

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA
PARA LAS ACTIVIDADES DE CLORACION, PRECLORACION,
LAVADO Y SUMINISTRO DE LA PLANTA BOSCONIA EN EL
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. ESP.**

JUAN MANUEL GALVIS CASANOVA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA
PARA LAS ACTIVIDADES DE CLORACION, PRECLORACION,
LAVADO Y SUMINISTRO DE LA PLANTA BOSCONIA EN EL
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. ESP.**

JUAN MANUEL GALVIS CASANOVA

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Mecánico**

Director:

**JAVIER RUGELES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

DEDICATORIA

*A Dios porque ha sido mi guía en todo momento,
A Mi Madre por su constante apoyo, su confianza incondicional, sus
sacrificios, sus consejos sabios y por ese amor que siempre me ha brindado,
A Jimena, con todo mi amor, por su comprensión, apoyo y ternura,
A Daniela quien es mi constante inspiración,
A Mi Familia en la que siempre encuentro confianza.*

Juan Manuel Galvis Casanova

AGRADECIMIENTOS

El autor de este proyecto agradece sinceramente a:

A Jolman Lozano Pico, Ingeniero Mecánico, Coordinador de Mantenimiento Mecánico del amb y codirector del proyecto, quien me brindo su confianza para realizar este proyecto, fue mi orientador y amigo.

Al ingeniero Javier Rugeles Pérez por su asesoría y conocimientos.

Al Dr. William Ibáñez Pinedo, Ingeniero Civil, Gerente de Operaciones del amb. por su orientación en el desarrollo del proyecto.

A Yolanda Arboleda, Ingeniera Química, Jefe de Tratamiento del amb. Que me brindo su amabilidad y orientación técnica en el proceso de tratamiento del agua en la planta Bosconia.

A Jairo Fabián Jaimes, Ingeniero Ecléctico y Electrónico Coordinador de Mantenimiento Eléctrico del amb, Andrés Almeida, Ingeniero Civil, Profesional de Apoyo del amb y Fabio Ríos, Ingeniero Civil, Jefe de Sección Disponibilidad e Instalaciones del amb quienes me orientaron en sus campos de trabajo.

A todos mis amigos.

Gracias.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. SISTEMAS HIDRÁULICOS	4
1.1. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y FACTORES HIDRAULICOS DEL SISTEMA	4
1.1.1. Carga estática total	5
1.1.2. Carga por fricción	5
1.1.3. Perdidas en la entrada o salida	6
1.1.4. Curva de fricción y carga del sistema	6
1.1.5. Punto de operación o funcionamiento	7
1.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA	9
1.2.1. Bombas Centrifugas	9
1.2.2. Condiciones de aspiración y afluencia en carga	11
1.3. NORMATIVIDAD TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS HIDRAULICOS EN EL AMB S.A.ESP	14
2. SISTEMAS DE CLORACION, PRECLORACION, LAVADO Y SUMINISTRO EN EL AMB S.A. ESP.	16
2.1. DESINFECCION DEL AGUA	18
2.2. MEZCLA RAPIDA	19
2.3. FILTROS RÁPIDOS	20
2.4. DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS ACTUALES	20
3. DISEÑO HIDRÁULICO DE LOS SISTEMAS DE CLORACION, PRECLORACION, LAVADO Y SUMINISTRO	25
3.1. REQUERIMIENTOS HIDRÁULICOS	25

3.2. DISPONIBILIDAD DE MATERIALES EQUIPOS YESPACIOS LOCATIVOS	26
3.3. DISEÑO HIDRAULICO	28
3.3.1. Análisis de las condiciones para el diseño y funcionamiento red de cloración y precoloración	28
3.3.2 Análisis de las condiciones para el diseño y funcionamiento red de lavado.	35
3.3.3 Análisis de las condiciones para el diseño y funcionamiento red de suministro	45
4. PROCESO DE INSTALACION	55
4.1. DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE INSTALACION QUE SE REALIZARON EN CADA ETAPA DE LA OBRA	55
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES DE FUNCIONAMIENTO	72
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	76

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Curva de tubería o instalación	7
Figura 2. Desplazamiento del punto de operación por delta velocidad	8
Figura 3. Desplazamiento del punto de operación por estrangulamiento	9
Figura 4. Curvas características de desarrollo plano / pendiente	11
Figura 5. Esquema para determinar el NPSH disponible bomba arriba	12
Figura 6. Esquema para determinar el NPSH disponible bomba abajo	13
Figura 7. Edificio principal y Planta de tratamiento	17
Figura 8. Punto de precloración y Cloración final	18
Figura 9. Canaleta parshall	19
Figura 10. Conjunto de filtros	20
Figura 11. Equipo de Cloración y Precloración	21
Figura 12. Tanque elevado del edificio de químicos	22
Figura 13. Distribución antigua de la red de lavado	23
Figura 14. Espacio disponible para instalación de los equipos de bombeo	27
Figura 15. Punto de operación sistema de Cloración	34
Figura 16. Punto de operación sistema de lavado	44
Figura 17. Punto de operación sistema de suministro	56
Figura 18. Trazado de la tubería	59

Figura 19. Excavación para la tubería	60
Figura 20. Cajas de inspección y derivación	60
Figura 21. Tubería en acero realizado el sand-blasting y pintura primer	61
Figura 22. Instalación de tubería de PVC y atraques	62
Figura 23. Válvulas de control	64
Figura 24. Bases para bombas de los sistemas diseñados	64
Figura 25. Proceso de corte, soldadura y montaje de la succión de las bombas	66
Figura 26. Proceso de instalación de la tubería de descarga de las bombas	
Figura 27. Instalación final de tubería con pintura de acabado	67
Figura 28. Prueba de presión en la tubería instalada	68

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Velocidad en la tubería de succión.	14
Tabla 2. Requerimientos hidráulicos de los sistemas a diseñar.	26
Tabla 3. Coeficiente de pérdidas en accesorios tubería de cloración.	33
Tabla 4. Evaluación de pérdidas en accesorios tubería de cloración.	34
Tabla 5. Coeficiente de pérdidas en accesorios tubería de lavado.	40
Tabla 6. Evaluación de pérdidas en accesorios tubería de lavado.	44
Tabla 7. Coeficiente de pérdidas en accesorios tubería de suministro.	51
Tabla 8. Evaluación de pérdidas en accesorios tubería de suministro.	55

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Planos en AUTOCAD	77
Anexo 2. Planos en EPANET 2 ESP	88
Anexo 3. Graficas de funcionamiento de las bombas	92

NOMENCLATURA O GLOSARIO

NOTACIÓN

A	Área, m ² .
D	Diámetro, m.
f	Factor de fricción.
H _{es}	Altura de carga estática de succión
H _{ET}	Carga estática total
H _{ED}	Carga estática de descarga
H _F	Carga por fricción
H _V	Altura dinámica
hf	Perdida por fricción en la tubería
hsp	Cabeza o presión estática absoluta aplicada al fluido
hvp	Presión de vapor del líquido.
V	Velocidad del líquido en el depósito.
g	Aceleración gravitacional, m/s ² .
v	Viscosidad cinemática de el agua a 20° C
Re	Número de Reynolds
K	Coeficiente de pérdidas
Ph	Potencia Hidráulica
H _{vs}	Perdidas de carga en la succión

LETRAS GRIEGAS

- α Angulo de la reducción.
- β Relación de diámetros de la reducción.
- ε Rugosidad de la tubería.
- η_B Eficiencia de la bomba.
- θ Ángulo, grados o radianes.

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO E INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA PARA LAS ACTIVIDADES DE CLORACION, PRECLORACION, LAVADO Y SUMINISTRO DE LA PLANTA BOSCONIA EN EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. ESP.*

AUTOR:

Juan Manuel Galvis Casanova**

PALABRAS CLAVES:

Sistemas de Bombeo Hidráulicos, Cloración, Planta Bosconia, Tubería de Impulsión y Succión.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es implementar nuevos sistemas para el proceso de tratamiento del agua que se suministra al Área Metropolitana de Bucaramanga, continuando con los procesos de mejoramiento en calidad que se establecen en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP.

Este proyecto consiste en el diseño hidráulico para tres actividades fundamentales en el tratamiento del agua que implicó la selección de equipos como bombas, tuberías, elementos de unión, válvulas y un esquema para la distribución de la red que permitiera no solamente bajos costos sino además unos cambios en la infraestructura de la planta Bosconia que no afectaran el suministro continuo actual. Para cumplir con estas condiciones fue necesaria la articulación de diferentes departamentos de la gerencia de operaciones, teniendo como orientación fundamental la satisfacción de los requerimientos de los procesos y las normas técnicas establecidas por el acueducto para el desarrollo de nuevos proyectos

En el proceso de diseño se realizaron cálculos teóricos basados en resultados experimentales como DARCY- WEISBACH y datos de fabricantes de los equipos que posteriormente fueron contrastados con datos reales del montaje, se tuvo en cuenta pérdidas menores, pérdidas en accesorios, cargas estáticas, parámetros para la succión e impulsión de las bombas, parámetros de seguridad para los operarios y facilidad para el mantenimiento de los equipos instalados. El diseño hidráulico presenta succión positiva para las cinco (5) bombas instaladas y se buscó el punto de funcionamiento de cada sistema interceptando las curvas suministradas por el fabricante y las curvas de carga del sistema generadas por la carga estática, las pérdidas en tubería y accesorios del recorrido y las salidas o descarga a los tanques de almacenamiento o en el caso del sistema lavado la salidas en las boquillas.

El sistema diseñado permite no solo garantizar el proceso continuo de cloración , precloración, y suministro al edificio de químicos para el arrastre de los elementos necesarios en el tratamiento de agua sino que cuenta con un sistema de respaldo para paradas de emergencia o programadas. Este sistema de respaldo consiste en un conjunto de válvulas que se accionan de manera automática cuando las bombas de el sistema dejan de funcionar permitiendo el suministro de agua a través de la red de angelinos.

Este trabajo permite no solo garantizar los requerimientos de la planta para el tratamiento de agua sino que además mejoro las condiciones de operación y aumento la confiabilidad de los procesos, todo esto requirió de una inversión cercana a los cien millones de pesos (\$ 100'000.000) lo que ratifica que es uno de los proyectos más importantes de la Planta Bosconia en el año 2006.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Javier Rugeles

SUMMARY

TITLE:

DESIGN AND INSTALLATION OF THE WATER PUMPING SYSTEMS FOR THE ACTIVITIES OF CHLORINATION, PRE -CHLORINATION, WASH AND SUPPLY OF THE BOSCONIA 'S PLANT IN BUCARAMANGA'S METROPOLITAN WATER COMPANY S.A. E.S.P.*

AUTHOR:

Juan Manuel Galvis Casanova **

KEY WORDS:

Hydraulic pumping systems, Chlorination, Bosconia 'S Plant, Driving and Suction Pipeline.

The aim of this project is to implement new systems for the process of treatment of the water that is given to Bucaramanga's Metropolitan Area, continuing with the processes of quality improvement that are established in Bucaramanga's Metropolitan Water Company S.A. E.S.P.

This project consists in the hydraulic design for three fundamental activities of water treatment that implied the selection of equipments such pumps, pipelines, union elements, valves and the distribution of the system that allowed not only low costs but besides a few changes in the infrastructure of the Bosconia's plant which were not affecting the constant current supply. To accomplish with these conditions was necessary to work along with different departments of the operation management, taking as a fundamental orientation the satisfaction of the process requirements and the technical procedure established by the company for the development of new projects.

In the design process there were realized theoretical calculations based on experimental results as DARCY - WEISBACH and information of the equipment manufacturers that later were confirmed by real information of the system, having in mind lost minors, accessory losses, static charges, suction and driven parameters of the pumps, safety parameters for the workmen, and maintenance facility of the installed equipments. The hydraulic design presents positive suction for the five (5) installed pumps, it was looked for the functioning point of every system intercepting the curves given by the manufacturer, the load curves of the system generated by the static load, and the losses in pipeline, accessories, and the inlets or outlets to the storage tanks or in case of the washed system the outlets in the nozzle.

The designed system allows not only to guarantee the constant process of chlorination, pre-chlorination, supply to the chemists' building for the dragging of the necessary elements in the water treatment, but also it relies on a support system for programmed emergency stops. This support system consists of a set of valves that are driven in an automatic way when the system bombs stop working; allowing the water supply to go across of angelinos' system.

This work allows not only to guarantee the plant requirements for the water treatment but besides it improved the conditions of operation and increased the reliability of the processes. It was only needed an investment near to a hundred million of Colombian pesos (\$ 100 ' 000.000) what confirms that it is one of the most important projects of the Bosconia's Plant in the year 2006.

* Degree work

** Fisic - Mechanic Science Faculty. Mechanical Engineering School, Ing. Javier Rugeles.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las ciudades en Colombia específicamente el Área Metropolitana de Bucaramanga ha generado que las empresas de servicios públicos domiciliarios tengan en sus lineamientos más inmediatos el mejoramiento de la calidad en sus servicios, por esta razón el ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. ESP. Ha orientado su fortalecimiento a la consecución de certificaciones internacionales y nacionales como la ISO 9001; 2000 e ICONTEC 9001; 2000 para sus procesos de tratamiento de agua los cuales cuentan con un respaldo de la administración en su ejecución y desarrollo. Para esto se destino no solo adiciones presupuétales sino que se logro enfocar los diferentes departamentos involucrados para su ejecución como la Gerencia de Operaciones, Jefe de Tratamiento, Coordinador de Mantenimiento Mecánico, Coordinación de Mantenimiento Eléctrico y Jefe de Planta, para lograr una articulación que generara excelentes resultados. Además el ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. ESP. Cuenta con convenios con universidades como el suscrito con la Universidad Industrial de Santander para el desarrollo de prácticas que afiancen el vínculo académico empresarial que fortalezca el desarrollo comercial de la región.

Una de las principales decisiones tomadas en la empresa es la actualización de los equipos empleados en el tratamiento de agua los cuales deben garantizar a los usuarios un agua de excelente calidad que mantenga no solamente a sus clientes satisfechos sino a la empresa posicionada como una de las mejores a nivel nacional.

Actualmente uno de los principales procesos en el tratamiento del agua consiste en la desinfección a la que esta se debe someter de manera efectiva y continua mediante un proceso de precloración y cloración con mezclas gaseosas para eliminar microorganismos patógenos. También se tiene en cuenta otras actividades importantes como es el lavado periódico de las galerías de filtros y sedimentadores así como el suministro de agua al edificio de químicos en donde se requiere una continua dosificación de otras sustancias que faciliten la potabilización del agua.

El diseño e instalación de los sistemas de bombeo de agua para las actividades de cloración, precloración, lavado y suministro de la Planta Bosconia en el ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. ESP. es el tema de este proyecto de grado en modalidad práctica empresarial, que ha generado sea considerado uno de los más importantes en la Planta durante el año 2006.

Los diseños hidráulicos que se implementaron están planeados mediante requerimientos específicos ya sea del fabricante de los mezcladores de cloro, de las especificaciones de lavado en la planta o de las necesidades del edificio de químicos, basados siempre en los fundamentos de los sistemas hidráulicos, su aplicación y desarrollo, junto con la normatividad técnica exigida para sistemas de acueducto que envuelven un marco teórico fundamental para un correcto funcionamiento.

Se realizó un análisis de las no conformidades que presentaban los equipos que estaban funcionando, sus posibles cambios, la disponibilidad tanto de equipos, materiales y locativos para la implementación de estos nuevos sistemas logrando un resultado que permitió minimizar los efectos sobre el

normal funcionamiento de la planta una distribución de tubería eficiente, la actualización de la información de la planta mediante la elaboración de planos con medidas tomadas directamente en el área de trabajo y una satisfacción en los requerimientos del tratamiento de la Planta Bosconia.

