]       | 24,13       |

Tabla 10. Cálculo de pérdida de carga J en distintos diámetros de cañería

| Diámetro interior [mm] | Longitud [m] | Caudal Q [m/s] | C H-W | Perdida de carga J [m] | Vel [m/s] |
|------------------------|--------------|----------------|-------|------------------------|-----------|
| 150                    | 10.900       | 0,0833         | 150   | 1494,91                | 4,72      |
| 200                    | 10.900       | 0,0833         | 150   | 368,27                 | 2,65      |
| 250                    | 10.900       | 0,0833         | 150   | 124,23                 | 1,70      |
| 300                    | 10.900       | 0,0833         | 150   | 51,12                  | 1,18      |
| 350                    | 10.900       | 0,0833         | 150   | 24,13                  | 0,87      |
| 400                    | 10.900       | 0,0833         | 150   | 12,59                  | 0,66      |

En la tabla 10 se puede apreciar la pérdida de carga debida solo a fricción. En los primeros 3 casos se aprecia que la pérdida es muy grande, lo que conllevará a necesitar una bomba de mayores dimensiones, que equivale a un gasto mayor tanto de inversión inicial, como de mantenimiento y uso.

A estas pérdidas se le deberán sumar las pérdidas debido a los accesorios, cambio de dirección, etc. Pero debido a que son insignificantes respecto a la de fricción no se tuvieron en cuenta en el dimensionado del conducto. Si se tuvieron en cuenta para el cálculo de la presión interna del conducto.

Como se puede apreciar los diámetros del 300mm al 400mm es donde realizaremos nuestro análisis más detallado según lo que considera el proyectista, no solo por las pérdidas, sino también debido a la velocidad en la tubería. A mayor velocidad, mayor serán las pérdidas en accesorios, curvas, etc. Es por eso que se prefiere no trabajar con velocidades elevadas, mayores a 1 m/s.

En este caso se aprecia que a medida que se aumenta 50mm de diámetro las pérdidas por fricción se reducen a la mitad. En orden son 39,22m (300mm), 18,51m (350mm) y 9,66m (400 mm)

El diámetro de 300mm es descartado debido a que si sumamos la pérdida por fricción sumada al desnivel geométrico, me aumenta en gran medida los requerimientos de la bomba. Las pérdidas por fricción de los diámetros 350mm y 400mm se encuentran en el rango aceptado por el proyectista. La elección final se debió principalmente por el aspecto



económico. Con respecto al aspecto técnico se puede mencionar:

- La pérdida por fricción se reduce de 18,51m a 9,66m pero no es considerable debido a que se utiliza el mismo equipo de bombeo y si hay variación en el costo de la cañería.
- La disminución de velocidad no es de tal magnitud que reduzca en gran medida las pérdidas singulares, de 0,87m/s a 0,66m/s.

Por lo antes expuesto se seleccionó el diámetro 350mm.

Para el rebombeo se utilizó el mismo criterio adoptando 350mm.

Tabla 11. Datos de cálculo del segundo tramo de bombeo

|                     |        |                       |
|---------------------|--------|-----------------------|
| Longitud =          | 9000   | [mts]                 |
| Diámetro-interior = | 350    | [mm]                  |
| Caudal Q =          | 0,0833 | [m <sup>3</sup> /seg] |
| C H-W =             | 130    |                       |

Tabla 12. Cálculo de pérdida de carga J en distintos diámetros de cañería

| Diámetro interior [mm] | Longitud [m] | Caudal Q [m/s] | C H-W | Perdida de carga J [m] | Vel[m/s] |
|------------------------|--------------|----------------|-------|------------------------|----------|
| 150                    | 9.000        | 0,0833         | 150   | 1234,33                | 4,72     |
| 200                    | 9.000        | 0,0833         | 150   | 304,07                 | 2,65     |
| 250                    | 9.000        | 0,0833         | 150   | 102,57                 | 1,70     |
| 300                    | 9.000        | 0,0833         | 150   | 42,21                  | 1,18     |
| 350                    | 9.000        | 0,0833         | 150   | 19,92                  | 0,87     |
| 400                    | 9.000        | 0,0833         | 150   | 10,40                  | 0,66     |



## Cálculo de pérdidas en la cañería

### Introducción

Para conocer los requerimientos de bombeo es necesario cuantificar no solo las pérdidas de fricción, sino también tener en cuenta las pérdidas por singularidades y el desnivel geométrico. Con estos datos es posible realizar la selección de los equipos de bombeo. Además las cañerías de PRFV vienen comercialmente con distintas resistencias de presión interna, entonces es necesario cuantificar la presión a la que estará sometido el conducto. Para ello a continuación se calcularán las pérdidas debido a singularidades y más adelante en las tablas 15 y 16 se expondrán las presiones parciales en el conducto debido a las pérdidas de fricción, singularidades y el desnivel geométrico.

### Cálculos

En la tabla 14 se resumen las pérdidas singulares calculadas. Cada una de estas se utilizaron en el cálculo de los requerimientos de bombeo para cada tramo, que se verán reflejados en las tablas 15 y 16.

Algunos factores “k” se encuentran tabulados y son los siguientes:

- Válvula mariposa
- Válvula de cierre
- Reducción de cañería
- Entrada y salida de tubería

Los únicos factores calculados fueron para las curvas de 90 y 45 grados, debido a que no se encuentran tabulados. Como se explico previamente se utilizo las tablas del libro Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías por CRANE. Para su cálculo fueron necesarios los siguientes datos:

- Diámetro de conducción: 350 mm
- Relación  $\frac{r}{D}$ , donde r: radio de la curva y D: diámetro del conducto

$$\frac{r}{D} = 1,524$$

Con el diámetro del conducto se obtuvo el factor de fricción “ft” y con la relación  $\frac{r}{D}$  se obtiene el valor de “k”, que es función de “ft”.

En la tabla 13 se comparan los valores “k” para los casos de curva y codos, en donde se aprecia la diferencia entre ambos. El coeficiente k es 3 veces menor en las curvas que en los codos.



Tabla 13. Tabla de comparación codo vs curvas

|   |       |
|---|-------|
| Codo a 90° de radio grande (con bridas) | 0,60  |
| Codo a 45° de radio grande (con bridas) | 0,35  |
| Curva 90 grados                         | 0,182 |
| Curva 45 grados                         | 0,098 |

A continuación se presenta una tabla resumida con los cálculos de las pérdidas por singularidades. Para su cálculo se utilizó la siguiente expresión:

En donde:

h: pérdida de carga o de energía [m]

K: coeficiente empírico [adimensional]

V: velocidad media del flujo [m/s]

g: aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

Tabla 14. Cálculo de pérdidas debido a singularidades

| Tipo pérdida         | Factor "K" | [m/s]  | Pérdida [m] |
|----------------------|------------|--------|-------------|
| Curva 90 grados      | 0,182      | 0,0382 | 0,007       |
| Curva 45 grados      | 0,098      | 0,0382 | 0,004       |
| Válvula mariposa     | 0,455      | 0,0382 | 0,017       |
| Válvula de cierre    | 2          | 0,0382 | 0,076       |
| Reducción acero-PRFV | 0,40       | 0,0382 | 0,015       |
| Entrada tubería      | 0,78       | 0,0382 | 0,030       |
| Salida tubería       | 1          | 0,0382 | 0,038       |
| Fricción [m/m]       |            |        | 0,002214    |



En la tabla 15 se presentan los resultados de los cálculos de las presiones parciales y acumuladas en las distintas progresivas para el primer tramo del conducto, es decir desde la toma del río hasta la estación de rebombeo. A su vez se denota el tipo de pérdida que se tuvo en cuenta y la cota en cada progresiva. Para su realización se utilizó la siguiente expresión:

P: Presión en el conducto [m.c.a.]

Pi: Presión inicial [m.c.a.]