1. SISTEMAS HUDRAULICOS

Los procesos industriales requieren de sistemas que faciliten cada día mas las condiciones de funcionamiento generando mejores resultados que se traducen en un beneficio económico. Las industrias que requieren el transporte de fluidos de un lugar a otro han encontrado en la historia una de las mejores alternativas en el flujo a través de tuberías. Sin embargo la mecánica de fluidos necesita en su mayoría de métodos de calculo y solución basados en coeficientes determinados experimentalmente, por lo que muchas formulas empíricas se han presentado a consideración por lo que es importante que el ingeniero diseñador no solo aplique un criterio sino que además sepa porque esta seleccionando ese criterio. Este criterio utiliza los datos de cientos de resultados de instalaciones hidráulicas en Francia de una forma muy detallada y generando resultados que acercaban los cálculos teóricos con la realidad, gracias a que muchos de sus cálculos re realizaron para tubería nueva de una forma clara que permitió se considere una de las bases teóricas mas utilizadas aun en nuestros días.

1.1 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y FACTORES HIDRÁULICOS DEL SISTEMA

El transporte de un fluido de un lugar a otro que permita desarrollar alguna función o simplemente un suministro de caudal requiere la transferencia de energía. Para esto es necesaria una bomba que actúa como un medio mecánico que transforma la energía logrando cumplir con los objetivos o

necesidades, por esto es el elemento más importante de los circuitos hidráulicos.

La bomba transforma la energía mecánica del impulsor en la energía cinética y potencial requerida, esta energía permitirá que el líquido circule por la tubería o llegué a una mayor altura. Es importante reconocer que una bomba solo funciona dentro de un sistema entregando un volumen de líquido a este sistema, garantizando una energía formada por la carga estática, diferencia en presiones en las superficies de los líquidos, carga de fricción y pérdida a la entrada y salida.

1.1.1 Carga Estática Total (H_{ET}): Diferencia de elevación entre los niveles del líquido en los puntos de descarga y succión de la bomba. Es importante recordar que existe una carga estática de succión (H_{ES}) que es la diferencia de nivel entre el nivel del líquido de donde se toma el agua y la línea de centro de la bomba (este valor es negativo cuando el depósito de agua está por debajo de la línea de centros de la bomba).

La carga estática de descarga H_{ED} es la diferencia de alturas entre el nivel de almacenamiento final y la línea de centros de la bomba.

$$H_{ET} = H_{ED} - H_{ES}$$

1.1.2 Carga por fricción (H_f). Es la carga necesaria para contrarrestar las pérdidas por fricción generadas por el flujo del líquido en la tubería, las válvulas, los accesorios, y otros componentes del sistema. Estas pérdidas varían de acuerdo al tamaño, tipo y condiciones de las superficies de los tubos y accesorios y las características del fluido bombeado.

1.1.3 Perdidas a la entrada o la salida. Depende de las condiciones de conexión tanto en la aspiración del líquido como en la entrega y deben considerarse como parte de las pérdidas totales.

1.1.4 Curva de fricción y carga del sistema. Las pérdidas por fricción varían aproximadamente proporcionalmente al cuadrado del flujo del sistema, por esto es muy útil realizar una comparación entre la capacidad de la bomba y las pérdidas de carga por fricción. Un método muy común es realizar el cálculo de las pérdidas con algún flujo determinado sea el esperado o el de diseño y luego se calcula para todos los demás flujos con el empleo del cuadrado de la relación de flujo. La curva resultante se llama curva de fricción del sistema.

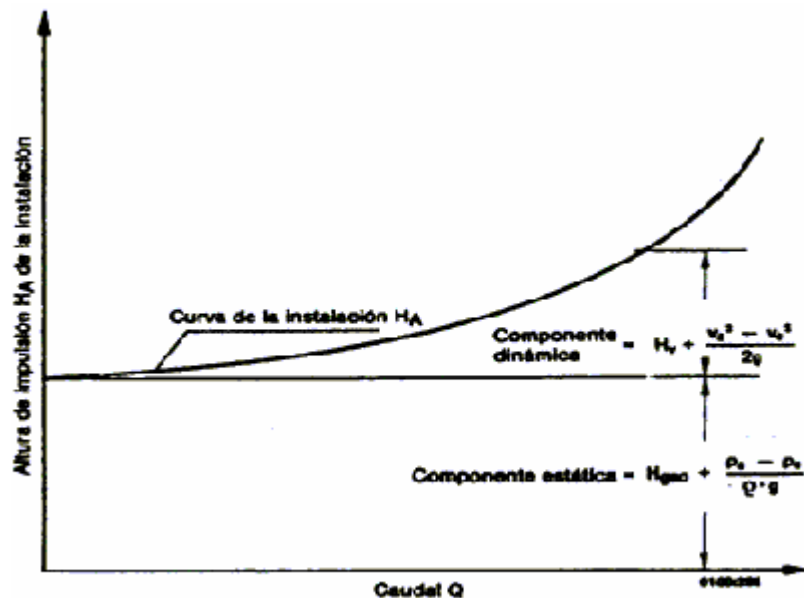
Cuando se combinan las cargas estáticas, la pérdida por fricción y la diferencia de presión entre el depósito de succión y el nivel de la descarga y se trazan contra la capacidad la curva resultante se llama curva de carga del sistema.

La altura de la impulsión necesaria en la instalación H_A , representada por la curva correspondiente (curva de la instalación), se muestra en la Fig.5. Esta curva nominal está formada por las componentes estática y dinámica de la instalación.

La componente estática del caudal, consiste en la altura geodésica H_{geo} más la diferencia de presiones entre las secciones transversales de salida y entrada de la instalación. En caso de depósitos abiertos, no existe este último sumando.

La componente dinámica es suma de la pérdida de carga, función cuadrada del caudal, H_v y la diferencia de alturas dinámicas entre las secciones transversales de salida y entrada de la instalación.

Figura 1 curva de tubería o instalación



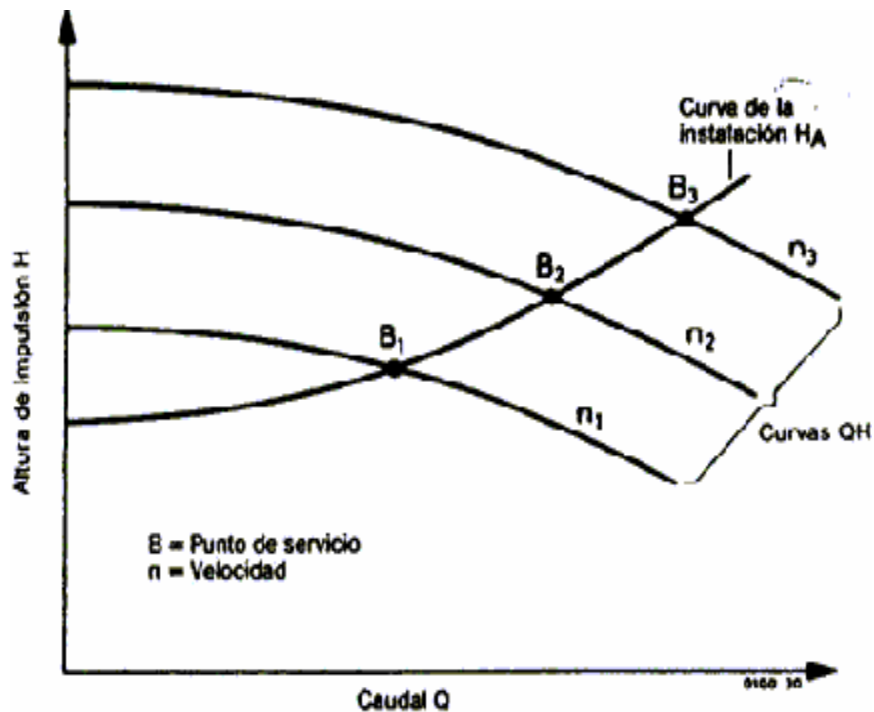
Fuente: descom.jmc.utfsm.cl/sge.ywitz/titing/dimensionando%20de%20bombas.htm.

1.1.5 Punto de operación o funcionamiento. Toda bomba centrífuga sitúa su punto de funcionamiento B en la intersección de su curva característica (QH-línea) con la de la tubería H_A . Por consiguiente, modificar el punto de trabajo B (y con ello el caudal Q y la altura de impulsión H), con rodete radial, en general sólo es posible variando el número de revoluciones n , el diámetro del rodete D o la característica de la tubería H_A , dado por sentado que la bomba funciona libre de cavitación. Al superponer la curva de carga del sistema hallada y la curva de capacidad de la bomba se puede encontrar el punto de corte punto de operación del sistema o punto de funcionamiento, en otras

palabras la capacidad que entregara al sistema la bomba a esa velocidad particular.

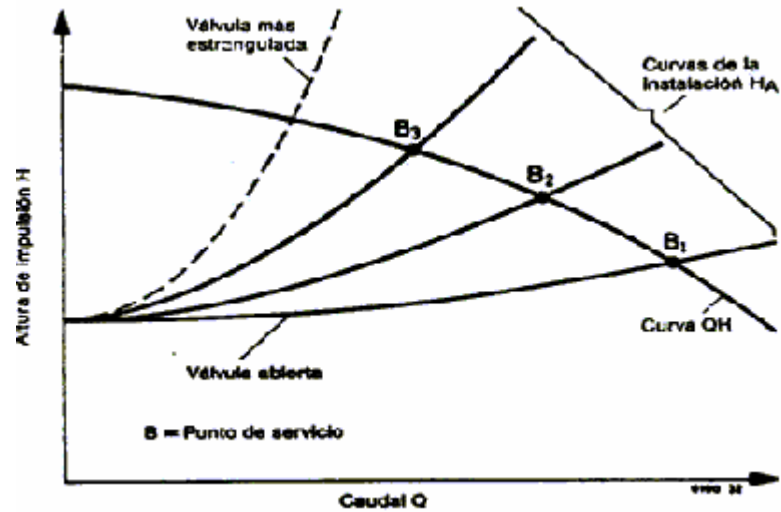
Prácticamente con fluidos libres de sólidos y de viscosidad normal, modificar la característica de la instalación solamente será posible abriendo o estrangulando un órgano de regulación, o variando el diámetro de la tubería. Esto último tiene lugar en ocasiones diversas, por incrustaciones, decantaciones, etc.

Figura 2. Desplazamiento del punto de operación desde B1 hasta B3 a través de la curva del sistema H_A debido a la elevación de la velocidad de régimen desde n_1 hasta n_3 .



Fuente: descom.jmc.utfsm.cl/sge.ywitz/titing/dimensionando%20de%20bombas.htm.

Figura 3. Desplazamiento del punto de operación desde B1 hasta B3 sobre la curva característica de la bomba a medida que se estrangula la válvula.



Fuente: descom.jmc.utfsm.cl/sge.ywitz/titing/dimensionando%20de%20bombas.htm.

1.2 SELECCIÓN DE BOMBAS

Los sistemas hidráulicos involucran una transferencia de energía que se traduce en el movimiento del fluido o en el aumento de presión. La bomba es el elemento mecánico para desarrollar esta transferencia por lo que es determinante en el proceso. Las bombas centrífugas se han constituido en las más utilizadas debido al manejo de grandes cantidades de caudal en comparación con bombas de otro tipo.

1.2.1 Bombas Centrífugas. El mejoramiento de los procesos está relacionado con el equipo de bombeo, con su funcionamiento y su aplicación.

Cuando se opera una bomba lejos del punto de máxima eficiencia se producen fallas como aspereza hidráulica, impulsos de vibración, flexiones

del eje, desgaste excesivo de los cojinetes y sellos mecánicos. Esto ocurre porque no se reconoce las limitaciones inherentes de capacidad de las bombas centrífugas.

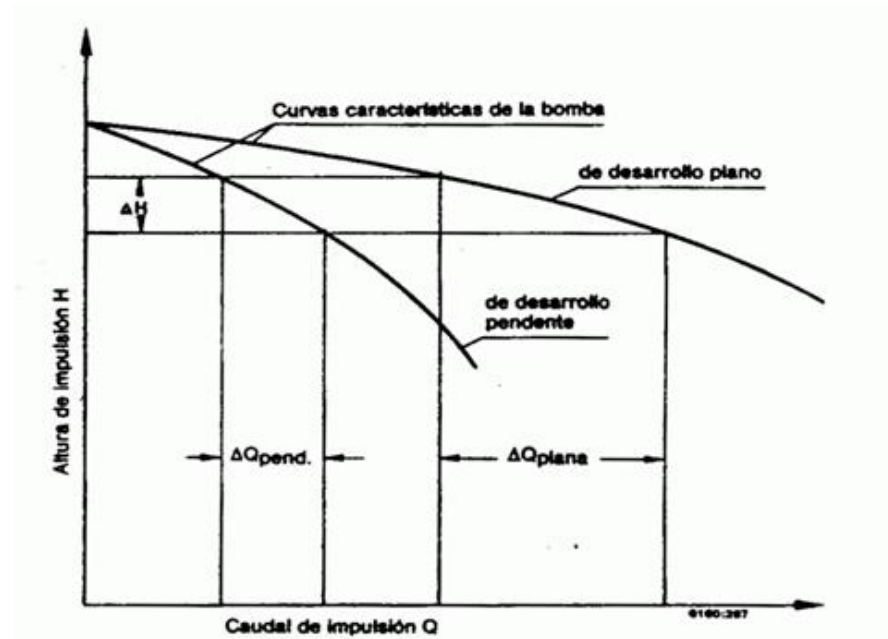
Se conocen los datos necesarios, caudal y altura de impulsión, del punto de servicio deseado, así como la frecuencia de uso de la red. Con ellos seleccionamos el tamaño de bomba y su velocidad de entre el campo de curvas disponibles. Después se van obteniendo las restantes magnitudes de la bomba elegida como rendimiento o eficiencia η , potencia absorbida P y NPSH, de la curva concreta de la misma y el costo.

En tanto no exista otra razón especial en la elección, se tratará de que el punto de trabajo quede situado tan próximo como sea posible al de rendimiento óptimo de la bomba.

Curva característica de la Bomba. Contrariamente a las bombas de desplazamiento positivo, Ej. Bomba de pistón, el caudal Q que suministra una bomba centrífuga a velocidad constante ($n = \text{constante}$) aumenta cuando disminuye la altura H de impulsión. Es decir, tiene capacidad de autorregulación. Así mismo, del caudal dependen la potencia absorbida P , el rendimiento η y el NPSH requerido de la bomba. El desarrollo conjunto de estos parámetros queda representado en la curva característica de la bomba, el cual caracteriza el comportamiento de la bomba centrífuga.

Según las condiciones de servicio puede ser conveniente una curva plana o pendiente. Con una curva característica pendiente y para una misma variación de la altura, el caudal varía en menor cuantía que con una curva plana. Por consiguiente, una curva pendiente ofrece mejores posibilidades de regulación que una curva plana.

Figura.4 Curvas características de desarrollo plano / pendiente



Fuente: descom.jmc.utfsm.cl/sge.ywitz/titing/dimensionando%20de%20bombas.htm.

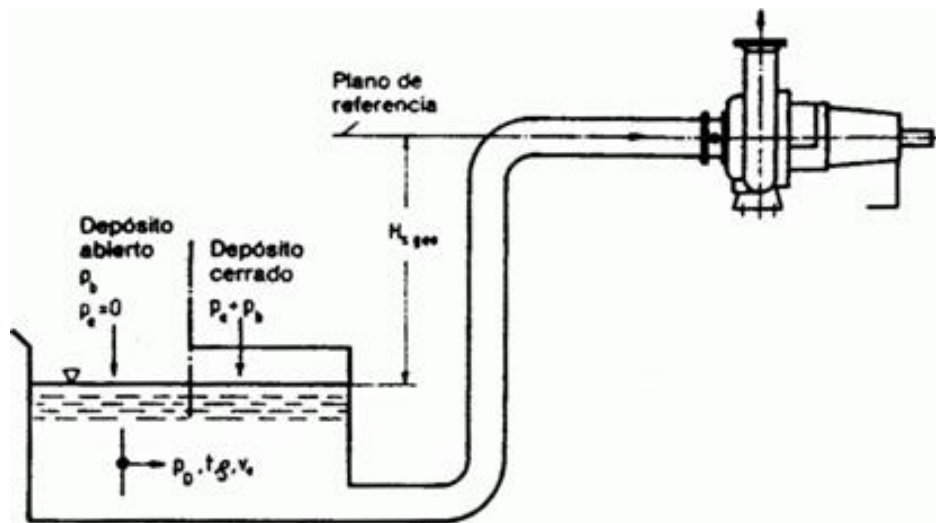
1.2.2 Condiciones de aspiración y afluencia en carga

NPSH requerido por la bomba (=NPSH_{erf}) (NPSH=Net Positive Suction Head). Para el correcto funcionamiento de una bomba centrífuga, es condición imprescindible que no surja formación de vapor alguna en su interior. Por esta razón, en el punto de referencia del valor NPSH, la presión ha de ser, al menos, superior a la tensión de vapor del líquido que se bombea. Dicho punto de referencia del NPSH es el centro del rodete, es decir, la intersección de su eje axial con el plano vertical que pasa por el canto exterior del lado de aspiración de sus alabes.

NPSH_{req} (requerido) es necesario para la bomba y su valor en metros se obtiene en la curva característica de la misma. En la práctica, a este valor se le suma un incremento de seguridad de 0,5 m.

NPSH disponible en la instalación (=NPSH_{dis}). Para determinar el valor de NPSH de la instalación, NPSH_{disp}, el punto de referencia es el centro de la aspiración de la bomba. En bombas normalizadas de carcasa espiral y disposición horizontal, entre el centro de la aspiración y centro del rodete, la altura geodésica es igual a cero. Cualquier desviación con respecto a lo indicado deberá ser tomada en cuenta. NPSH_{disp} se calcula del modo siguiente: Caso a) Servicio de aspiración. La bomba está instalada en un nivel superior al del líquido (véase Fig.5).

Figura 5. Esquema para determinar el NPSH disponible con servicio en aspiración.



Fuente: descom.jmc.utfsm.cl/sge.ywitz/titing/dimensionando%20de%20bombas.htm.

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = h_{\text{sp}} - h_{\text{Es}} - h_f - h_{\text{vp}}$$

Con líquidos fríos como el agua y con depósito abierto tenemos.

$$P_b = 1 \text{ bar } (= 10^5 \text{ N/m}^2)$$

$$P_e = 0 \text{ bar}$$

$$\rho = 1000 \text{ Kg./m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2 \text{ (con error del 2\% en lugar de } 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$v_e^2/2g$ puede suprimirse, debido a la reducida altura dinámica en la aspiración así como en el depósito.

En la práctica, la fórmula queda reducida a:

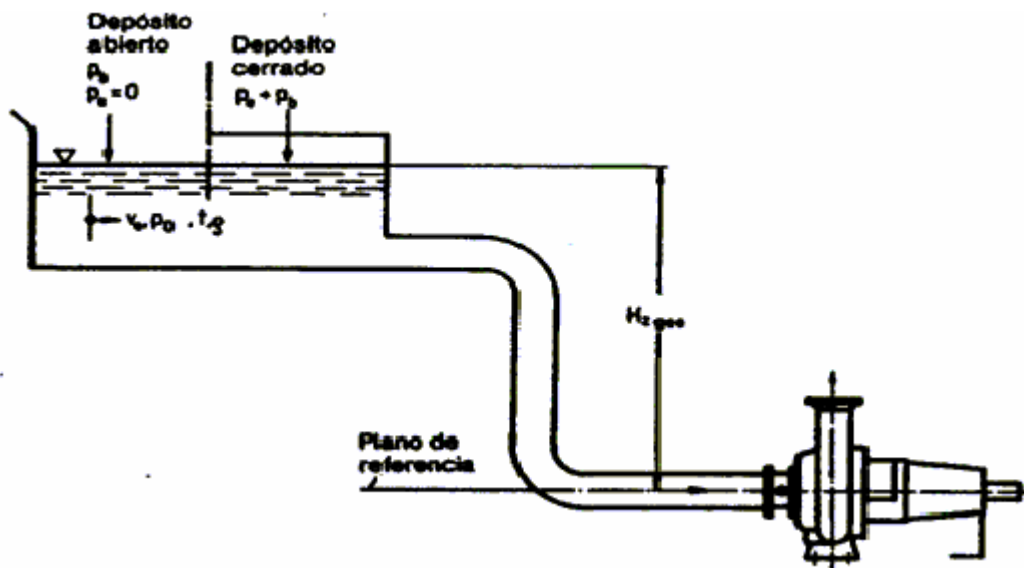
$$\text{NPSH}_{\text{disp}} \approx 10 - H_{v,s} - H_{s,\text{geo.}}$$

Caso b) Servicio en carga. La bomba está instalada en un nivel inferior al del líquido. (Véase Fig.6).

Simplificada en la práctica, bajo las mismas condiciones del caso a) tendremos:

$$\text{NPSH}_{\text{dis}} \approx 10 - H_{v,s} + H_{z,\text{geo.}}$$

Figura 6. Esquema para determinar el NPSH disponible con servicio en aspiración.



Fuente: descom.jmc.utfsm.cl/sge.ywitz/titing/dimensionando%20de%20bombas.htm.

Si se permite que la presión en la succión disminuya hasta el punto donde se presenta vaporización se genera cavitación dentro de la bomba lo que

permitirá que la bomba no tenga un flujo permanente sino que tome una mezcla de vapor y líquido disminuyendo la entrega. La entrada de burbujas de vapor a puntos de presiones mayores provoca que las burbujas se colapsen en forma muy rápida generando ruido, desgaste y vibración excesiva.

1.3 NORMATIVIDAD TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS EN EL amb. S.A. ESP.

La normatividad técnica para el diseño hidráulico se basa en los lineamientos establecidos en el RAS 2000 en términos de velocidad tanto en la succión como en la impulsión RAS SECCION B.8.5.6.1.

Tabla 1. Velocidad en la tubería de succión

Diámetro de la tubería de succión mm	Velocidad máxima en (m/s)
50	0.75
75	1.0
100	1.30
150	1.45
200	1.60
250	1.60
300	1.70
Mayor que 400	1.80

La velocidad mínima en la tubería de succión será de 0.45 m/s

RAS SECCION B.8.5.6.2

VELOCIDAD EN LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN

La velocidad en las tuberías de impulsión debe estar entre 1.0 y 3.0 m/s, valores por fuera de este rango deben ser justificados económicamente.

También se tomaron las condiciones generales de la sección B.8.4 y B 8.6.2 numeral 2

NORMATIVIDAD INTERNA DE MATERIALES: Los materiales utilizados para la instalación de nuevas redes deben cumplir con normas de calidad estandarizadas como la ASTM 536 para accesorios de hierro fundido, ISO 2531, 4633 y las normas de la AWS para electrodos A5.1 .

NTCOO 382 : Tubos de PVC clasificados según la presión (RDE)

NTC 2097 : Válvulas de compuerta elástica para agua.

ISO 2531 :Tuberías de hierro dúctil acoples y accesorios para líneas de tubería de presión

ISO 4633 : Juntas de estanqueidad de caucho para alimentación y evacuación de aguas

2. SISTEMAS DE CLORACION, PRECLORACION, LAVADO Y SUMINISTRO EN EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. ESP.

La Planta Bosconia es la más grande de las cinco existentes actualmente y que conforman el sistema de producción de agua potable de la empresa.

Esta planta de tratamiento hace parte del proyecto Suratá, cuyos estudios fueron hechos en el año de 1980, y el cual se realizó con el objeto de ampliar el suministro al Área Metropolitana de Bucaramanga, el cual comprendió la construcción de: la captación del río Suratá, las obras de Pretratamiento: tanques desarenadores y presedimentadores, la planta de tratamiento de Bosconia, estación de Bombeo de agua tratada, subestación eléctrica, línea de impulsión y el sistema de redes y Tanques para la distribución del agua a la ciudad.

El proyecto río Suratá inició operaciones en agosto de 1984 aumentando en 2000 l/s la capacidad de producción mínima confiable del sistema completando una capacidad total de producción de 3840 l/s, que servirán para atender la población del Área Metropolitana.

La planta de Bosconia está localizada en la vía que conduce de Bucaramanga, al municipio de Matanza, al Nororiente de la ciudad.

Figura 7. Edificio principal de tratamiento y planta de tratamiento de agua



La planta tiene una capacidad de 2000 l/s, y es del tipo convencional con tanques desarenadores, presedimentadores, mezcla rápida, floculación mecánica, sedimentación y filtración.

El tratamiento del agua tiene varias etapas como son:

- Captación del río Suratá
- Aducción captación - desarenador
- Estructuras de llegada a los desarenadores (Canales)
- Desarenadores
- Presedimentadores
- Precloración*
- Conducción presedimentadores en la planta de tratamiento químico
- Estructuras de llegada a la planta (canales)
- Mezcla rápida*
- Floculadores
- Sedimentadores
- Filtros rápidos*

- Desinfección del agua (cloración)*
- Corrección del PH
- Tanque de almacenamiento de agua tratada

Los aspectos señalados * son los que están directamente involucrados en el desarrollo del proyecto.

2.1 DESINFECCION DEL AGUA

El proceso de desinfección del agua tiene por finalidad la destrucción de los microorganismos patógenos presentes en el agua y que no pudieron ser removidos por los procesos físico - químicos anteriores.

Para lograr este objetivo se utiliza el PROCESO DE CLORACIÓN simple, subdividido en dos etapas, una de PRECLORACION y otra llamada de cloración o POSCLORACIÓN o Cloración final.

Figura 8. a) Punto de precloración b) Punto de cloración final.



La etapa de precloracion se lleva a cabo en la cámara de entrada del agua a la planta de tratamiento donde se aplica una dosis suficiente para prevenir la formación de cultivos de algas en las estructuras y especialmente en los filtros. La etapa de poscloracion se lleva a cabo en la entrada del tanque de aguas claras aplicando la dosificación de cloro para obtener un tiempo de contacto de 20 a 30 minutos.

2.2 MEZCLA RAPIDA

La aplicación de la solución de sulfato de aluminio requerido para la coagulación del agua presedimentada que llega a la planta, se hace en la garganta de la canaleta Parshall. El proceso de mezcla rápida, requerido para que la solución de sulfato de aluminio se mezcle homogéneamente y de manera continua se logra gracias a la turbulencia y continua hasta la entrada de los floculadores, para esto se utiliza un sistema de suministro de agua desde los tanques elevados de la planta.

Figura 9. Canaleta parshall



2.3 FILTROS

El sistema de filtración esta constituido por dos baterías de filtros rápidos cada una, ambas localizadas entre los sedimentadores y el tanque de almacenamiento de agua tratada.

Figura 10. Conjunto de filtros



Los filtros cumplen la función de remover las partículas, impurezas y microorganismos que no han sido eliminados en pasos anteriores del tratamiento, trabajan a tasa declinante y requieren ser limpiados periódicamente por lo tanto se requiere de un SISTEMA DE LAVADO que garantice este proceso cada dos meses.

2.4 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS ACTUALES EMPLEADOS PARA ESTAS OPERACIONES

Equipo de cloración: el equipo de cloración cuenta actualmente con dos bombas centrifugas que impulsan agua mediante una conducción de tubería de 2" en HG y PVC a los cloradores ubicados en el segundo piso del edificio de químicos. La interconexión de sus tuberías permite seleccionar cual

clorador se requiere en funcionamiento de una manera manual mediante válvulas de cierre de PVC. Las bombas están ubicadas en el primer piso del edificio de químicos, sin embargo la succión de estas bombas tiene una longitud de mas de 100m ya que extrae el agua del tanque principal de almacenamiento debido a que se requiere de agua potable para la entrada a los cloradores. Esto genero inconvenientes de descarga en las bombas para el tramo de succión, situación que fue evidenciada mediante no conformidades de los operarios de la planta. Dada la trascendencia y el desarrollo continuo de la planta se decidió conectar a esa red de suministro una red de apoyo llamada Angelinos (por el barrio que alimenta al norte de la ciudad). Que a su vez se convirtió en la red principal del sistema de cloración dadas las condiciones de intermitencia de las bombas. Desafortunadamente este sistema no cuenta con un sistema de respaldo confiable lo que pone en riesgo el normal desarrollo de la planta y por lo tanto del suministro de agua a los usuarios finales.

Figura 11. a) Equipo de bombeo b) Control y distribución del proceso y c) Mezcladores de cloro gaseoso



a)



b)



c)

Red de suministro al edificio de químicos: este abastecimiento se está desarrollando actualmente con la red de Angelinos y no cuenta con sistema de respaldo, solo con dos tanques de almacenamiento aéreos lo que pone en peligro el abastecimiento de agua para la dosificación de los químicos requeridos para la potabilización del agua.

Figura 12. a) Tanque elevado del edificio de químicos y b) Entrada de la red al edificio por la parte frontal



a)



b)

Red de lavado de filtros rápidos: los filtros rápidos requieren de un lavado periódico debido a la acumulación de lodos y desechos extraídos al agua esto se logra gracias a una red extendida por la parte superior de la planta. Esta red también funciona conectada a la red Angelinos. Presenta dificultades de distribución porque no cubre la totalidad de la planta, además en algunos puntos genera obstrucción en los pasillos lo que se convierte en riesgo en caso de evacuación.

Figura 13. Distribución antigua de la tubería de lavado en HG por la planta



Como los tres sistemas están conectados a la red de angelinos también se presenta limitación en su accionamiento simultáneo por pérdida de presión en el suministro a los usuarios.

3. DISEÑO HIDRÁULICO DE LOS SISTEMAS DE CLORACIÓN, PRECLORACION, LAVADO Y SUMINISTRO

El proceso de diseño parte de una no conformidad manifestada en el memorando interno N° 010043 presentado por el jefe de sección Planta Bosconia el 16 de mayo de 2005. al fallar la red de suministro de Angelinos y no contar con un sistema de respaldo que pudiera entrar en funcionamiento afectando de manera importante el normal desarrollo de la planta de tratamiento.

También se presentaron no conformidades en los sistemas de lavado y suministro al edificio de químicos debido a la dependencia que se tenía de la misma red de Angelinos.

3.1 REQUERIMIENTOS HIDRÁULICOS

Los requerimientos hidráulicos para los tres sistemas fueron establecidos según las condiciones del fabricante de los equipos de cloración, de las condiciones de lavado basados en la experiencia de los operarios para el arrastre de lodos con condiciones técnicas similares a las de sistema contra incendios en cuanto a pérdidas y presiones en mangueras y boquillas establecidas por la OPCI, y de las necesidades de la planta para los procesos químicos necesarios para potabilizar el agua que varía el tratamiento de acuerdo a las solicitudes del Bombeo y el nivel del tanque de almacenamiento principal.

Estas fueron establecidas de la siguiente manera:

Tabla 2. Requerimientos hidráulicos de los sistemas a diseñar.

Requerimientos	Cloración	Lavado	Suministro
Q (L/s)	3.5	18	3
Presión mca	50-85	35	15

- Recomendaciones deL fabricante de los cloradores.
- Recomendaciones técnicas para el manejo de mangueras y boquillas.
- Recomendaciones de los operarios
- Condiciones del tratamiento de agua cruda en la planta bosconia.

Además siempre se estableció como condición fundamental que el sistema diseñado contara con un sistema de respaldo que entrara a funcionar inmediatamente después que el principal presentara alguna falla.

3.2 DISPONIBILIDAD DE MATERIALES, EQUIPOS Y ESPACIOS LOCATIVOS

Dadas las condiciones de no conformidades existentes en la Planta Bosconia el **amb. S.A. ESP.** genero para este proyecto una disponibilidad presupuestal de \$70'000.000. (presupuesto en contratación) y todas las actividades necesarias para su ejecución en la Gerencia de Operaciones; Dr. William Ibáñez Pinedo, contando con la orientación de la Jefe de Tratamiento, Ing. Yolanda Arboleda, los Coordinadores de Mantenimiento Eléctrico y Mantenimiento Mecánico ; Ing. Jairo Fabián Jaimes Rojas y el Ing. Jolman

Lozano Pico quien a su vez es el codirector del proyecto realizado, el Jefe de la Planta Bosconia ; ing. Isidro Ardila y Profesional Especializado en Proyectos de Automatización ; ing. Fabio Chávez. Y todas las demás funciones de los operarios de taller asignadas a la coordinación de mantenimiento mecánico.