DZ: Variación altura geométrica

hf: Pérdida por fricción [m]

hs: Perdida debido a singularidad [m]

Tabla 15.Cálculo de presión en la cañería (Primer tramo)

| PROGRESIVA | COTA    | PRESION PARCIAL | PRESION ACUMULADA | TIPO PÉRDIDA                             |
|------------|---------|-----------------|-------------------|--|
| 0          | 229,500 | 38,316          | 38,32             | V.mariposa, V.cierre, Reducción, entrada |
| 100        | 232,550 | -3,275          | 35,04             | Curva 45°-Fricción                       |
| 200        | 232,795 | -0,466          | 34,57             | Fricción                                 |
| 300        | 232,860 | -0,286          | 34,29             | Fricción                                 |
| 400        | 233,080 | -0,441          | 33,85             | Fricción                                 |
| 500        | 233,179 | -0,320          | 33,53             | Fricción                                 |
| 600        | 232,610 | 0,348           | 33,87             | Fricción                                 |
| 700        | 232,980 | -0,591          | 33,28             | Fricción                                 |
| 800        | 232,920 | -0,161          | 33,12             | Fricción                                 |
| 900        | 232,620 | 0,079           | 33,20             | Fricción                                 |
| 1000       | 232,250 | 0,149           | 33,35             | Fricción                                 |
| 1100       | 232,610 | -0,581          | 32,77             | Fricción                                 |
| 1200       | 232,700 | -0,311          | 32,46             | Fricción                                 |
| 1300       | 232,810 | -0,331          | 32,12             | Fricción                                 |
| 1400       | 232,750 | -0,161          | 31,96             | Fricción                                 |
| 1500       | 232,560 | -0,031          | 31,93             | Fricción                                 |
| 1600       | 232,360 | -0,021          | 31,91             | Fricción                                 |
| 1700       | 232,160 | -0,021          | 31,89             | Fricción                                 |
| 1800       | 232,100 | -0,161          | 31,73             | Fricción                                 |
| 1900       | 232,237 | -0,358          | 31,37             | Fricción                                 |
| 2000       | 232,065 | -0,049          | 31,32             | Fricción                                 |
| 2100       | 231,940 | -0,096          | 31,22             | Fricción                                 |
| 2200       | 232,058 | -0,339          | 30,88             | Fricción                                 |
| 2300       | 232,158 | -0,325          | 30,56             | Curva 45°                                |
| 2400       | 233,193 | -1,260          | 29,30             | Curva 45°                                |
| 2500       | 233,988 | -1,020          | 28,28             | Curva 45°                                |
| 2600       | 234,485 | -0,718          | 27,56             | Fricción                                 |

**Bombeo Central Térmica Roca S.A.**



|      |         |        |       |                                       |
|------|---------|--------|-------|---------------------------------------|
| 2700 | 234,120 | 0,144  | 27,70 | Fricción                              |
| 2800 | 233,769 | 0,130  | 27,83 | Fricción                              |
| 2900 | 233,769 | -0,221 | 27,61 | Fricción                              |
| 3000 | 233,935 | -0,387 | 27,23 | Fricción                              |
| 3100 | 233,720 | -0,006 | 27,22 | Fricción                              |
| 3200 | 233,620 | -0,121 | 27,10 | Fricción                              |
| 3300 | 233,432 | -0,033 | 27,06 | Fricción                              |
| 3400 | 233,263 | -0,052 | 27,01 | Fricción                              |
| 3500 | 233,099 | -0,057 | 26,95 | Fricción                              |
| 3600 | 233,200 | -0,322 | 26,63 | Fricción                              |
| 3700 | 233,305 | -0,326 | 26,31 | Fricción                              |
| 3800 | 233,406 | -0,322 | 25,98 | Fricción                              |
| 3900 | 233,272 | -0,087 | 25,90 | Fricción                              |
| 4000 | 233,321 | -0,270 | 25,63 | Fricción                              |
| 4100 | 233,695 | -0,595 | 25,03 | Fricción                              |
| 4200 | 233,248 | 0,198  | 25,23 | Curva 90° - Cruce en omega - Fricción |
| 4300 | 233,151 | -0,124 | 25,10 | Fricción                              |
| 4400 | 233,053 | -0,123 | 24,98 | Fricción                              |
| 4500 | 232,586 | 0,246  | 25,23 | Fricción                              |
| 4600 | 232,825 | -0,460 | 24,77 | Fricción                              |
| 4700 | 233,770 | -1,166 | 23,60 | Fricción                              |
| 4800 | 232,664 | 0,885  | 24,48 | Fricción                              |
| 4900 | 232,527 | -0,084 | 24,40 | Fricción                              |
| 5000 | 232,452 | -0,146 | 24,25 | Fricción                              |
| 5100 | 232,319 | -0,088 | 24,16 | Fricción                              |
| 5200 | 232,435 | -0,365 | 23,80 | Curva 90° - Cruce en omega - Fricción |
| 5300 | 232,435 | -0,221 | 23,58 | Fricción                              |
| 5400 | 232,435 | -0,221 | 23,36 | Fricción                              |
| 5500 | 232,354 | -0,140 | 23,22 | Fricción                              |
| 5600 | 232,360 | -0,227 | 22,99 | Fricción                              |
| 5700 | 232,321 | -0,182 | 22,81 | Fricción                              |
| 5800 | 232,358 | -0,258 | 22,55 | Fricción                              |
| 5900 | 232,262 | -0,125 | 22,42 | Fricción                              |
| 6000 | 232,146 | -0,105 | 22,32 | Fricción                              |
| 6100 | 232,249 | -0,324 | 21,99 | Fricción                              |
| 6200 | 232,293 | -0,265 | 21,73 | Fricción                              |
| 6300 | 232,447 | -0,375 | 21,35 | Fricción                              |
| 6400 | 232,531 | -0,305 | 21,05 | Fricción                              |
| 6500 | 232,646 | -0,336 | 20,71 | Fricción                              |
| 6600 | 232,740 | -0,315 | 20,40 | Fricción                              |
| 6700 | 232,621 | -0,102 | 20,29 | Fricción                              |
| 6800 | 232,903 | -0,503 | 19,79 | Fricción                              |
| 6900 | 233,030 | -0,348 | 19,44 | Fricción                              |
| 7000 | 233,122 | -0,327 | 19,11 | Curva 90° - Cruce ruta - Fricción     |
| 7100 | 233,230 | -0,329 | 18,78 | Fricción                              |
| 7200 | 233,264 | -0,283 | 18,50 | Curva 90° - Cruce en omega - Fricción |
| 7300 | 233,373 | -0,330 | 18,17 | Fricción                              |
| 7400 | 232,850 | 0,302  | 18,47 | Fricción                              |
| 7500 | 233,140 | -0,511 | 17,96 | Fricción                              |
| 7600 | 233,039 | -0,120 | 17,84 | Fricción                              |
| 7700 | 232,935 | -0,117 | 17,72 | Fricción                              |
| 7800 | 233,412 | -0,698 | 17,02 | Fricción                              |
| 7900 | 233,879 | -0,688 | 16,34 | Fricción                              |
| 8000 | 234,450 | -0,820 | 15,52 | Curva 90° - Cruce en omega - Fricción |



|       |         |        |       |                                       |
|-------|---------|--------|-------|---------------------------------------|
| 8100  | 233,690 | 0,539  | 16,05 | Fricción                              |
| 8200  | 233,362 | 0,107  | 16,16 | Fricción                              |
| 8300  | 233,262 | -0,121 | 16,04 | Fricción                              |
| 8400  | 233,606 | -0,565 | 15,47 | Fricción                              |
| 8500  | 234,251 | -0,894 | 14,58 | Curva 90° - Cruce en omega - Fricción |
| 8600  | 234,450 | -0,420 | 14,16 | Fricción                              |
| 8700  | 233,921 | 0,308  | 14,47 | Fricción                              |
| 8800  | 233,631 | 0,069  | 14,54 | Fricción                              |
| 8900  | 233,327 | 0,083  | 14,62 | Fricción                              |
| 9000  | 233,432 | -0,326 | 14,29 | Fricción                              |
| 9100  | 233,734 | -0,523 | 13,77 | Fricción                              |
| 9200  | 233,732 | -0,219 | 13,55 | Fricción                              |
| 9300  | 233,937 | -0,426 | 13,12 | Fricción                              |
| 9400  | 234,210 | -0,494 | 12,63 | Fricción                              |
| 9500  | 234,086 | -0,097 | 12,53 | Fricción                              |
| 9600  | 234,125 | -0,260 | 12,27 | Fricción                              |
| 9700  | 236,478 | -2,602 | 9,67  | Curva 90° - Cruce en omega - Fricción |
| 9800  | 237,285 | -1,028 | 8,64  | Fricción                              |
| 9900  | 233,400 | 3,664  | 12,30 | Fricción                              |
| 10000 | 234,571 | -1,392 | 10,91 | Fricción                              |
| 10100 | 234,476 | -0,126 | 10,79 | Fricción                              |
| 10200 | 234,375 | -0,120 | 10,67 | Fricción                              |
| 10300 | 234,284 | -0,130 | 10,53 | Fricción                              |
| 10400 | 234,203 | -0,140 | 10,39 | Fricción                              |
| 10500 | 235,077 | -1,095 | 9,30  | Fricción                              |
| 10600 | 235,817 | -0,961 | 8,34  | Fricción                              |
| 10700 | 236,621 | -1,025 | 7,31  | Fricción                              |
| 10800 | 237,356 | -1,071 | 6,24  | Salida cañería                        |

Como se puede apreciar, se llega hasta la estación de rebombeo con una altura de carga de 6,24 m.c.a., inferior a 1 atmosfera de presión, que equivale a 10 m.c.a. Esto se puede modificar si fuera necesaria más presión, ya que las bombas no están trabajando al máximo de su capacidad

La tabla 16 posee el mismo análisis que la tabla anterior. Este caso es para el segundo tramo, desde la cisterna de rebombeo hasta la Central Térmica.

Tabla 16. Cálculo de presión en cañería (segundo tramo)



| PROGRESIVA | COTA    | PRESION<br>[m.c.a.] | PRESION | TIPO PERDIDA                                |
|------------|---------|---------------------|---------|---|
| 10800      | 237,356 | 128,316             | 128,32  | V.mariposa, V.cierre, Reducción,<br>Entrada |
| 10900      | 237,780 | -0,673              | 127,64  | Curva 90° - Cruce en omega-fricción         |
| 11000      | 240,658 | -3,099              | 124,54  | Fricción                                    |
| 11100      | 240,72  | -0,311              | 124,23  | curva 90° - Cruce en omega                  |
| 11200      | 240,922 | -0,423              | 123,81  | Fricción                                    |
| 11300      | 242,205 | -1,504              | 122,30  | Fricción                                    |
| 11400      | 246,032 | -4,048              | 118,26  | Fricción                                    |
| 11500      | 246,106 | -0,295              | 117,96  | Fricción                                    |
| 11600      | 246,887 | -1,002              | 116,96  | Fricción                                    |
| 11700      | 247,986 | -1,320              | 115,64  | Fricción                                    |
| 11800      | 249,227 | -1,462              | 114,18  | Fricción                                    |
| 11900      | 250,978 | -1,972              | 112,20  | Fricción                                    |
| 12000      | 252,656 | -1,899              | 110,30  | Fricción                                    |
| 12100      | 254,927 | -2,492              | 107,81  | Fricción                                    |
| 12200      | 257,021 | -2,315              | 105,50  | Fricción                                    |
| 12300      | 258,422 | -1,622              | 103,87  | Fricción                                    |
| 12400      | 259,523 | -1,322              | 102,55  | Fricción                                    |
| 12500      | 261,544 | -2,242              | 100,31  | Fricción                                    |
| 12600      | 263,523 | -2,200              | 98,11   | Fricción                                    |
| 12700      | 264,027 | -0,725              | 97,38   | Fricción                                    |
| 12800      | 266,595 | -2,789              | 94,59   | Fricción                                    |
| 12900      | 268,635 | -2,261              | 92,33   | Fricción                                    |
| 13000      | 270,497 | -2,083              | 90,25   | Fricción                                    |
| 13100      | 272,858 | -2,582              | 87,67   | Fricción                                    |
| 13200      | 275,082 | -2,445              | 85,22   | Fricción                                    |
| 13300      | 277,81  | -2,949              | 82,27   | Fricción                                    |
| 13400      | 280,277 | -2,688              | 79,58   | Fricción                                    |
| 13500      | 282,579 | -2,523              | 77,06   | Fricción                                    |
| 13600      | 284,681 | -2,323              | 74,74   | Fricción                                    |
| 13700      | 287,011 | -2,551              | 72,19   | Fricción                                    |
| 13800      | 290,187 | -3,397              | 68,79   | Fricción                                    |
| 13900      | 292,142 | -2,176              | 66,61   | Fricción                                    |
| 14000      | 295,066 | -3,145              | 63,47   | Fricción                                    |
| 14100      | 297,97  | -3,125              | 60,34   | Fricción                                    |
| 14200      | 301,608 | -3,859              | 56,48   | Fricción                                    |
| 14300      | 304,546 | -3,159              | 53,32   | Fricción                                    |
| 14400      | 307,108 | -2,783              | 50,54   | Fricción                                    |
| 14500      | 310,442 | -3,555              | 46,98   | Fricción                                    |
| 14600      | 312,551 | -2,330              | 44,65   | Fricción                                    |
| 14700      | 315,457 | -3,127              | 41,53   | Fricción                                    |
| 14800      | 316,791 | -1,555              | 39,97   | Fricción                                    |
| 14900      | 317,183 | -0,613              | 39,36   | Fricción                                    |
| 15000      | 320,006 | -3,044              | 36,31   | Fricción                                    |
| 15100      | 321,839 | -2,054              | 34,26   | Fricción                                    |
| 15200      | 322,639 | -1,021              | 33,24   | Fricción                                    |
| 15300      | 325,44  | -3,022              | 30,21   | Fricción                                    |
| 15400      | 325,552 | -0,333              | 29,88   | Fricción                                    |
| 15500      | 328,281 | -2,950              | 26,93   | Fricción                                    |
| 15600      | 330,69  | -2,630              | 24,30   | Fricción                                    |





|       |         |        |       |                           |
|-------|---------|--------|-------|---------------------------|
| 15700 | 333,259 | -2,790 | 21,51 | Fricción                  |
| 15800 | 336,482 | -3,444 | 18,07 | Fricción                  |
| 15900 | 340,844 | -4,583 | 13,48 | Fricción                  |
| 16000 | 345,206 | -4,583 | 8,90  | Fricción                  |
| 16100 | 345,828 | -0,843 | 8,06  | Fricción                  |
| 16200 | 343,663 | 1,944  | 10,00 | Fricción                  |
| 16300 | 340,975 | 2,467  | 12,47 | Fricción                  |
| 16400 | 338,506 | 2,248  | 14,71 | Fricción                  |
| 16500 | 337,304 | 0,981  | 15,69 | Fricción                  |
| 16600 | 335,775 | 1,308  | 17,00 | Fricción                  |
| 16700 | 333,720 | 1,834  | 18,83 | Fricción                  |
| 16800 | 332,302 | 1,197  | 20,03 | Fricción                  |
| 16900 | 330,869 | 1,212  | 21,24 | Fricción                  |
| 17000 | 330,869 | -0,221 | 21,02 | Fricción                  |
| 17100 | 328,606 | 2,042  | 23,06 | Fricción                  |
| 17200 | 327,039 | 1,346  | 24,41 | Fricción                  |
| 17300 | 324,959 | 1,859  | 26,27 | Fricción                  |
| 17400 | 322,959 | 1,779  | 28,05 | Fricción                  |
| 17500 | 321,517 | 1,221  | 29,27 | Fricción                  |
| 17600 | 320,967 | 0,329  | 29,60 | Fricción                  |
| 17700 | 320,605 | 0,141  | 29,74 | Fricción                  |
| 17800 | 320,634 | -0,250 | 29,49 | Fricción                  |
| 17900 | 321,212 | -0,799 | 28,69 | Fricción                  |
| 18000 | 321,118 | -0,127 | 28,56 | Fricción                  |
| 18100 | 322,086 | -1,189 | 27,37 | Fricción                  |
| 18200 | 322,630 | -0,765 | 26,60 | Fricción                  |
| 18300 | 323,630 | -1,221 | 25,38 | Fricción                  |
| 18400 | 324,604 | -1,195 | 24,19 | Fricción                  |
| 18500 | 325,653 | -1,270 | 22,92 | Fricción                  |
| 18600 | 327,245 | -1,813 | 21,10 | Fricción                  |
| 18700 | 328,586 | -1,562 | 19,54 | Fricción                  |
| 18800 | 329,452 | -1,087 | 18,45 | Fricción                  |
| 18900 | 330,370 | -1,139 | 17,31 | Fricción                  |
| 19000 | 331,127 | -0,978 | 16,34 | Fricción                  |
| 19100 | 332,176 | -1,270 | 15,07 | Fricción                  |
| 19200 | 334,598 | -2,643 | 12,42 | Fricción                  |
| 19300 | 336,128 | -1,751 | 10,67 | Fricción                  |
| 19400 | 336,789 | -0,882 | 9,79  | Fricción                  |
| 19500 | 337,394 | -0,826 | 8,96  | Fricción                  |
| 19600 | 337,372 | -0,199 | 8,76  | Fricción                  |
| 19700 | 337,350 | -0,199 | 8,56  | Fricción                  |
| 19800 | 337,342 | -0,213 | 8,35  | Fricción                  |
| 19850 | 337,332 | -0,215 | 8,13  | salida cañería - Fricción |