Se realizaron visitas a la planta de tratamiento con el fin de determinar cual seria la ubicación los nuevos sistemas de bombeo, se definió como sitio de succión y anclaje de las bombas el espacio existente junto a la bomba de Llenado en CASA BOMBAS (figura 11), debido a que se requiere para todos los sistemas agua tratada y esto solo se logra a la salida del tanque de almacenamiento principal.

Figura 14. a) Casa bombas, b) Espacio disponible para instalación de los equipos de bombeo



a)



b)

También Se pudo definir que los equipos de coloración debían estar junto al cuarto donde se encuentran los depósitos del cloro gaseoso y que en ese mismo sitio debía estar el cuarto de control de las diferentes opciones de

funcionamiento de los sistemas para evitar tuberías de conducción de cloro puro demasiadas extensas. Se trazo la ruta para la tubería uno a la intemperie y otro subterráneo que involucraban diferentes inconvenientes en los costos y la estructura de la planta en cuyo caso se decidió realizarse por la parte que generaba menores traumatismos en el desarrollo de la planta (ver planos anexos).

3.3 DISEÑO HIDRÁULICO

Después de definir el trayecto y la ubicación de los equipos se realizo el levantamiento de planos de manera directa porque no se contaba con planos oficiales y los existentes no garantizaban su exactitud, para esto se trabajo en AUTOCAD Y EPANET2.ESP. (Ver plano bosconia exteriores ANEXO 1Y ANEXO 2), esto permitió establecer de una manera mas clara las cotas y dimensiones que necesitaban los equipos y el desarrollo del proyecto donde se encontraban limitaciones como redes ya existentes y obstáculos naturales. Definidas entonces tanto los requerimientos hidráulicos las presiones requeridas, caudales y las condiciones físicas y locativas se procedió al diseño hidráulico de cada sistema tema de este proyecto realizando lo cálculos teóricos.

3.3.1 Análisis de las condiciones para diseño y funcionamiento red de cloración y precloración. Consideraciones:

- Se realizo el análisis de perdidas para el punto de entrada a los equipos de cloración que se instalaron en el edificio principal de la Planta Bosconia

- Se requieren 3.5 L/S para esta actividad , además se requiere una presión disponible de 50-85 mca, para la entrada a los equipos de cloración
- Para él calculo de perdidas del sistema se tomo el criterio utilizado por DARCY-WEISBACH
- Para él calculo del coeficiente de fricción para Reynolds menores a 100000 se utilizó la ecuación de BLASIUS o LA ECUACIÓN general para D/E (1000-1*10⁶) Y Re (5000-1*10⁸)
- Se tomaron los límites de velocidad tanto en la succión como en la descarga recomendados en el RAS 2000 SISTEMAS DE ACUEDUCTO.
- Se anexaron los planos para el montaje y las graficas del punto de operación del sistema
- Se realizo el cálculo para una BOMBA HIDROMAC MULTIETAPAS modelo MGZ 40-4 con motor de 10 HP que satisface los requerimientos de caudal y presión exigidos por el fabricante del clorador.
- El sistema fue simulado en EPANET.2.ESP tomando las longitudes reales, mas las longitudes equivalentes generadas por los accesorios, lo que debe tenerse en cuenta para que el presupuesto de materiales no sea afectado por estas cantidades.

- Las condiciones de presión y caudal obedecen a los requerimientos establecidos por el fabricante de los inyectores del equipo de cloración V 2000 marca U.S.FILTER. (ver grafica de funcionamiento anexo).

CÁLCULOS. La primera parte del circuito de cloración se realizara en acero de 2" sch 40 , (ver plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 1-2 . Anexo1), la succión de la bomba es de 3", según las condiciones de velocidad permitidas en la norma RAS 2000.

$$Q = 3.5 \text{ L/S} = 0.0035 \text{ m}^3 / \text{s} \quad v = 0.000001007 \text{ m}^2/\text{s} \text{ para el agua a } 20^\circ\text{C}$$

$$D = 2'' = 0.05248 \text{ m} \quad A = 0.0021631 \text{ m}^2$$

$$V = 1.61804 \text{ m/s} \text{ valor aceptado por la norma.B.8.5.6.2 del RAS 2000}$$

$$Re = (V \times D) / v$$

$$Re = 1.61804 * 0.05248 / 1.007 * 10^{-6}$$

Re = 84324.71188 este valor es < 100000 para aplicar el criterio correspondiente para el calculo del coeficiente de fricción.

$$f = 0.316 / (Re^{0.25}) \text{ Ecuación de BLASIUS}$$

$$f = 0.01854 \text{ este valor}$$

Utilizando la formula general (Introducción a la Mecánica de Fluidos. Robert W. Fox. 8.37.b Pág. 390)

$$(D / \varepsilon) = 1140.86$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * (D / \varepsilon)} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0223 \text{ verificando con el diagrama de MODY } f = 0.022$$

Calculando las pérdidas para ese tramo de tubería

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5} \quad \text{Para una } l = 20\text{m}$$

$$h_f = 1.1138\text{m}$$

Ahora se realiza el cálculo para los otros tramos de tubería de la misma manera.

PARA LA TUBERÍA EN PVC DE 2", (ver plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 2-13. Anexo1), tenemos igual Re, V, A, D

Cambia el valor de $\varepsilon = 0.0015$

$$\varepsilon / D = 0.000015$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * (D / \varepsilon)} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$D / \varepsilon = 34986.66$$

$$f = 0.0184 \text{ verificando con el diagrama de MODY } f = 0.0185$$

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5} \quad \text{para } l = 178 \text{ m}$$

$$h_f = 8.335\text{m}$$

PARA TUBERÍA DE HG DE 2" (ver plano JUEGO DE VÁLVULAS CONEXIÓN AUTOMÁTICA. Anexo1), tenemos:

$$D = 0.05248 \text{ m} \quad A = 0.0021631 \text{ m}^2 \quad \varepsilon = 0.15$$

$$V = 1.61804 \text{ m/s} \quad Q = 0.0035 \text{ m}^3$$

$$Re = (V \times D) / \nu$$

$$Re = 84324.71$$

$$D / \varepsilon = 349.866$$

$f = 0.027$ según la fórmula general y verificando con el diagrama de MODY

$$f = 0.028$$

Con una longitud de tubería de 7.4 m

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5}$$

$h_f = 0.53 \text{ m}$ pérdida de presión en tubería de hierro galvanizado.

Perdidas en Accesorios; se tendrá en cuenta los diferentes diámetros de los accesorios a través de toda la extensión de la tubería instalada. (Ver plano 1 y plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 1-13. Anexo1),

$$h_{fa} = \frac{K * V^2}{2g} = \frac{KQ^2}{2g * A^2}$$

Se puede tener el cálculo de las pérdidas según la CRANE

Tabla 3. Coeficiente de pérdidas en accesorios tubería de cloración.

ELEMENTO	Cantidad	K
Válvula antirretorno	1	600 ft
Válvula de cierre vástago ascendente	1	8 ft
Codo de 90°	15	20ft
Tee con flujo 90°	1	60ft
Tee con flujo directo	7	20ft
Codo de 45°	6	16ft
Válvula de bola	1	3 ft
Válvula de globo	1	340ft
reducción	1	0.30

Con $f_t = 0.019$ para tubería de 2"

$\Sigma K = 29.693$ en accesorios de 2" con

$Q = 0.0035 \text{ m}^3/\text{s}$ $V = 1.61804 \text{ m/s}$

$A = 0.0021631 \text{ m}^2$

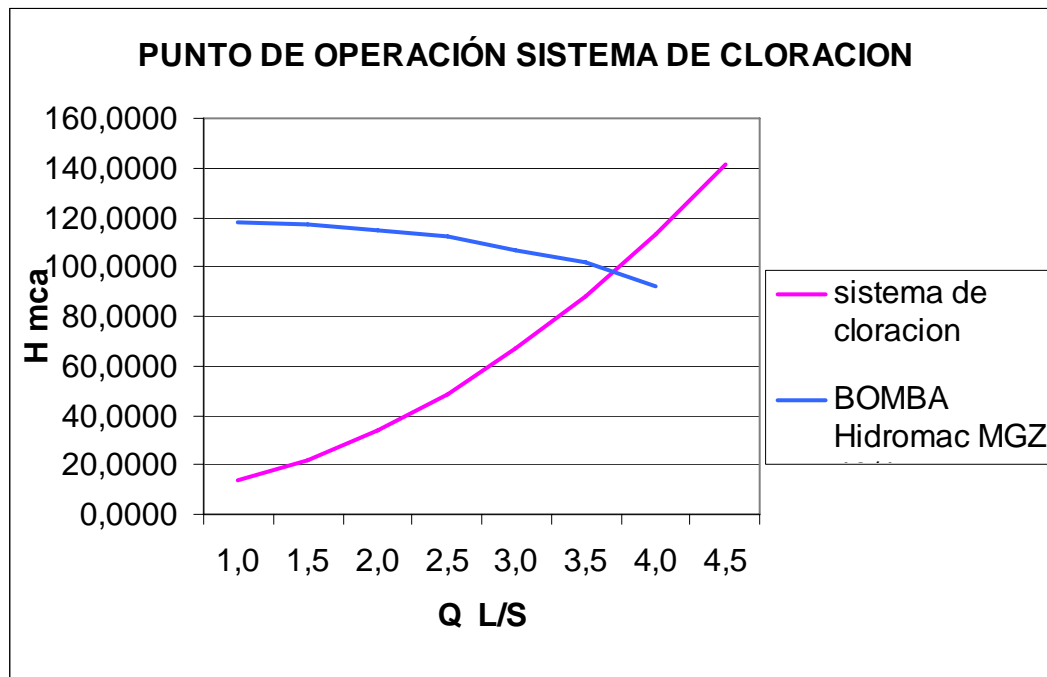
$h_{fa} = 3.966 \text{ m}$ para accesorios de 2"

Teniendo las pérdidas en función del caudal podemos determinar la curva de pérdidas del sistema.

Tabla 4. Evaluación de pérdidas en accesorios tubería de cloración.

SISTEMA DE CLORACION										
Q l/s	Que m3/s	V m/s	Hf tub ace	hf tub PVC	hf tub HG	Hf acc	h est	P dis	HDT	Hbomb
1,0	0,0010	0,4623	0,0922	0,6805	0,0428	0,3238	7	5,5106	13,6498	118
1,5	0,0015	0,6934	0,2074	1,5311	0,0963	0,7285	7	12,3989	21,9621	117
2,0	0,0020	0,9246	0,3687	2,7219	0,1713	1,2951	7	22,0424	33,5994	115
2,5	0,0025	1,1557	0,5760	4,2530	0,2676	2,0236	7	34,4413	48,5615	112
3,0	0,0030	1,3869	0,8295	6,1243	0,3853	2,9140	7	49,5955	66,8486	107
3,5	0,0035	1,6180	1,1290	8,3358	0,5245	3,9663	7	67,5050	88,4605	102
4,0	0,0040	1,8492	1,4746	10,8876	0,6851	5,1804	7	88,1698	113,3974	92
4,5	0,0045	2,0803	1,8663	13,7796	0,8670	6,5565	7	111,5899	141,6593	
5,0	0,0050	2,3115	2,3041	17,0118	1,0704	8,0944	7	137,7653	173,2460	
5,5	0,0055	2,5426	2,7879	20,5843	1,2952	9,7942	7	166,6960	208,1577	
6,0	0,0060	2,7738	3,3179	24,4971	1,5414	11,6559	7	198,3820	246,3942	

Figura 15. Punto de operación sistema de cloración



Calculo de la potencia en el punto de operación

Bajo condiciones ideales

$$P_H = \gamma * Q * H$$

En el punto de operación tenemos los siguientes parámetros

$$Q = 3.5 \text{ l/s} \quad H = 102 \text{ m}$$

$$P_H = 9810 \text{ N/m}^3 * 0.0035 \text{ m}^3 / \text{s} * 102 \text{ m}$$

$$P_H = 3.502 \text{ Kw.}$$

La Bomba HIDROMAC MGZ 40-4 tiene un motor de 7.46 Kw. Fue seleccionada ya que cumple con las condiciones de caudal y altura y es la más cercana que se encuentra en el mercado local a los cálculos realizados teniendo en cuenta la eficiencia que entrega el proveedor en el catalogo del fabricante.

3.3.2 Análisis de las condiciones para diseño y funcionamiento red de lavado

Consideraciones:

- Se realizo el análisis de perdidas para el punto más lejano que genera la mayor cantidad de perdidas en el sistema. (este punto puede ser visto en el plano general).

- Se requieren 18 L/S y presión de 35 mca para el lavado utilizando mangueras de 2 ½" forradas en caucho
- Para el cálculo de pérdidas del sistema se tomó el criterio utilizado por DARCY-WEISBACH
- Para el cálculo del coeficiente de fricción para Reynolds mayores a 100000 se utilizó la ecuación de KARMAN-PRANDTL o la ECUACIÓN general para D/E ($1000-1 \cdot 10^6$) Y Re ($5000-1 \cdot 10^8$)
- En el análisis de la presión disponible antes de la boquilla de salida se tomó el criterio utilizado en MANUAL DE HIDRÁULICA APLICADA A LA PROTECCIÓN DE INCENDIOS DE LA O.P.C.I
- El análisis de pérdidas de presión en mangueras fue tomado de REGLAMENTACIÓN DE PROYECTOS HIDRÁULICOS PARA CONSTRUCCIONES EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA DE LA SOCIEDAD SANTANDEREANA DE INGENIEROS
- Se tomaron los límites de velocidad tanto en la succión como en la descarga recomendados en el RAS 2000 SISTEMAS DE ACUEDUCTO.
- Se realizó el análisis para una BOMBA BARNES modelo 2520 HCE -15.
- Se anexaron los planos para el montaje y las gráficas del punto de operación del sistema

- El sistema fue simulado en EPANET.2.ESP tomando las longitudes reales, mas las longitudes equivalentes generadas por los accesorios, lo que debe tenerse en cuenta para que el presupuesto de materiales no sea afectado por estas cantidades.

CÁLCULOS

$$Q = 18 \text{ L/S} = 0.018 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{para un diámetro en la succión de 6''}$$

$$A = 0.01776714 \text{ m}^2$$

$$V = 1.018 \text{ m/s}$$

$$Q = 18 \text{ L/S} = 0.018 \text{ m}^3 / \text{s} \quad v = 0.000001007 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{para el agua a } 20^\circ\text{C}$$

$$D = 4'' = 0.09718 \text{ m}$$

$$A = 0.00741726 \text{ m}^2$$

$$V = 1.9481 \text{ m/s}$$

$$L_{T \text{ acero } 4''} = 17.7 \text{ m}$$

$$L_{T \text{ pvc } 4''} = 143 \text{ m}$$

$$L_{T \text{ acero } 3''} = 56.3\text{m}$$

Calculo para el tramo de tubería de acero de 4'' (ver plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 1-2 . Anexo1),

$$Re = (V \times D) / v$$

$$Re = 2.4267 \times 0.09718 / 1.007 \times 10^{-6}$$

Re = 234194.26 este valor es > 100000 para aplicar el criterio correspondiente para el calculo del coeficiente de fricción f.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 * \log (\text{Re} * \sqrt{f}) - 0.8 \quad \text{ecuación de KARMAN-PRANDTL}$$

Después de el proceso iterativo el valor de f = 0.0185

Utilizando la formula general

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * (D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Para } (D/\varepsilon) \text{ } 1000-1*10^6 \text{ y } \text{Re } 5000-1*10^8$$

$$\varepsilon = 4.6*10^{-5} \text{ m}$$

$$(D/\varepsilon) = 2112.60$$

f = 0.0185 y verificado con el diagrama de MODY $F = 0.018$

Perdidas en la tubería h_f

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5} \quad \text{Para una longitud de 17.7 m}$$

$$h_f = 1.006918 \text{ m}$$

PARA LA TUBERÍA EN PVC DE 4 "(ver plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 2-10 . Anexo1), tenemos igual Re, V, A ,D

Cambia el valor de $\varepsilon = 0.0015$

$$\varepsilon / D = 0.000015$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * (D / \varepsilon)} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$f=0.01522$ verificando con el diagrama de MODY $f= 0.00152$

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5} \quad \text{para } l = 143 \text{ m}$$

$$h_f = 7.1143 \text{ m}$$

PARA TUBERÍA DE ACERO DE 3" (ver plano extensión de tubería sistema de lavado Anexo1), tenemos:

$$D = 0.07366 \text{ m} \quad A = 4.2614 * 10^3 \text{ m}^2$$

$$V = 4.2239 \text{ m/s} \quad Q = 0.018 \text{ m}^3$$

$$Re = (V * D) / \nu$$

$$Re = 308973.64$$

$$D / \varepsilon = 1601.30$$

$f = 0.018974$ según la formula general y verificando con el diagrama de MODY $f = 0.0189$

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5} \quad \text{para } l = 56.3 \text{ m}$$

$$h_f = 13.078120 \text{ m}$$

Perdidas en Accesorios; se tendrá en cuenta los diferentes diámetros de los accesorios a través de toda la extensión de la tubería.

$$h_{fa} = \frac{K * V^2}{2g} = \frac{KQ^2}{2g * A^2}$$

Para una reducción de 4" x 2"

$$K = \frac{2.6 * \text{Sen}(\theta/2) * (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} \text{ con } \beta = d_1 / d_2 \text{ y } \theta = 29^\circ$$

$$K = 16$$

Se puede tener el cálculo de las pérdidas según la CRANE

Tabla 5. Coeficiente de pérdidas en accesorios tubería de lavado.