Se llega a la central con una presión de 8,13 m.c.a. Como se menciona anteriormente, si fuera necesaria más presión solo habría que ajustarlo en las bombas, ya que no trabajan a su máxima capacidad.

### 5.3. SELECCIÓN DE BOMBA



### 5.3.1. Introducción

*“La selección de la bomba adecuada para cualquier aplicación entre la multitud de estilos, tipos y tamaños puede ser difícil para el usuario o el contratista de construcción. El mejor método es hacer investigaciones preliminares, llegar a decisiones básicas y selecciones preliminares y analizarla aplicación con el proveedor de la bomba”.*

Richard F. Neerken, Ralph M. Parsons Co.

A continuación se mostrará el criterio utilizado para la selección de bomba. También se pondrán de manifiesto los cálculos de los requerimientos necesarios.

### 5.3.2. Requerimiento captación

El caudal total necesario será de 300 m<sup>3</sup>/hs, que se divide en 4 bombas de 100 m<sup>3</sup>/hs, de las cuales 3 se encontrarán en constante funcionamiento y luego se irán rotando con la bomba restante.

Caudal por bomba: 100 m<sup>3</sup>/hs       $\Delta h = 40 \text{ m}$       POTENCIA: 20 HP

Se consultaron las bombas de las empresas KSB y Rotor pump para los requerimientos necesarios. Se eligieron estas empresas debido a la disponibilidad y calidad comprobado de sus productos

Las 2 empresas poseen distintas formas para la selección óptima del equipamiento.

Por la empresa KSB se dispone de un software muy intuitivo online, En este se presentan varias opciones para la búsqueda de la bomba

Los datos necesarios para la selección son los siguientes:

1. Tipo de fluido de bombeo: agua dulce
2. Temperatura de trabajo: 15 grados Celsius
3. Caudal (Q) necesario: 100 m<sup>3</sup>/hs
4. Carga de trabajo (H): 40 m para el primer tramo y 130 m para el segundo tramo
5. Tipo de bomba: bomba centrífuga

A partir de esos datos se ofrecen las bombas disponibles de la empresa.

La empresa Rotor Pump ofrece un buscador más precario online, pero que cumple con su función perfectamente. Los datos necesarios para la selección son:



- Tipo de bomba a utilizar: Bomba centrífuga
- Caudal (Q): 100 m<sup>3</sup>/hs
- Carga (H) 40 m para el primer tramo y 130 m para el segundo tramo

A continuación en las figuras 22,23 y 24 se presentan las curvas características de cada bomba en una gráfica comparativa.