ELEMENTO	Cantidad	K
Válvula antirretorno	1	600 ft
Válvula de cierre vástago ascendente	2	8 ft
Codo de 90°	7	20ft
Tee con flujo 90°	2	60ft
Tee con flujo directo	3	20ft
Codo de 45°	4	16ft
Válvula en ángulo	1	150ft

Con ft = 0.017 para 4" y ft = 0.018 para 3"

$$\Sigma K = 31.164 \text{ para accesorios de 4" } Q = 0.018 \text{ m}^3 \text{ } V = 1.9481 \text{ m/s}$$

$$A = 0.00741726 \text{ m}^2$$

$$\Sigma K = 4.2273 \text{ para accesorios de 3" } Q = 0.018 \text{ m}^3 \text{ } V = 4.2239 \text{ m/s}$$

$$A = 4.2614 \cdot 10^3 \text{ m}^2$$

$$h_{fa} = 9.36 \text{ m} \quad \text{para accesorios de 4''}$$

$$h_{fa} = 4.2273 \text{ m} \quad \text{para accesorios de 3''}$$

Formula para el cálculo de perdidas en las mangueras

Tomando manguera de caucho de 2 ½''

$$FL = 2 * Q^2 * L$$

FL (PSI)
Q (cientos de gpm)
L (cientos de pies)

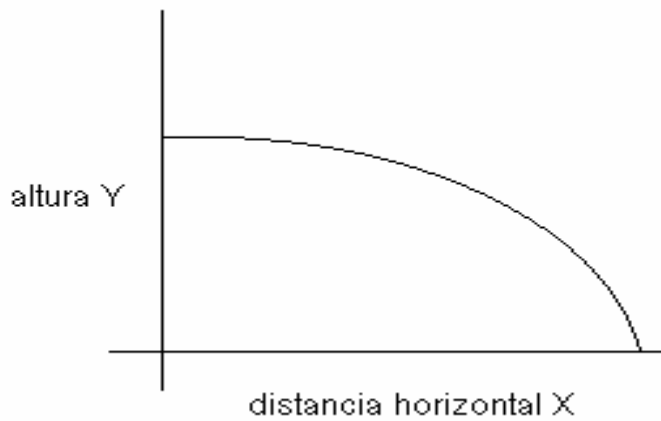
$$Q = 285.33 \text{ gpm} = 2.85 \text{ cientos de gpm}$$

$$L = 6 \text{ m} = 19.6850 \text{ pies} = 0.196850 \text{ cientos de pies}$$

$$FL = 2 * (2.85)^2 * 0.196850$$

$$FL = 3.1978 \text{ Psi} = 2.2363 \text{ m}$$

Calculo de la presión residual. Análisis de velocidad requerida: para que podamos tener un chorro que alcance una distancia de 9 metros de longitud en la coordenada X y contando con una altura de la boquilla de salida de 1 metro en la coordenada Y la velocidad será calculada con un movimiento parabólico. Estas condiciones se ajustan a la realidad del proceso de lavado consultadas a los operarios.



En el eje Y

$$Y = Y_0 + V_0 * t + \frac{g * t^2}{2} \quad \text{Con } Y_0 \text{ y } V_0 \text{ igual a cero}$$

$$Y = \frac{g * t^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 * y}{g}}$$

$$t = 0.4517 \text{ s}$$

en el eje X tenemos un movimiento rectilíneo uniforme

$$V = \frac{X}{t} = \frac{9m}{0.4517s} \quad V = 19.92 \text{ m/s esta seria la velocidad necesaria a la salida}$$

de la boquilla

Ahora se realiza un cálculo de conservación de caudal tomando la entrada a la boquilla como 1 y la salida de la misma como 2

$$V_1 * A_1 = V_2 * A_2$$

$$V_1 * d_1^2 = V_2 * d_2^2 \quad \text{como la boquilla es de } 2 \frac{1}{2}'' \text{ la velocidad es de } 5.1851 \text{ m/s}$$

$$5.1851 \text{ m/s} * (0.06268\text{m})^2 = 19.29 \text{ m/s} * d_2^2$$

$d_2 = 0.0319 \text{ m} = 3.1976 \text{ cm} = 1 \frac{1}{4}''$ este es el valor del diámetro a la salida de la boquilla.

Ahora aplicando este valor a la formula de presión residual en boquillas tenemos:

$$Q = 66 * D^2 * Cd * \sqrt{P} \quad (\text{Formula del manual de la OPCI})$$

Despejando P

$$P = \left(\frac{Q}{66 * D^2 * Cd} \right)^2 = \left(\frac{1080 \text{ lpm}}{66 * (3.1976)^2 * 0.98} \right)^2 = 2.11 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 30 \text{ psi} = 21.1 \text{ mca}$$

$$= 2.11 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$= 30 \text{ psi}$$

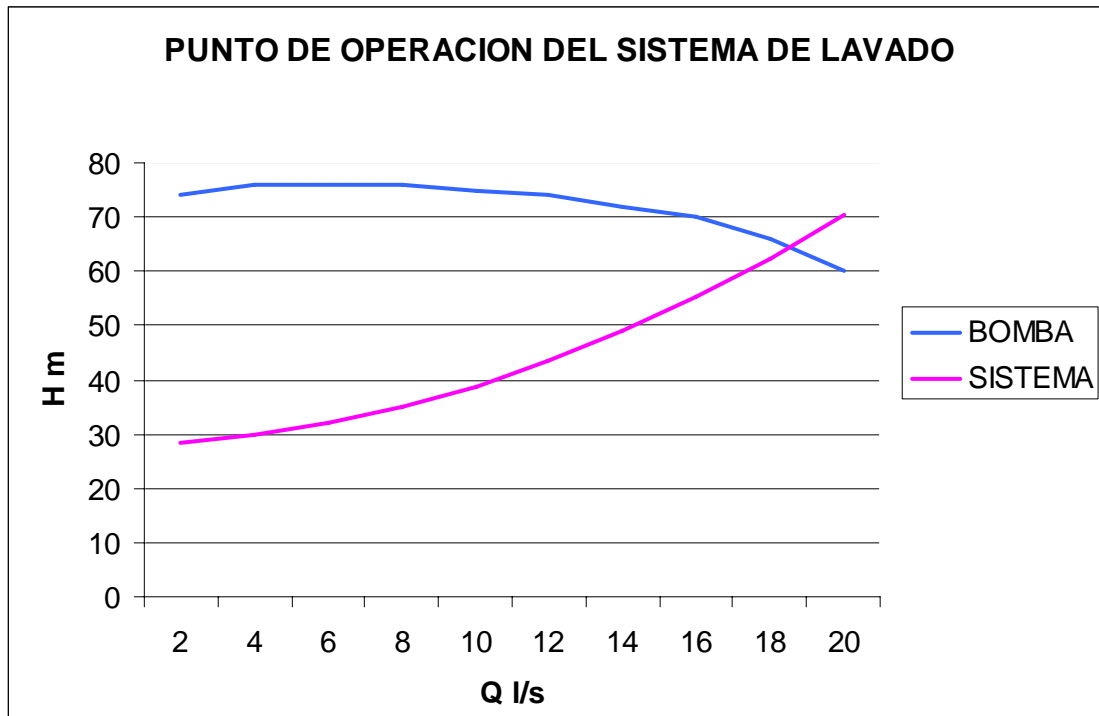
$$= 21.1 \text{ mca}$$

Teniendo las perdidas en función del caudal podemos determinar la curva de perdidas del sistema

Tabla 6. Evaluación de pérdidas en accesorios tubería de lavado.

PUNTO DE OPERACIÓN DEL SIST DE LAVADO										
Q L/S	V m/s 4"	V m/s 3"	hf T4" ace	hf T4" PVC	hf T 3" ace	hf acceso 4"	hf acceso 3"	H est	HDT	H BOMB
2	0,269641	0,469329	0,012431	0,082626	0,161458	0,115603	0,0521905	28,11	28,5	74
4	0,539283	0,938659	0,049724	0,330503	0,645833	0,462413	0,208762	28,11	29,8	76
6	0,808924	1,407988	0,11188	0,743631	1,453125	1,040429	0,4697146	28,11	31,9	76
8	1,078565	1,877317	0,198897	1,32201	2,583332	1,849652	0,8350481	28,11	34,9	76
10	1,348207	2,346647	0,310777	2,065641	4,036457	2,890082	1,3047627	28,11	38,7	75
12	1,617848	2,815976	0,447519	2,974524	5,812498	4,161718	1,8788583	28,11	43,4	74
14	1,887489	3,285305	0,609123	4,048657	7,911456	5,66456	2,5573349	28,11	48,9	72
16	2,157131	3,754635	0,79559	5,288042	10,33333	7,398609	3,3401925	28,11	55,3	70
18	2,426772	4,223964	1,006918	6,692678	13,07812	9,363865	4,2274312	28,11	62,5	66
20	2,696414	4,693293	1,243109	8,262565	16,14583	11,56033	5,2190508	28,11	70,5	60

Figura 16. Punto de operación sistema de lavado



Calculo de la potencia en el punto de operación

Bajo condiciones ideales

$$P_H = \gamma * Q * H$$

En el punto de operación tenemos los siguientes parámetros

$$Q = 18 \text{ l/s} \quad H = 66 \text{ m}$$

$$P_H = 9810 \text{ N/m}^3 * 0.018 \text{ m}^3 / \text{s} * 66 \text{ m}$$

$$P_H = 11.654 \text{ Kw.}$$

La Bomba Barnes tiene un motor de 13.4 Kw. Fue seleccionada ya que cumple con las condiciones de caudal y altura y es la mas cercana que se encuentra en el mercado local a los cálculos realizados teniendo en cuenta la eficiencia que tiene la bomba según el catalogo del fabricante.

3.3.3 Análisis de las condiciones para diseño y funcionamiento red de suministro

Consideraciones:

- Se realizo el análisis de perdidas para el punto de entrada a los tanques de almacenamiento de sulfato liquido (este punto puede ser visto en el plano general)

- Se requieren 3 L/S para esta actividad utilizando mangueras de y se requiere una presión disponible de 15 mca.
- Para el cálculo de pérdidas del sistema se tomó el criterio utilizado por DARCY-WEISBACH
- Para el cálculo del coeficiente de Reynolds mayores a 100000 se utilizó la ecuación de KARMAN-PRANDTL O LA ECUACIÓN general para D/E ($1000-1 \cdot 10^6$) Y Re ($5000-1 \cdot 10^8$)
- Se tomaron los límites de velocidad tanto en la succión como en la descarga recomendados en el RAS 2000 SISTEMAS DE ACUEDUCTO.
- Se anexaron los planos para el montaje y las graficas del punto de operación del sistema
- Se realizó el análisis para una BOMBA BARNES modelo 1515-HHE 33.

El sistema fue simulado en EPANET.2.ESP tomando las longitudes reales, mas las longitudes equivalentes generadas por los accesorios, lo que debe tenerse en cuenta para que el presupuesto de materiales no sea afectado por estas cantidades.

CÁLCULOS. La primera parte del circuito de lavado se realizara en acero de 2" sch 40. (ver plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 1-2 . Anexo1), debido a que la succión de la bomba es de 2 1/2" , según las condiciones de velocidad permitida en la norma RAS 2000.

$$Q = 3 \text{ L/S} = 0.003 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\nu = 0.000001007 \text{ m}^2/\text{s} \text{ para el agua a } 20^\circ\text{C}$$

$$D = 2'' = 0.05248 \text{ m}$$

$$A = 0.0021631 \text{ m}^2$$

$$V = 1.3868 \text{ m/s}$$

$$Re = (V \times D) / \nu$$

$$Re = 1.3868 \times 0.05248 / 1.007 \times 10^{-6}$$

$Re = 72273.35$ este valor es < 100000 para aplicar el criterio correspondiente para el calculo del coeficiente de fricción.

$$f = 0.316 / (Re^{0.25})$$

$$f = 0.01927$$

Utilizando la formula general

$$(D / \varepsilon) = 1140.86$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * (D / \varepsilon)} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0226 \text{ verificando con el diagrama de MODY } f = 0.022$$

Calculando las pérdidas para ese tramo de tubería

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.0226 * f * l * Q^2}{D^5} \text{ Para una } l = 4\text{m}$$

$$h_f = 0.1636 \text{ m}$$

Ahora se realiza el cálculo para los distintos tramos de tubería

TUBERÍA DE ACERO DE 4" (ver plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 1-2 . Anexo1),

$$Q = 3 \text{ L/S} = 0.003 \text{ m}^3 / \text{s} \quad v = 0.000001007 \text{ m}^2/\text{s} \text{ para el agua a } 20^\circ\text{C}$$

$$D = 4 \text{ ''} = 0.09718 \text{ m} \quad A = 0.00741726 \text{ m}^2$$

$$V = 0.4044 \text{ m/s}$$

$$L_{T \text{ acero } 4''} = 13.7 \text{ m}$$

$$L_{T \text{ pvc } 4''} = 143 \text{ m}$$

$$L_{T \text{ pvc } 2''} = 40.5\text{m}$$

Cálculo para el tramo de tubería de acero de 4" que es compartido con la tubería de lavado, esta opción se maneja para disminuir los costos del proyecto debido a la frecuencia de uso de la red de lavado.

$$Re = (V \times D) / v$$

$$Re = 0.4044 \times 0.09718 / 1.007 \times 10^{-6}$$

$Re = 39032.39$ este valor es < 100000 para aplicar el criterio correspondiente para el cálculo del coeficiente de fricción f .

$$f = 0.316 / (Re^{0.25})$$

Ecuación de BLASIUS flujo turbulento tuberías rugosas*

$$f = 0.02248$$

Utilizando la fórmula general

* Mecánica de fluidos de potter

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * (D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2} \text{ Para } (D/\varepsilon) \text{ 1000-1*10}^6 \text{ y Re 5000-1*10}^8$$

$$\varepsilon = 4.6 * 10^{-5} \text{ m}$$

$$(D/\varepsilon) = 1943.6$$

$f = 0.0236$ y verificado con el diagrama de MODY $f = 0.0235$

Perdidas en la tubería h_f

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5} \text{ Para una } l = 17.7 \text{ m}$$

$$h_f = 0.03568 \text{ m}$$

PARA LA TUBERÍA EN PVC DE 4" (ver plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 2-10 . Anexo1), tenemos igual Re, V, A ,D
Cambia el valor de $\varepsilon = 0.0015$

$$\varepsilon / D = 0.000015$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * (D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$D/\varepsilon = 64666.66$$

$f = 0.022$ verificando con el diagrama de MODY $f = 0.022$

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5} \text{ para } l = 143 \text{ m}$$

$$h_f = 0.2687 \text{ m}$$

PARA TUBERÍA DE PVC DE 2" (ver plano extensión de tubería sistema diseñado tramo 10-13 . Anexo1), tenemos:

$$D = 0.04922 \text{ m} \quad A = 1.902712 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 1.5766 \text{ m/s} \quad Q = 0.003 \text{ m}^3$$

$$Re = (V \times D) / \nu$$

$$Re = 77065.84$$

$$D / \varepsilon = 32813$$

$f = 0.019$ según la formula general y verificando con el diagrama de MODY $f = 0.019$

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5} \quad \text{para } l = 26 \text{ m}$$

$$h_f = 1.9721 \text{ m}$$

PARA TUBERÍA DE HG DE 2" (ver juego de válvulas conexión automática. Anexo1), tenemos:

$$D = 0.04922 \text{ m} \quad A = 1.902712 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 1.5766 \text{ m/s} \quad Q = 0.003 \text{ m}^3$$

$$Re = (V \times D) / \nu$$

$$Re = 77065.84$$

$$D / \varepsilon = 328.13$$

$f = 0.028$ según la formula general y verificando con el diagrama de MODY

$$f = 0.028$$

con una longitud de tubería de 7.4 m

$$h_f = \frac{f * l * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.08226 * f * l * Q^2}{D^5}$$

$h_f = 0.53 \text{ m}$ pérdida de presión en tubería de hierro galvanizado.