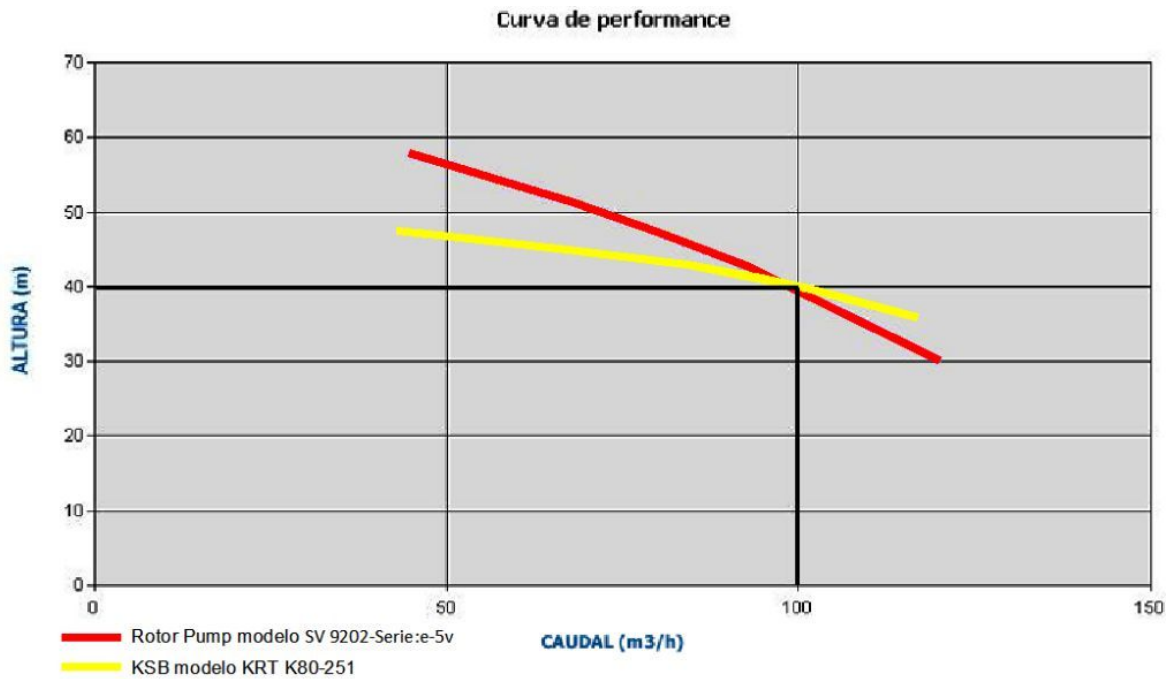


Figura 22. Comparativa Curva de Performance

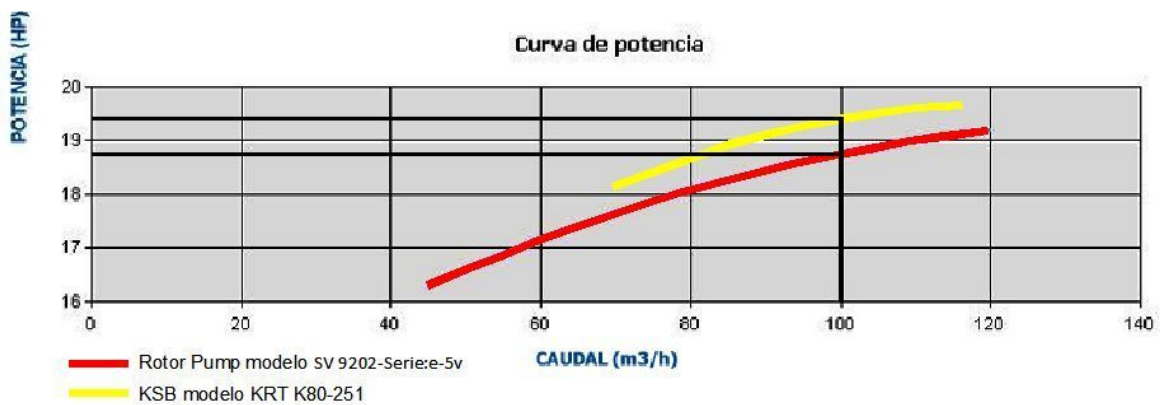


Figura 23. Comparativa curva de rendimiento

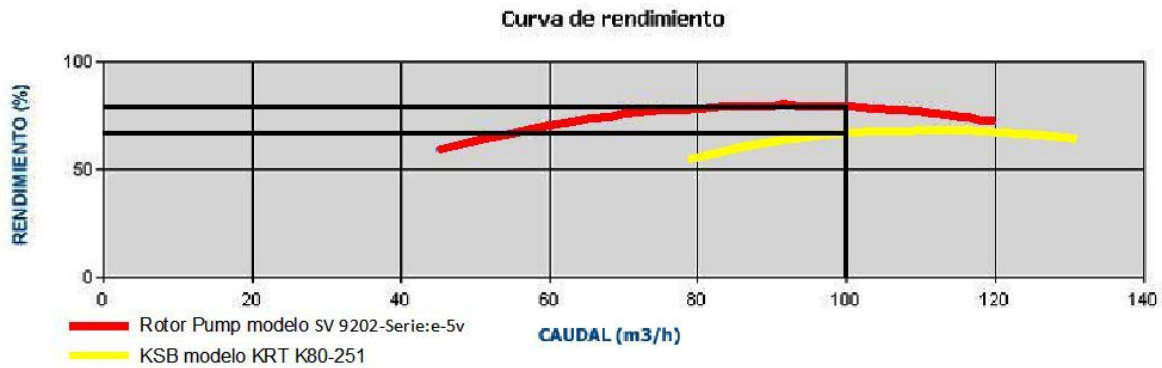


Figura 24. Comparativa curva rendimiento

La bomba elegida es la de empresa Rotor Pump, siendo el modelo seleccionado: SV 9202-Serie:e-5v. Su eficiencia es del 77 % vs 66% de la bomba de KSB. A su vez la potencia que utiliza es menor 18,8 HP vs 19,4 HP.

### 5.3.3. Requerimiento Rebombeo

Para este caso, será necesario el mismo requerimiento de caudal de 300 m³/hs, que se divide en 4 bombas de 100 m³/hs, de las cuales 3 se encontraran en constante funcionamiento y luego se irán rotando con la bomba restante

Caudal: 100 m³/hs     $\Delta h = 130m$     Potencia: 60 HP

A continuación en las figuras 25,26 y 27 se presentan las curvas características de cada bomba en una gráfica comparativa.

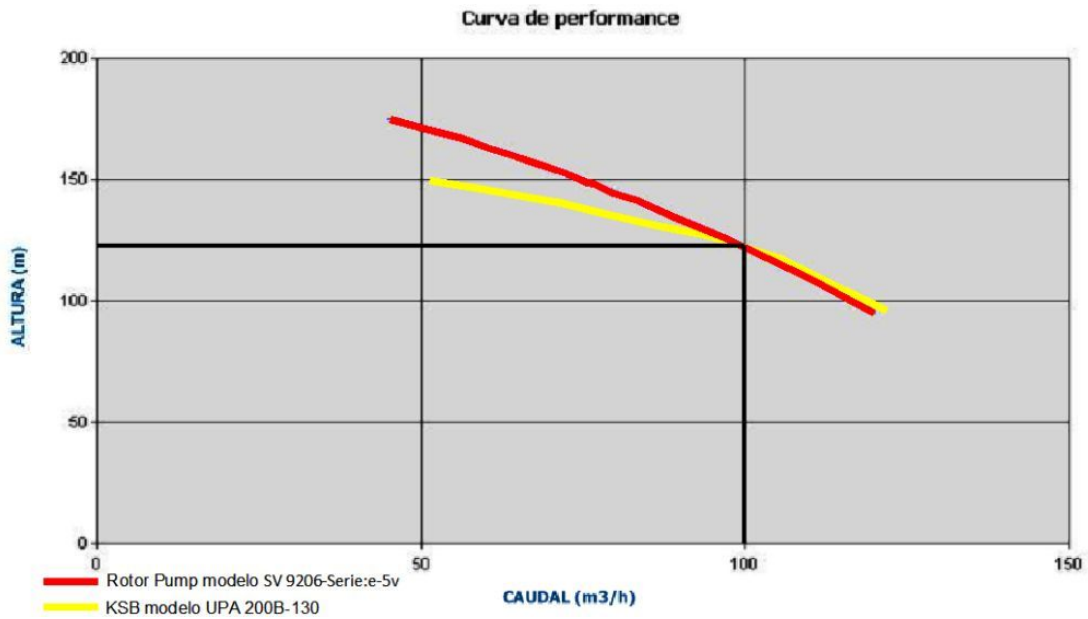


Figura 25. Comparativa curva performance rebombeo

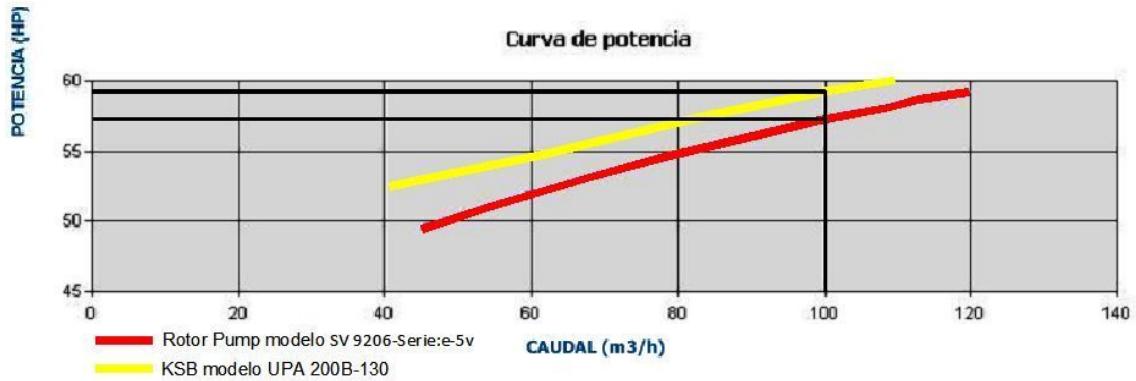


Figura 26. Comparativa curva de potencia rebombeo

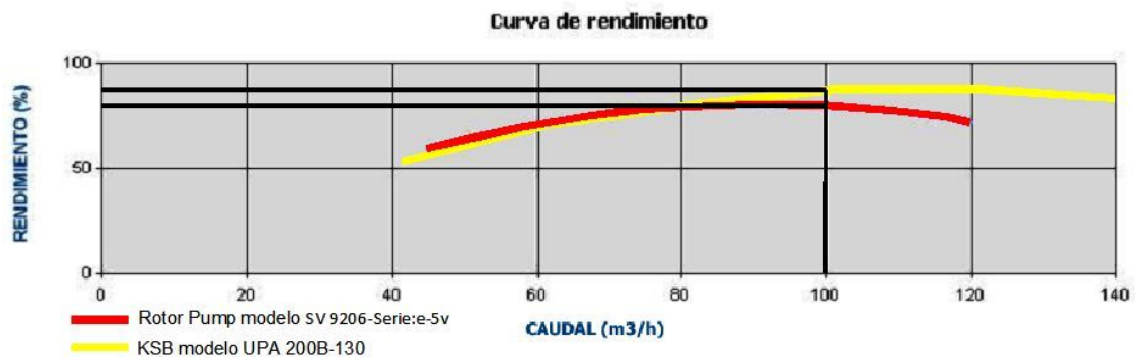




Figura 27. Comparativa curva de rendimiento rebombeo

Se Selecciono el modelo de Rotor pump debido a que utiliza una menor potencia 57 HP vs 59 HP. Con respecto a la eficiencia son similares 77 % para la opción de rotor pump y 80 % para la de KSB.