Perdidas en Accesorios; se tendrá en cuenta los diferentes diámetros de los accesorios

$$h_{fa} = \frac{K * V^2}{2g} = \frac{KQ^2}{2g * A^2}$$

Para una reducción de 4" x 2"

$$K = \frac{2.6 * \text{Sen}(\theta/2) * (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} \text{ Con } \beta = d_1 / d_2 \text{ y } \theta = 29^\circ$$

$K = 16$

Se puede tener el cálculo de las perdidas según la CRANE

Tabla 7. Coeficiente de pérdidas en accesorios tubería de suministro.

ELEMENTO	Cantidad	K
Válvula antirretorno	1	600 ft
Válvula de cierre vástago ascendente	1	8 ft
Codo de 90°	15	20ft
Tee con flujo 90°	1	60ft
Tee con flujo directo	7	20ft
Codo de 45°	6	16ft
Válvula de bola	1	3 ft
Válvula de globo	1	340ft

Con $f_t = 0.017$ para 4" y $f_t = 0.019$ para 2"

$\Sigma K = 31.844$ para accesorios de 4" $Q = 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ $V = 0.4044 \text{ m/s}$ $A = 0.00741726 \text{ m}^2$

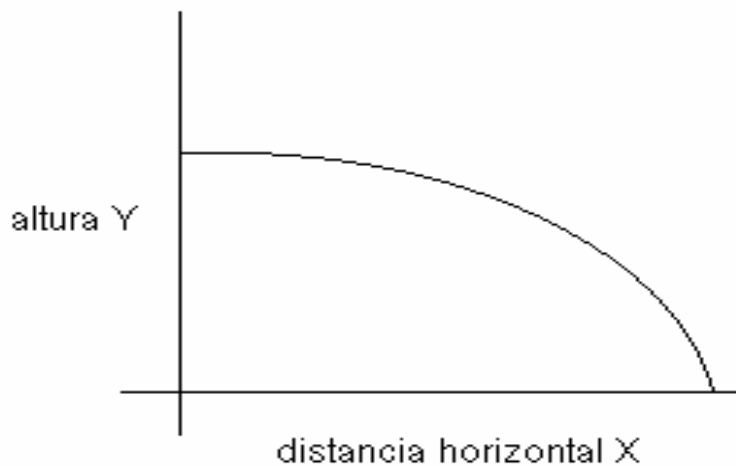
$\Sigma K = 29.065$ para accesorios de 2" $Q = 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ $V = 1.5766 \text{ m/s}$ $A = 1.902712 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$h_{fa} = 0.2657 \text{ m}$ para accesorios de 4"

$h_{fa} = 3.686 \text{ m}$ para accesorios de 2"

Calculo de la presión residual. (Este parámetro solo es necesario si el sistema se conecta a la red contra incendios de el edificio principal de la planta)

- Análisis de velocidad requerida: para que podamos tener un chorro que alcance una distancia de 9 metros de longitud en la coordenada X y contando con una altura de la boquilla de salida de 1 metro en la coordenada Y la velocidad será calculada con un movimiento parabólico.



en el eje Y

$$Y = Y_0 + V_0 * t + \frac{g * t^2}{2} \quad \text{Con } Y_0 \text{ y } V_0 \text{ igual a cero}$$

$$Y = \frac{g * t^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 * y}{g}}$$

$$t = 0.4517 \text{ s}$$

En el eje X tenemos un movimiento rectilíneo uniforme

$$V = \frac{X}{t} = \frac{9m}{0.4517s}$$

$V = 19.92 \text{ m/s}$ esta sería la velocidad necesaria a la salida de la boquilla

Se realiza un cálculo de conservación de caudal tomando la entrada a la boquilla como 1 y la salida de la misma como 2

$$V_1 * A_1 = V_2 * A_2$$

$V_1 * d_1^2 = V_2 * d_2^2$ como la boquilla es de $2 \frac{1}{2}''$ la velocidad es de 5.1851 m/s

$$5.1851 \text{ m/s} * (0.06268\text{m})^2 = 19.29 \text{ m/s} * d_2^2$$

$d_2 = 0.0015\text{m} = 1.5 \text{ cm} \cong 9/16''$ este es el valor del diámetro a la salida de la boquilla.

Ahora aplicando este valor a la formula de presión residual en boquillas tenemos:

$$Q = 66 * D^2 * Cd * \sqrt{P}$$

Despejando P

$$P = \left(\frac{Q}{66 * D^2 * Cd} \right)^2 = \left(\frac{180lpm}{66 * (1.5)^2 * 0.98} \right)^2$$

$$= 1.5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$= 21.71Psi$$

$$= 15mca$$

Teniendo las perdidas en función del caudal podemos determinar la curva de perdidas del sistema.

Calculo de la potencia en el punto de operación

Bajo condiciones ideales

$$P_H = \gamma * Q * H$$

En el punto de operación tenemos los siguientes parámetros

$$Q = 3 \text{ l/s} \quad H = 46 \text{ m}$$

$$P_H = 9810 \text{ N/m}^3 * 0.003 \text{ m}^3 / \text{s} * 46 \text{ m}$$

$$P_H = 1.353 \text{ Kw.}$$

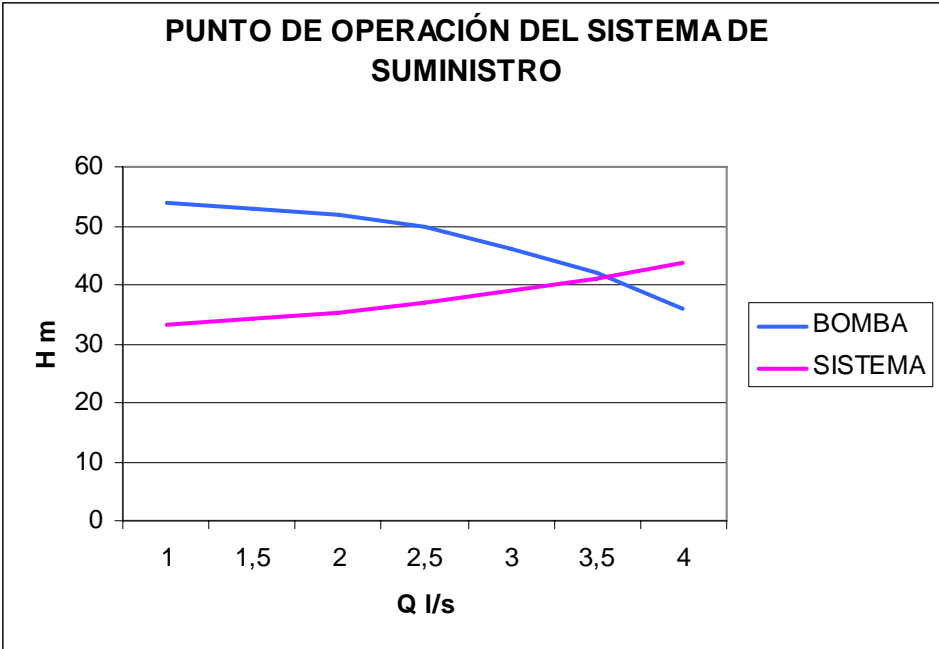
La Bomba Barnes tiene un motor de 2.238Kw. Fue seleccionada ya que cumple con las condiciones de caudal y altura y es la mas cercana que se encuentra en el mercado local a los cálculos realizados de acuerdo con la eficiencia de la bomba según el catalogo del fabricante.

Utilizando las perdidas en función del caudal obtenemos el siguiente resultado:

Tabla 8. Evaluación de pérdidas en accesorios tubería de suministro.

SISTEMA DE SUMINISTRO												
Q l/s	V m/s 4"	V m/s 2"	Hf 2" PVC	Hf 2" PVC	Hf 2" HG	Hf 4" AC	Hf 4" PVC	H acc 4"	Hacc 2"	Hest	HDT	HB
1	0,135	0,526	0,018	0,159	0,043	0,004	0,03	0,03	0,41	32,6	33,29	54
1,5	0,202	0,788	0,041	0,358	0,096	0,009	0,067	0,066	0,922	32,6	34,16	53
2	0,27	1,051	0,073	0,636	0,171	0,016	0,119	0,118	1,638	32,6	35,37	52
2,5	0,337	1,314	0,114	0,994	0,268	0,025	0,187	0,185	2,56	32,6	36,93	50
3	0,405	1,577	0,164	1,431	0,385	0,036	0,269	0,266	3,686	32,6	38,84	46
3,5	0,472	1,839	0,223	1,948	0,524	0,049	0,366	0,362	5,018	32,6	41,09	42
4	0,539	2,102	0,291	2,544	0,685	0,063	0,478	0,473	6,554	32,6	43,69	36

Figura 17. Punto de operación sistema de suministro



4. PROCESO DE INSTALACION

Desarrollados los diseños que cumplen con los requerimientos de los establecidos en los sistemas, se realizaron los procedimientos de compra de equipos y contratación para los montajes de las diferentes etapas las cuales se dividieron de la siguiente forma.

ETAPA 1: instalación de las bombas, tubería de succión e impulsión en acero junto con los accesorios que garantizan su correcto funcionamiento y operación en casa bombas.

ETAPA 2: instalación de la red de tubería en PVC de los tres sistemas diseñados, con las cajas en mampostería para derivación de la red de lavado que incluyeron tapas metálicas.

ETAPA 3: instalación de manifold de accionamiento, de los cloradores y los elementos que permiten realizar las conexiones necesarias para la red de apoyo.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE INSTALACIÓN QUE SE REALIZARON EN CADA ETAPA

Condiciones de instalación de la tubería de succión:

- Instalar reducciones excéntricas para evitar la cavitación.
- Instalar válvula de compuerta elástica de vástago ascendente.
- Instalar los sistemas de unión tipo bridado para facilitar el mantenimiento.

Condiciones de instalación de la tubería de descarga. En la tubería de descarga después de la salida de las bombas se instalaran en su orden

- Reducción Concéntrica
- Junta de Expansión
- Válvula Retención
- Válvula de Compuerta

En la instalación de las bombas se verifica su asentamiento a nivel lo mismo que cada uno de los accesorios.

El anclaje de las bombas tiene 4 pernos de 15 cm de profundidad con epóxico RE-500HHI cada una.

Es importante aclarar que en todos los procesos de instalación el amb. realizo la interventoría por lo tanto es el encargado de que todos estos sistemas sean recibidos a satisfacción, esto exige en el proceso de contratación pólizas de cumplimiento, calidad en los servicios, estabilidad en la obra, responsabilidad civil extra contractual, pagos de seguridad social y riesgo profesionales entre otras con el objetivo de velar siempre por el beneficio de la empresa.

Se realizo una visita técnica con cada contratista para explicar las condiciones del proyecto y las especificaciones técnicas que requerían en la instalación, se entregaron los planos en AUTOCAD que especificaban cada montaje (ver anexo 1),

El montaje de los equipos comprados según los diseños que se realizaron, debía tener las condiciones óptimas que generaran el menor traumatismo posible a las actividades que se desarrollaban en la planta de forma continua. Sin embargo para cumplir con estos parámetros se tuvo que coordinar las actividades de casa bombas en cuanto al manejo de la seguridad en las instalaciones donde se encuentran las bombas principales y el tratamiento de la planta para evitar que por algún trabajo de la obra se generaran no-conformidades en los procedimientos de tratamiento o impulsión normales.

Procedimientos realizados:

1.) Elección del trazado: se selecciono el trazado de tal forma que no se convirtiera en un obstáculo par los demás equipos o actividades de la planta, este trazado tiene tramos exteriores (a la vista) o superficial y tramos en excavación que permitió disminuir el costo de los materiales tubería y accesorios (ver figura 19). (La interventoria debe estar verificando las medidas de la excavación con el objetivo de poder determinar las condiciones de pago dadas las condiciones del terreno (conglomerado o poco).

Figura 18. Trazado de la tubería.



Figura 19. Excavación para la tubería



En el trazado de la tubería para el lavado de filtros se debía permitir que los tramos o circuitos se pudieran aislar para realizar alguna reparación o mantenimiento. Esto se logro dejando tres cajas de derivación en la tubería de 4" con reducción a 3" mediante accionamiento de válvulas de compuerta elástica de vástago ascendente y una caja de inspección para la tubería de 2" que se dirige al cuarto de cloración. Todas las cajas de derivación tienen tapa metálica para fácil acceso. (figura 20)

Figura 20. Cajas de inspección y derivación



2.) Elección de la tubería: el diámetro de la tubería fue seleccionado de acuerdo a las condiciones de velocidad establecidas en las normas de el RAS 2000, pero gracias al trazado escogido se tenía la posibilidad de seleccionar los materiales, que en este caso fue el siguiente:

a) Para tubería exterior que quedaría instalada en casa bombas es acero al carbono sch 40 sin costura con la cual la empresa contaba en el almacén y por normas de seguridad de casa bombas esta tubería fue sometida a un sand-blasting y a pintura primer y esmalte catalizador para el acabado,(figura 16) para evitar su deterioro.

Los trazados de cloración y precloración tienen tubería independiente de 2" y están paralelas a lo largo de toda su extensión entre si y en forma similar con la tubería de lavado de 4". (ver planos anexos).

Figura 21. Tubería en acero realizado el sand-blasting y pintura primer



b) Tubería en PVC RD21 para el tramo que estaría en excavación ya que era el más económico que garantizaba soportar las presiones de trabajo. Esta tubería tenía la necesidad de instalar atraques para dar una mayor estabilidad sobre todo en el tramo inicial dadas las condiciones de el terreno, también los accesorios instalados tienen atraque para evitar que el golpe generado por el agua los levante de su posición. En un tramo especial sobre la vía de descargue se hizo un carcomo en concreto de 3000psi con relleno en arena para evitar sobrecargas en la tubería debido a que por esa vía transitan vehículos de 40 TN.

Se instalaron las tres tuberías de 2", 2" y 4", la tubería de 4" llega hasta la caja de inspección en donde se reduce a 2 (ver plano extensión de tubería sistemas diseñados punto 10) sistema de suministro y dirigirse al edificio de tratamiento principal en forma paralela esto determino el ancho de la zanja y se verifico la calidad de los materiales instalados en campo.

Figura 22. Instalación de tubería de PVC y atraques



C) tubería de HG para el tramo llamado manifold de control, en esta parte se analizo la posibilidad de utilizar tubería de PVC RD21 pero se debía dar estabilidad y soporte para las válvulas de control que tenían un peso considerable. (Por la cantidad, 12 en total).