#### 5.4. ANCLAJES

El cálculo de los empujes sobre los anclajes se basa en el equilibrio de fuerzas efectuadas sobre los ejes x e y, que incluyen tanto al empuje hidrostático como al hidrodinámico.

A continuación se adjuntan las expresiones utilizadas para el cálculo. Estas expresiones fueron sacadas del libro Hidráulica y Maquinas Hidráulicas - Stevenazzi

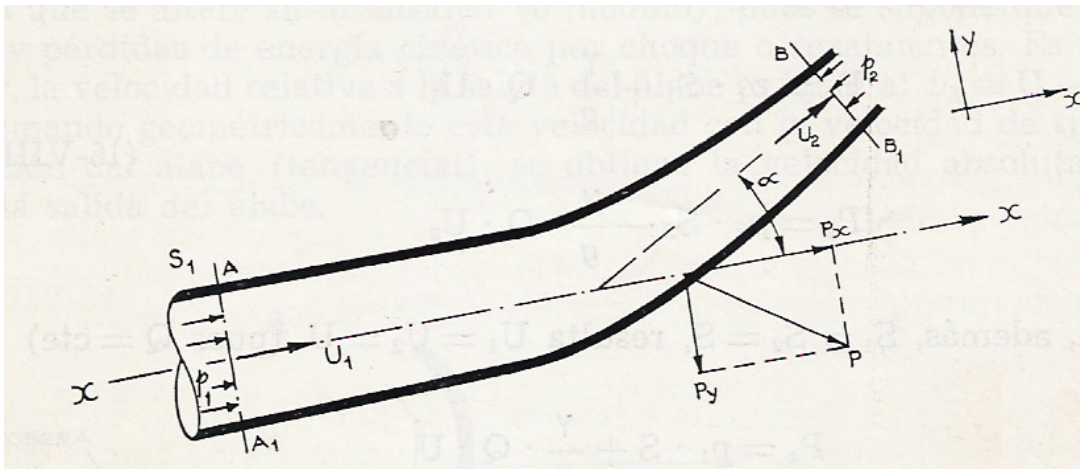




Figura 28. Empuje en cañerías

Siendo:

$\alpha$ : Angulo del codo ( $45^\circ$ ).

P: Presión en  $[\text{Kg}/\text{cm}^2]$ .-

Q: Caudal en  $[\text{m}^3/\text{seg}]$ .-

S: Sección transversal del caño ( $\text{m}^2$ )

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

g: Aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ )

Las expresiones de cálculo son:

Donde:

: es el empuje estático

: es el empuje por cambio de dirección

Donde:

: es el empuje estático

: es el empuje por cambio de dirección

La resultante total es:

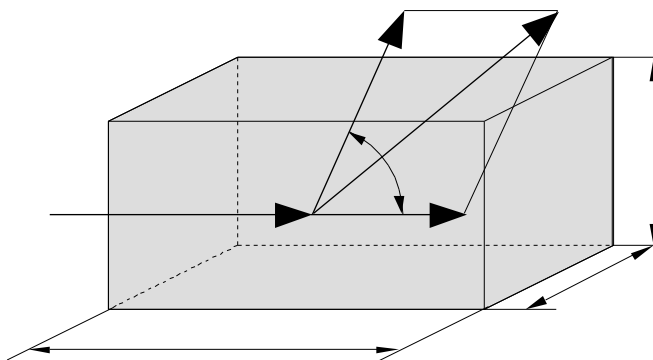


Figura 29. Esquema de esfuerzos debido a cambio de dirección

A partir de estos valores, tenemos la fuerza horizontal y vertical que se produce en las cañerías debido al cambio en la dirección del flujo. Estas fuerzas deben ser resistidas por los muertos de anclaje. En los muertos de anclaje se harán 2 verificaciones principalmente, que corresponden a la estabilidad de la cañería debido a estas acciones antes mencionadas. Se deberá verificar la seguridad frente al deslizamiento y la seguridad frente al levantamiento.

### **Seguridad al deslizamiento**

La estabilidad del sistema bloque-suelo será dada por:

- a) El empuje pasivo del suelo sobre el bloque.
  - b) La resistencia al deslizamiento del bloque sobre la superficie de apoyo, el suelo en nuestro caso.
- a) El empuje pasivo del suelo se produce cuando el elemento de contención es comprimido contra el terreno por las cargas transmitidas por una estructura u otro efecto similar hasta alcanzar las condiciones de máximo empuje. En un terreno granular homogéneo, el empuje pasivo  $P_p$ , sobre un paramento vertical, debido exclusivamente al terreno será igual

Siendo:

$K_p$ : Coeficiente de empuje pasivo=





$\phi$ : Angulo fricción interna del suelo

$\gamma$ : Peso específico del suelo [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

H: Altura paramento Vertical [m]

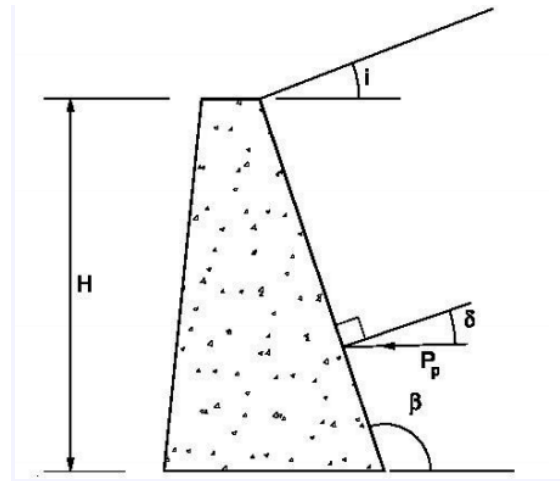


Figura 30-Empuje Pasivo

Para el caso de nuestro anclaje, el empuje pasivo es función de:

- peso específico del suelo
- altura del bloque
- ancho del bloque
- tapada de suelo sobre el bloque
- ángulo de fricción interna del suelo

La resistencia del terreno al deslizamiento del bloque será función

- peso del bloque
- peso del suelo que está por encima del bloque
- peso del agua de cañería
- peso del caño



- coeficiente de fricción del suelo con el hormigón

Fuerza por fricción:

Pt: Peso de base [Kg] + Peso relleno [Kg]

$\varphi$ : Angulo fricción interna del suelo

Seguridad al deslizamiento =

### **Seguridad al levantamiento**

Para equilibrar el empuje generado por el cambio de dirección del flujo de la cañería, que se traduce en una fuerza vertical, los que se encargan de la estabilidad son el peso del bloque de hormigón y el suelo por encima de este.

Seguridad al deslizamiento =

## **5.5. Cálculo de anclaje**

### **5.5.1. Introducción**

La cañería posee a lo largo de toda su traza diferentes accesorios utilizados en curvas, cambios de dirección, etc. Se debe asegurar que los empujes generados por la presión interna de la cañería en estos puntos notables sean neutralizados para evitar cualquier desplazamiento que coloque en peligro la estanqueidad de las juntas y la integridad de los caños. Para ello se construirán bloques de anclaje de hormigón armado tipo H-21, de manera que el tramo de cañería quede inmerso total o parcialmente en dicho bloque.

A continuación se explicaran los cálculos realizados con las posteriores verificaciones, que se verán plasmados en 2 tipos de planillas. Un tipo es para los muertos de anclaje de las cañerías horizontales y otra para los muertos de anclaje de las cañerías verticales.

## **5.6. Cálculos**

En el proyecto, se tuvieron 2 tipos de casos para el cálculo de los muertos de anclaje. Uno fue muerto de anclaje para la cañería vertical y el otro el muerto de anclaje para la cañería horizontal. En la tabla a continuación se especifica la ubicación de cada uno de estos.