3.) Conexiones y accionamiento de válvulas de control: Dada la condición de continuidad en el servicio el sistema diseñado debía garantizar no solo funcionamiento adecuado sino alternativas de respaldo que en determinado momento evitaran que la planta se detenga. Aunque los sistemas de cloración, precloracion y suministro que llegan al cuarto de principal están independientes se analizo la posibilidad de un juego de válvulas que permitiera interconectar los sistemas de una manera especial evitando el desabastecimiento por paradas no programadas de alguna actividad, este se llamo manifold de accionamiento al cual no solo se le instalaron válvulas manuales sino que se suministraron válvulas de accionamiento eléctrico para que se lograra una automatización mediante control por relees que de acuerdo a la selección abren o cierran el paso por las válvulas (ver recomendaciones de funcionamiento).

Este sistema estará protegido en un armario metálico que evitara que personas ajenas a la sección manipulen las válvulas inadecuadamente.

En este armario quedaran ilustradas las posibles conexiones que tiene el sistema para un fácil manejo de las necesidades de la planta sobre todo si se esta trabajando en el modo manual.

Estas ilustraciones también sirven al operario para verificar el tablero de control.

Figura 23. Válvulas de control



4.) Instalación de tubería de succión, e impulsión de acero: Para el montaje de las bombas se diseño una placa en concreto de 3000 psi con hierro de refuerzo que las soportará a todas, pero que no impidiera el flujo de agua hacia los desagües, además se solicitaron cinco soportes para cada uno de las bombas en lamina acero de 3/8" (ver plan de concreto por instalación de bombas anexo 1).

Figura 24. Bases para bombas de los sistemas diseñados



En el montaje era muy importante contar con soldadores con calificación API que realizaran un trabajo de excelente calidad, los elementos instalados tenían que ser revisados por la interventoría para comprobar las pruebas de calidad a las que fue sometido durante su elaboración de lo contrario no podían ser instalados, al igual que cualquier variación en el diseño debía ser consultada. La soldadura utilizada fue 6010 de penetración y 7018 de presentación.

Se instalaron 10 válvulas de cierre de vástago ascendente que facilita para el operario identificar su estado de apertura o cierre, una antes y después de las bombas para facilitar su mantenimiento. Siguiendo las recomendaciones de instalación de las estaciones de bombeo mencionadas en la sección 4.1.

Para garantizar el desmontaje o cambios en la tubería y como mecanismo de unión, se instalaron bridas de acero tipo SLIP-ON de 150 lb. que soportan la presión de trabajo, estas juntas se soldaron a la tubería y se instaló empaquetadura Flexitalica que evita fugas en las uniones. La tubería de succión es en acero Sch 40 de 6" de diámetro (ver plano instalación de bombas) a partir de la cual se tomaron la succión de cada bomba determinada 50 dimensión en el capítulo 3.

Se instalaron 5 juntas de expansión con extremo bridado que permiten aislar la vibración de las bombas y facilita el desmonte de los otros elementos. Se utilizaron reducciones excéntricas para evitar la cavitación debido al aire que entra a la tubería a la entrada de las bombas.

La tubería de descarga debía seguir los parámetros establecidos en las condiciones de diseño y ajustarse al plano de diseño (ver plano 1) en las

dimensiones establecidas en la etapa de diseño hasta la caja de conexión con la tubería PVC.

Figura 25. Proceso de corte, soldadura y montaje de la succión de las bombas



Figura 26. Proceso de instalación de la tubería de descarga de las bombas



Figura 27. Instalación final de la tubería de descarga de las bombas



Se realizo un seguimiento a todas las actividades del montaje. Por ultimo se recibió el informe del contratista y se realizaron las pruebas de presión

establecidas en el amb para recibir la instalación de la tubería, esta prueba consiste en llenar la tubería con agua, desairear la tubería por la parte mas alta de la instalación, cerrar, subir la presión hasta 60 psi y realizar una verificación de fugas si se presenta movimiento en el manómetro, de lo contrario aumentar la presión hasta 1.5 veces la presión de trabajo, en este caso se elevo hasta 160 psi y luego se mantiene durante 4 horas en presencia del supervisor verificando que en el manómetro no disminuya la medida indicada. Después de la prueba se da por recibida la obra y se realizan los trámites administrativos para el pago final verificando que las pólizas estén vigentes.

Figura 28.Prueba de presión a la tubería



Este procedimiento se realizo tanto en la fase de instalación de tubería de PVC como en la fase de instalación de la tubería de acero de impulsión. Después de desarrollada queda dispuesto el sistema para suministrar agua hasta la entrada de los equipos de cloración.

CONCLUSIONES

- Los sistemas diseñados cumplen con las especificaciones solicitadas que garantizan un adecuado funcionamiento y cuentan con los accesorios que facilitan su mantenimiento, permitiendo una disponibilidad continua para el tratamiento de la planta.
- La red de tuberías que sirven para la distribución del agua bombeada se instalo de forma que no generara traumatismos en el normal desarrollo de la planta y el bombeo, bajo las normas técnicas que exige el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP. Específicamente la red de Lavado tiene un mayor cubrimiento de la planta y se elimino de sitios como pasillos y corredores.
- El sistema de lavado cuenta con las características adecuadas para que el operario realice una labor de forma segura y cumpla con la programación y tiempos establecidos en la empresa para tal fin.
- El análisis de los sistemas diseñados en programas CAD y CAE permite no solo la verificación de los cálculos teóricos si no que facilita realizar una variación de los diferentes factores que influyen en el diseño de una manera rápida lo que tiene incidencia en la selección de la mejor alternativa.
- El sistema de suministro de agua al edificio de químicos permite que el tratamiento de agua cruda se realice de manera continua tanto en la dosificación de CAL como en la dosificación del Sulfato de Aluminio.

- Para la ejecución del mantenimiento el sistema fue diseñado de forma practica que permita reemplazar tramos cortos de tubería en caso de daños y que la facilite su instalación, gracias a los sistemas de unión y la distribución de estos en puntos estratégicos.
- El proyecto desarrollado ejecuta las actividades de cloración, lavado y suministro de manera continua porque cuenta con un sistema de interconexión en el juego de válvulas que permitirá inmediatamente se presente una falla en el sistema principal conectarse al sistema de respaldo.
- Este proyecto representa para el amb.S.A ESP. la actualización de equipos, el aumento de la confiabilidad en sus sistemas y facilidad en la operación y mantenimiento preventivo por parte del personal, así como una inversión de \$100'000.000 que lo convierte en el más importante de la planta en el 2006.
- La ejecución y montaje de las obras ratifica el compromiso del amb.S.A ESP. con sus políticas de calidad y servicio que lo han llevado no solo a la obtención de certificados de calidad como la ISO 9001; 2000, ICONTEC 9001;2000 sino que lo ponen a la vanguardia de las empresas de servicios públicos domiciliarios.

RECOMENDACIONES DE FUNCIONAMIENTO

Para poner en funcionamiento los sistemas se deben cumplir los siguientes parámetros:

Las condiciones son similares para todos los sistemas diseñados

- Verifique las conexiones eléctricas de potencia en el tablero principal en Casa Bombas, los circuitos deben indicar la luz de encendido (verde), o apagado (rojo).
- Verifique las conexiones eléctricas del tablero de control ubicado en el cuarto de cloración. Debe escoger el tipo de accionamiento, manual o Automático.
- Verifique que las válvulas de accionamiento manual estén totalmente abiertas tanto la succión (la apertura de las válvulas de compuerta elástica permitirá el suministro de agua hasta la entrada de la bomba gracias a la succión positiva del sistema esto se verifica con el aumento de presión en el manómetro ubicado en la tubería de succión de la bomba), en la descarga de las bombas y en el tablero de control.
- Selección Automática: En esta selección el sistema permite realizar los cambios automáticamente del bombeo diseñado a la red de apoyo cuando se presente algún daño en la red de bombeo o si se apaga la bomba, esta condición puede verse en el tablero mediante luces indicadoras.

- Selección Manual: En esta selección el operario puede escoger para cada sistema, cloración, precloración o suministro el tipo de funcionamiento, con el bombeo diseñado o con la red de apoyo para lograr esto se debe cambiar a modo manual el selector del tablero de control, luego cada sistema tiene pulsadores con luz indicadora para el modo de selección que el operario determine.
- Selección de lavado: el operario debe verificar que las válvulas instaladas en las cajas de derivación estén totalmente abiertas. Luego dirigirse al tablero de control, al escoger esta opción en modo automático pondrá el sistema de suministro en conexión con la red de apoyo, la bomba para el lavado se encenderá y las bombas de suministro se apagaran en forma automática. Si esta operación se realiza en modo manual el sistema no dejara encender la bomba de lavado hasta cuando se haya conectado el suministro a la red de apoyo.
- El estado de funcionamiento de cada sistema estará indicado en el tablero de control con luces, encendido (verde) y apagado (rojo). Cualquier cambio en los pulsadores generara cambio en el accionamiento de las válvulas de control por lo tanto se recomienda analizar las alternativas de operación antes de accionar los pulsadores.
- Cambios en el sistema de funcionamiento o actividades de mantenimiento deberán ser analizados con el plano esquemático de funcionamiento (ver plano juego de válvulas conexión automática) para determinar con exactitud cuales válvulas serán las involucradas en el procedimiento.

Sistema de cloración:

- Alimentación por bombeo, válvula eléctrica 1 y manual 7
- Alimentación por red de apoyo, válvula eléctrica 3 y manual 9

Para las actividades de mezcla de cloro gaseoso el operario debe seleccionar el clorador correspondiente a utilizar mediante las válvulas de entrada de agua a los inyectores (el circuito puede alimentar dos cloradores), también se deben verificar la entrada de cloro a los equipos mediante el accionamiento de las válvulas de apertura en cada equipo que se mostrara en el rotámetro.

Sistema de precloración:

- Alimentación por bombeo, válvula eléctrica 2 y manual 8
- Alimentación por red de apoyo, válvula eléctrica 4 y manual 10

Sistema de suministro:

- Alimentación por bombeo, válvula eléctrica 6 y manual 12
- Alimentación por red de apoyo, válvula eléctrica 5 y manual 11

Todos los equipos instalados desde las bombas hasta las válvulas del tablero de control deberán estar marcadas y solo el personal de mantenimiento puede cambiar las indicaciones o modificarlas.

BIBLIOGRAFÍA

AZEVEDO Netto JM, ACOSTA ÁLVAREZ Guillermo. Manual de Hidráulica Harla. Harper & Row Latinoamericana. 1976.

CRANE, División de Ingeniería. Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Mc. Graw Hill. 1987.

KENNETH, McNaughton. Bombas. Selección, Uso y Mantenimiento. Mc. Graw Hill. 1982.

OPCI. Organización Iberoamericana de la Protección Contra Incendios. Hidráulica Aplicada a la Protección Contra Incendios. 1974.

RAS 2000 REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO.

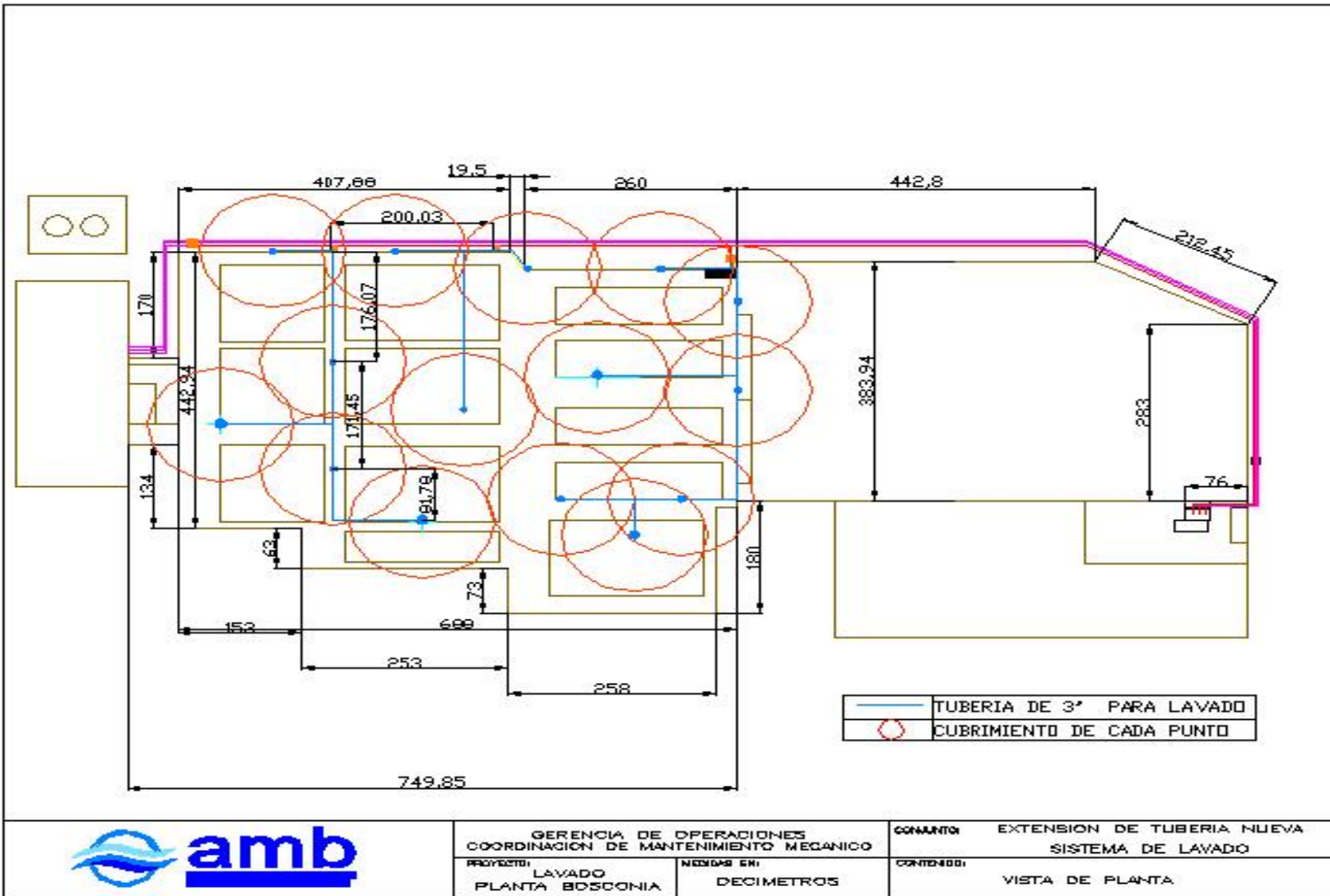
ROBERT L Mott . Mecánica de fluidos aplicada. Pearson Education. Cuarta edición 1996.

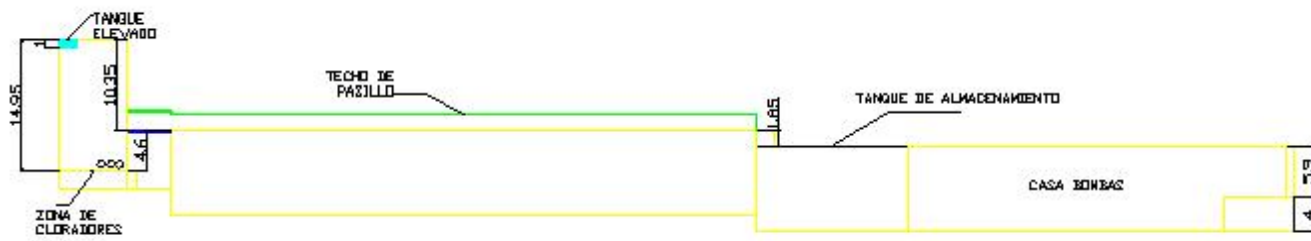
SOCIEDAD SANTANDEREANA DE INGENIEROS. Reglamentación de Proyectos Hidráulicos para Construcciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga. 1994.

TYLER G. Hicks BME, Bombas su selección y aplicación. Compañía editorial continental S.A. 1974.