Tabla 17. Ubicación muertos de anclaje

| <b>Muerto Vertical</b> | <b>Muerto Horizontal</b> |
|------------------------|--------------------------|
|------------------------|--------------------------|



| Desagüe o Canal     | Progresiva caño al eje<br>[Km] | Desagüe o Canal  | Progresiva caño al eje<br>[Km] |
|---------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Toma                | 0+020                          | Toma             | 0+470                          |
| Colector Costa      | 2+352                          | Toma             | 0+550                          |
| Colector Costa      | 2+375                          | Colector Costa   | 2+337                          |
| Desagüe 17          | 4+150                          | Colector Costa   | 2+406                          |
| Desagüe 16          | 5+177                          | Cruce Ruta 6     | 7+030                          |
| Desagüe 15          | 6+731                          | Cruce Ruta 6     | 7+050                          |
| Canal T2 V Sud      | 8+030                          | Entrada Rebombeo | 10+800                         |
| Desagüe P IV        | 8+420                          | Cruce Ruta 6     | 19+500                         |
| Canal T1 V Sud      | 9+730                          |                  |                                |
| Canal Sec. III      | 9+730                          |                  |                                |
| Entrada Rebombeo    | 10+800                         |                  |                                |
| Salida Rebombeo     | 10+800                         |                  |                                |
| Canal Principal     | 10+910                         |                  |                                |
| Canal Sec. II Norte | 11+130                         |                  |                                |

Partimos de los datos del caño, que como ya hemos establecido el diámetro es de 350 mm y el espesor es de 6,3mm. La sección interior es de 894,09 cm<sup>2</sup>. La presión interna de la cañería proviene de los cálculos de pérdida para la bomba, que se mostraron anteriormente. El caudal transportado en toda la longitud es de 0,0833 m<sup>3</sup>/seg. Luego el ángulo de desvío varía entre 2 posibilidades que se tomo en el diseño de las curvas, que son 45 y 90 grados. Para la profundidad del caño se tomo el mínimo de tapada que es de 1,20 mts.

Como se mencionó anteriormente en las bases teóricas el cálculo de los esfuerzos por cambio de dirección, se divide en 3 direcciones, vertical (Fy [kg]), horizontal (Fx [kg]) y la resultante de ambas (Ft [kg]).

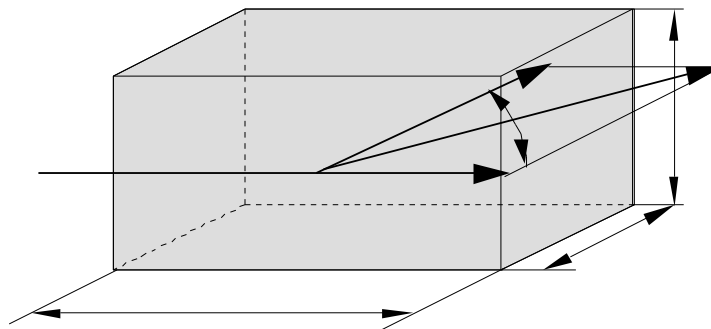


Figura 31. Esquema muerto de anclaje

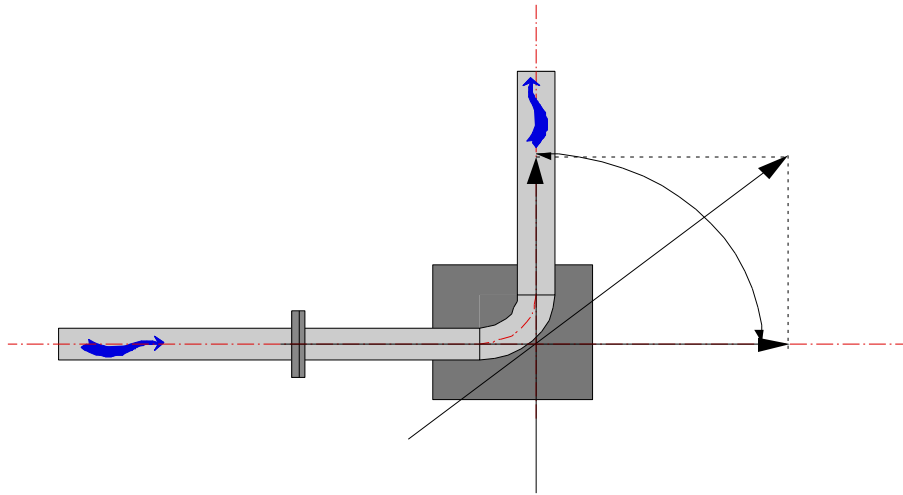


Figura 32. Esquema de fuerzas

A continuación se prosigue con el predimensionado de los muertos de Anclaje. Esto es un proceso iterativo ya que según las dimensiones que posea, se procederá a la verificación de la seguridad al levantamiento y la seguridad al desplazamiento horizontal.

Como se menciono anteriormente, el cálculo de la seguridad al levantamiento es directo, solo hay que calcular el peso del anclaje mas el peso del relleno por encima de este y compararlo con respecto a la fuerza vertical calculada debido al cambio en la dirección del flujo. Esto es:

Seguridad al deslizamiento =

Para el cálculo de la seguridad al deslizamiento primero se calculó el empuje pasivo del suelo actuando sobre el bloque. Luego la resistencia al deslizamiento del bloque sobre la superficie de apoyo. Una vez obtenida estas fuerzas, se las comparó con respecto al esfuerzo horizontal  $F_x$  anteriormente calculado y de esta forma se obtuvo el coeficiente.

Seguridad al deslizamiento =

Mientras la relación sea mayor a 1 nos encontramos frente a una situación estable.

Se calcularon además las tensiones de contacto entre el bloque y el suelo, para comparar con la resistencia del suelo y que estos sean compatibles. Estas tensiones se calculan a



partir de la relación entre las cargas calculadas y la sección del bloque de anclaje, por lo tanto tendremos una tensión horizontal y otra vertical.

La tensión admisible que se acepta para el tipo de suelo, que en nuestro caso es un suelo blando es entre 0,3 [Kg/cm<sup>2</sup>] y 0,5 [Kg/cm<sup>2</sup>]. Como se ve en las planillas todos cumplen con este requisito

Por último se pusieron armaduras necesarias para el control de figuración, hierros del  $\phi$  8 y del  $\phi$  10, con la separación especificada en la tabla.

## **5.7. Verificación estructural del omega**

### **5.7.1. Introducción**

Cuando se presentan cruces con algún canal, río, etc. en donde no es posible realizar el cruce directo del caño por debajo del terreno, ya sea alguna razón física o por un mayor gasto en el movimiento de suelo y posterior cruce del caño, otra opción es la de realizar un cruce aéreo. Este cruce es denominado cruce en omega. En este caso nos encontramos que el caño trabaja como una viga y debemos verificarla como tal, para que no tenga problema en el funcionamiento. El inconveniente en este tipo de cruce es que si la cañería posee poca rigidez flexional, sufrirá grandes deformaciones en el centro, que no son aceptables. Para esto hay tablas con los valores de flecha Máxima admisibles.

### **5.7.2. Verificación**

En la planilla a continuación se presentan los cálculos de la verificación del caño trabajando como viga. Lo que se comprueba es la flecha Max admisible en el centro de la viga, que es donde sufre la mayor deformación.

Se calcularon todas las propiedades mecánicas del caño, como viga circular. Entre estas se encuentran el momento de inercia "Jx"[cm<sup>4</sup>], el modulo resistente "Wx"[cm<sup>3</sup>], el peso del caño "P" [kg/m].



Se tuvo en cuenta para el cálculo de las reacciones en los apoyos 2 cargas principalmente. Una carga puntual de 150 kg que correspondería a una persona con herramientas por si es necesaria alguna reparación y luego una carga distribuida en toda la viga que corresponde al peso propio del caño y el peso del agua que transporta. A partir de esto se calcularon las reacciones en ambos apoyos. Con las reacciones se calculo el momento al que esta solicitado y con este se procedió a calcular la tensión de trabajo en el caño, que lo deberá resistir el material.

A continuación se presentan 3 planillas con los cálculos realizados y los resultados obtenidos, la cual se aprecia que todas las flechas son menores a las admisibles, por lo que resulta verificado. La única diferencia que presenta la ultima planilla con respecto a las anteriores es que al realizar la verificación de la flecha, esta no verificaba, por lo que se procedió a agregarle un perfil UPN por debajo, luego recalculando los parámetros mecánicos con la nueva forma de la viga, para su posterior verificación positiva de la flecha.

## **6. CÓMPUTO METRICO Y PRESUPUESTO**

A continuación se mostrará el cómputo métrico y presupuesto del proyecto de impulsión a la Central Térmica Roca. S.A. Esta parte no fue realizada por el alumno, pero es conveniente agregarla para tener una noción acerca de los costos en el proyecto y para dar un cierre al trabajo. El cómputo estará compuesto por los siguientes ítems, los cuales se les dará una breve descripción con el presupuesto final.

### **6.1. Ítem A.3.1-Excavacion y relleno en zanja**

Este ítem comprende la provisión completa de Materiales, Mano de Obra y Equipos para realizar la Excavación en Zanja para la Instalación de la Cañería, en cualquier tipo de terreno, incluyendo el posterior Relleno y Compactación de la zanja, extracción de agua de lluvia y/o napa, como así también el transporte y/o distribución del material sobrante, proveniente de las excavaciones; en un todo de acuerdo a Planos de proyecto. Se consideró zanja de 0.8m x 1.50 m en un recorrido de 19850m

### **6.2. Ítem A.3.2- Cañerías y accesorios de PRFV**



Comprende la provisión de Mano de Obra, transporte de materiales, equipos y mano de obra para la instalación de cañerías y sus accesorios, unión con aro de goma, alambre galvanizado 2mm de diámetro sujeto al extradós de la cañería en toda su extensión para detección y la respectiva prueba hidráulica en los siguientes diámetros y según Planos de proyecto.

### **6.3. Ítem A.3.3 Válvulas y accesorios:**

Comprende la provisión, transporte de materiales, equipos y mano de obra y necesarios para realizar el montaje de las válvulas que a continuación se detallan, incluyendo los insumos, accesorios, cámaras de Hormigón Armado con tapas según se indica en los Planos de proyecto..

### **6.4. Ítem A.3.4 Resolución de Interferencias**

Comprende la provisión, transporte de materiales, equipos y mano de obra para realizar las tareas, obras y solicitudes de permiso necesarias para resolver el cruce de la cañería de impulsión con las siguientes interferencias según se indica en los Planos de proyecto.

Cruce bajo Ruta Nacional 6, Cruce bajo Ruta Nacional 22 Vía Sur, Cruce bajo Ruta Nacional 22 Vía Norte, Cruce bajo Ruta Provincial 65 Calle Alsina, Cruce bajo Calle Villegas, Cruce bajo FF.CC, Cruce bajo Calle J. Newbery, Cruce Ductos Acero, Cruce bajo Ruta Nacional 6, Cruce aéreo canal de la Costa, Cruces aéreos sobre canales de riego.

### **6.5. Descripción del presupuesto**

A grandes rasgos estos son los ítems que componen el presupuesto del total de la impulsión. Hay 1 ítems que tiene mucha importancia en el total del proyecto, que fue el ítem A.3.2- Cañerías y accesorios de PRFV que se lleva el 81,8 % del total del proyecto. Este ítem fue condicionante, ya antes en la selección del tipo de material de la cañería explicamos la diferencia entre precios entre los materiales analizados. Luego en menor medida tenemos el ítem A.3.1 con el 10,35 %, el ítem A.3.4 con el 7,6 % y por último el ítem A.3.3 con solo 0,95 % del total del proyecto.

Como se mostro anteriormente el ítem fundamental esta correspondido por el material y la mano de obra para la instalación de la cañería. Es por esto que se realizo un análisis más detallado, para poder encontrar el material más económico que responda satisfactoriamente a las necesidades del proyecto.

A continuación se adjunta el presupuesto de la impulsión, en donde se pone de manifiesto los valores antes analizados.



## **7. CONCLUSIÓN**

### **7.1. Introducción**

El principal objetivo del presente trabajo de Práctica supervisada fue el de la realización de tareas específicas para la realización del proyecto de conducción de agua a la central Térmica Roca. S.A, para el aumento de la capacidad de generación de la central. Para alcanzar el objetivo planteado se realizaron una serie de tareas que pueden resumirse en las siguientes:

- Cálculo hidráulico de las pérdidas





- Dimensionamiento de la tubería que transporta el agua
- Selección de bombas necesarias para el trabajo
- Verificación de la tubería actuando como viga en cruces especiales
- Verificación de los muertos de anclaje en los conductos verticales y horizontales
- Confección de los planos planialtimétricos

## 7.2. Conclusiones

Las principales conclusiones son:

- La experiencia profesional desarrollada permitió afianzar y aplicar los conceptos recibidos de las distintas asignaturas de la carrera en un ámbito donde el alumno se vio envuelto en diferentes disciplinas, como la Agrimensura, Hidráulica, Estructura, etc.
- El proyecto original tuvo 2 opciones para su desarrollo, 1 captación directa desde el río hasta la central y otra con una captación dividida en 2 tramos con una estación de rebombeo en un punto intermedio. Se terminó optando por la opción más económica, que fue la segunda opción.
- Al ser un proyecto tan complejo, hubieron muchas obras que llevaron a la realización total de este. Se vieron involucradas muchas tareas tanto en la parte práctica como fue ir a recorrer el terreno para conocer los obstáculos a sortear, definir traza del conducto y en la parte teórica, que involucro investigación, cálculo y diseño. Todo esto conllevó al alumno a la formación de un criterio personal en el diseño y el posterior cálculo.
- La selección del material de la conducción y su posterior colocación fue un tema muy relevante en el proyecto debido a que representa el 81% del total del presupuesto de la conducción. En el mercado existen muchas opciones, algunas más caras que otras, que pueden limitar la selección, pero lo que también fue importante es que no siempre se dispone del material que uno elige para el diseño en el mercado local. Por esto se debe hacer una tarea previa de lo que se dispone y luego de ahí partir a la comparación de precios y calidad de estos.
- En el cálculo de los requerimientos de carga de la bomba, se vio que la pérdida más importante fue la debida a fricción, lo que a su vez limitó mucho en la selección del diámetro de la cañería, como se explicó anteriormente. El resto de las pérdidas no fueron significativas comparadas con esta ( $< 1\%$  del total)



- Para la selección de bomba, se tuvieron en cuenta los requerimientos de cálculo, pero lo que limitó la selección fue la disponibilidad de bombas con las características necesarias. Luego se continuó a la comparación de las bombas disponibles y la selección se realizó con un criterio de eficiencia de la bomba.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías | CRANE
- Hidráulica - Francisco Javier Domínguez
- Hidráulica General - Sotelo Avila



- Manuel Polo Encinas Turbo máquinas Hidráulicas
- Manual de Hidráulica - Ing. Dalmatti
- Mecánica de los Fluidos - Streeter, Wylie & Bedford - 9ª Ed
- Bombas Selección, uso y mantenimiento-Kenneth J.
- [http://www.unioviedo.es/Areas/Mecanica.Fluidos/docencia/\\_asignaturas/mecanica\\_de\\_fluidos/07\\_08/MF07\\_Perdidasdecarga.pdf](http://www.unioviedo.es/Areas/Mecanica.Fluidos/docencia/_asignaturas/mecanica_de_fluidos/07_08/MF07_Perdidasdecarga.pdf)
- <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/CursoTuberias.pdf>
- <http://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/113181/556033/...>
- Hidráulica y Maquinas Hidráulicas -Facorro Ruiz
- Hidráulica y Maquinas Hidraulicas-Stevenazzi
- [http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6041/mod\\_resource/content/1/Tema\\_16\\_CALC\\_MEC\\_TUBERIAS.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6041/mod_resource/content/1/Tema_16_CALC_MEC_TUBERIAS.pdf)
- Fundamentos de ingeniería Geotécnica-Braja M.Das