ANEXOS

ANEXO 1.
PLANOS EN AUTOCAD





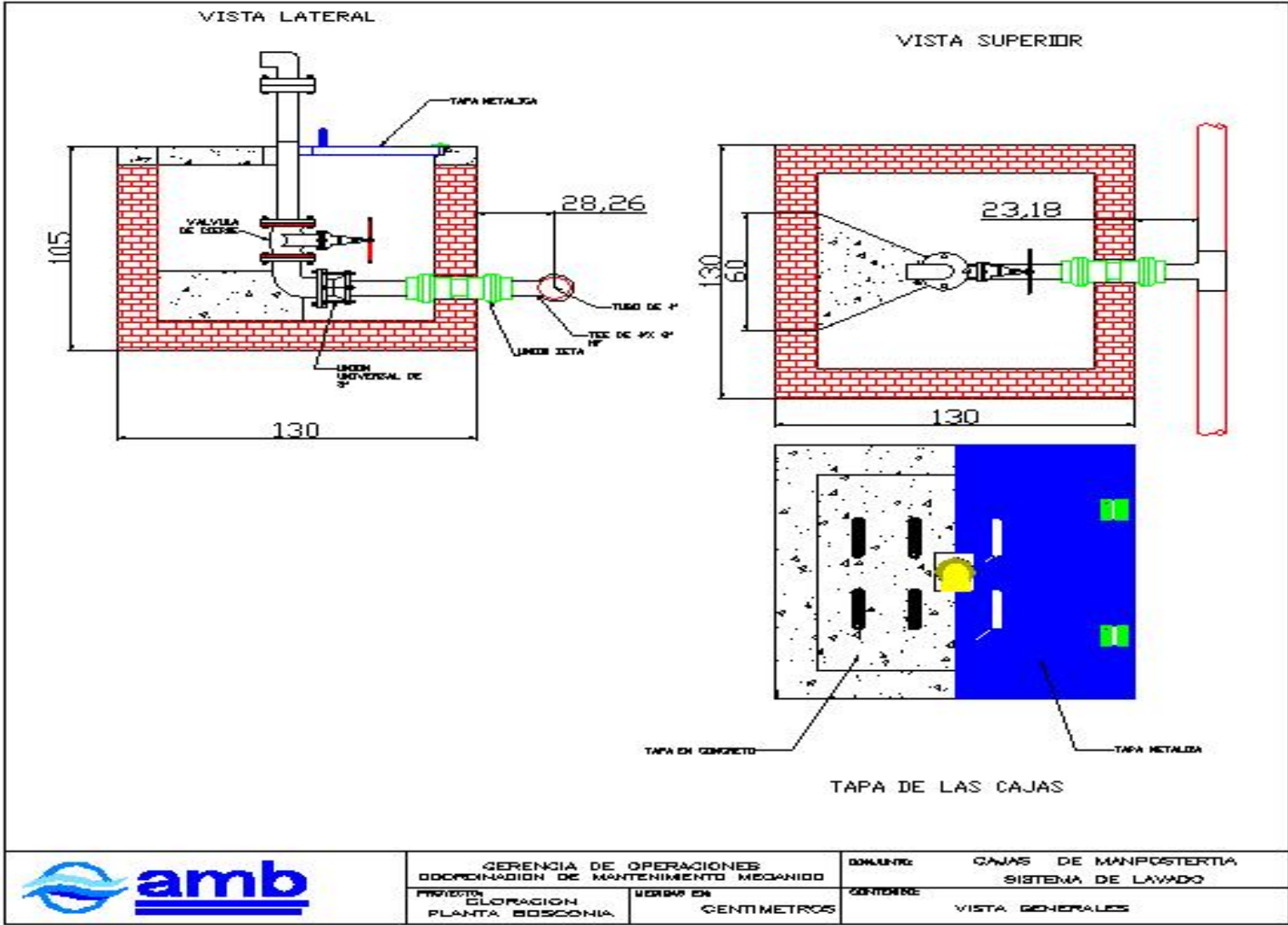
GERENCIA DE OPERACIONES
COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO

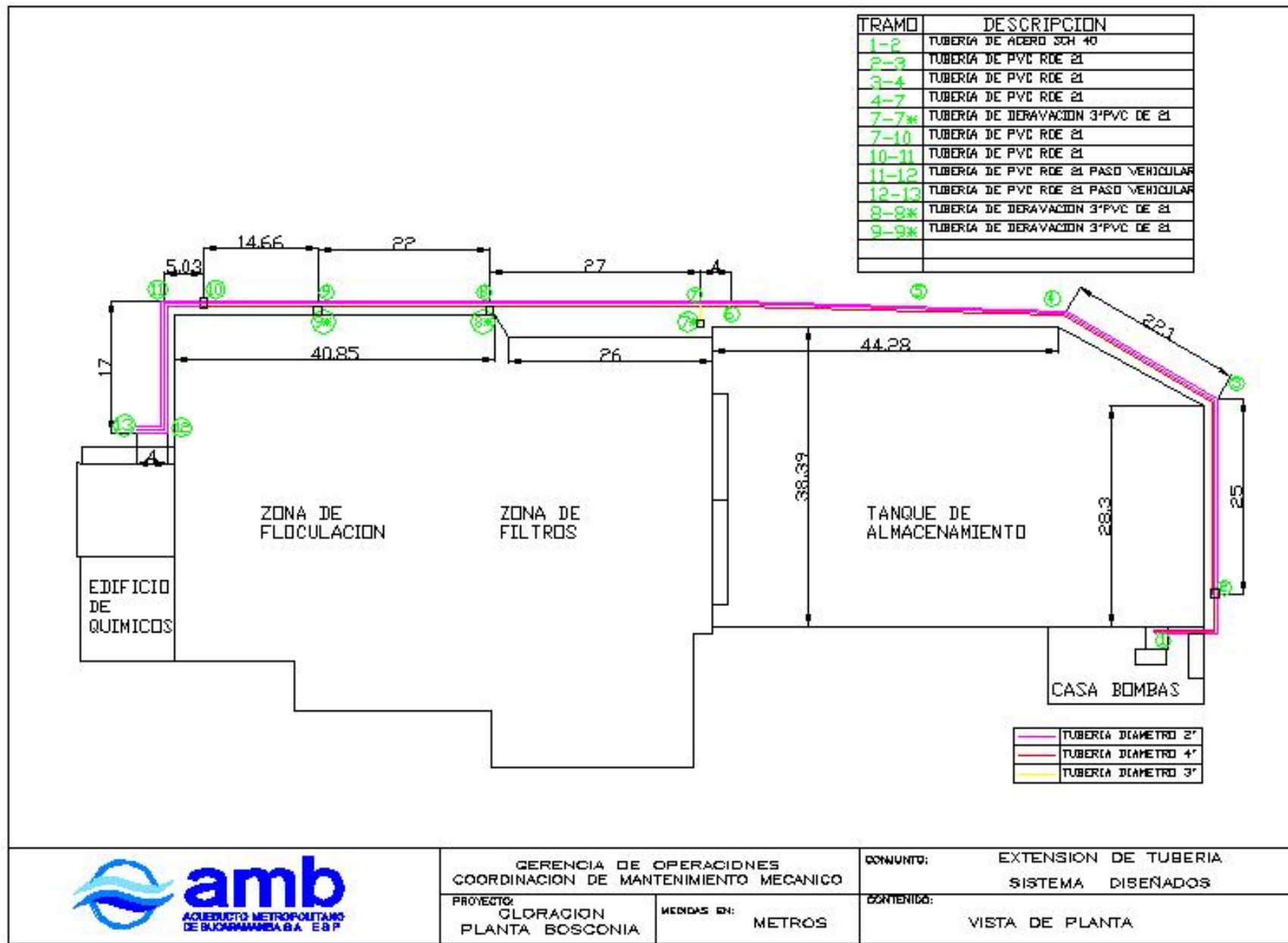
PROYECTO:
CLORACION
PLANTA BOSCONIA

MEDIDAS EN:
METROS

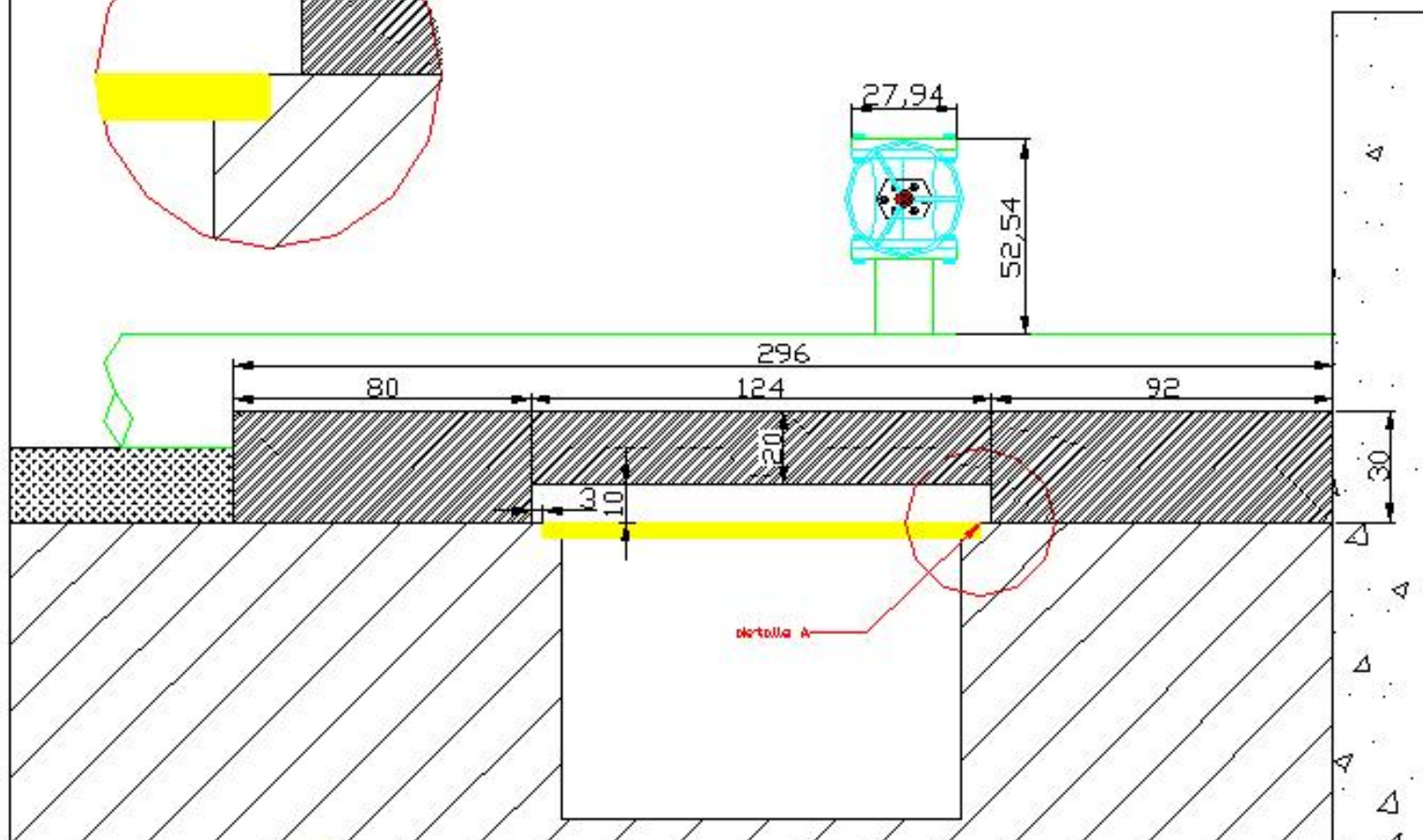
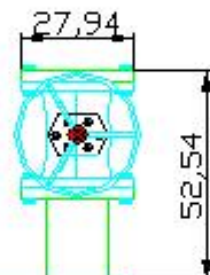
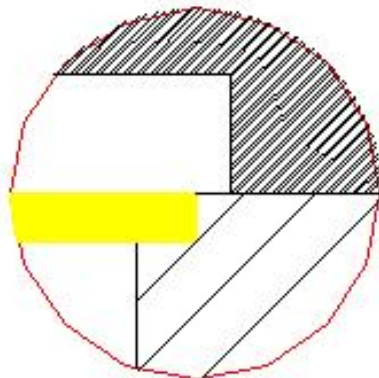
CONJUNTO: PLANO DE ALTURAS
PLANTA BOSCONIA

CONTENIDO:
VISTA FRONTAL





DETALLE A



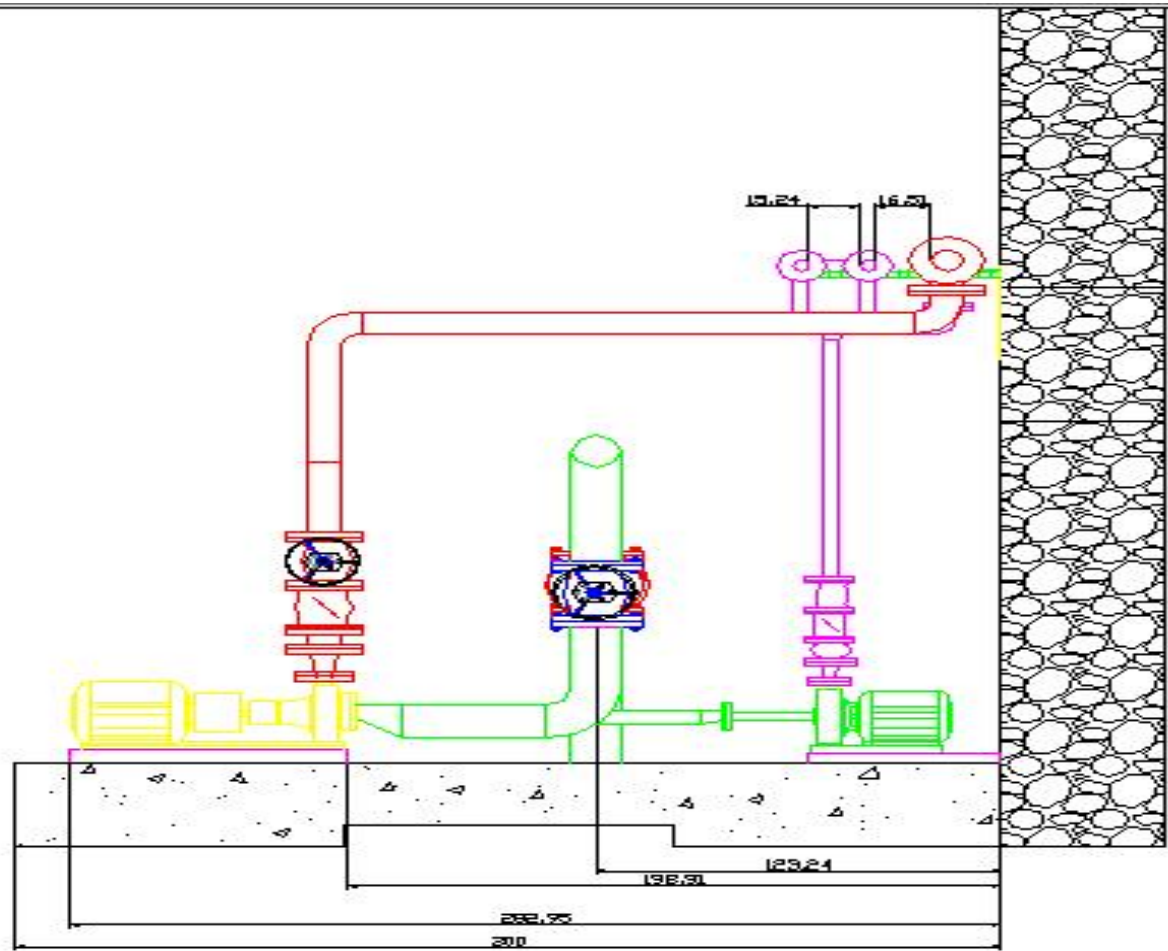
GERENCIA DE OPERACIONES
COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO

PROYECTO:
CLORACION
PLANTA BOSCONIA

UNIDAD EN:
CENTIMETROS

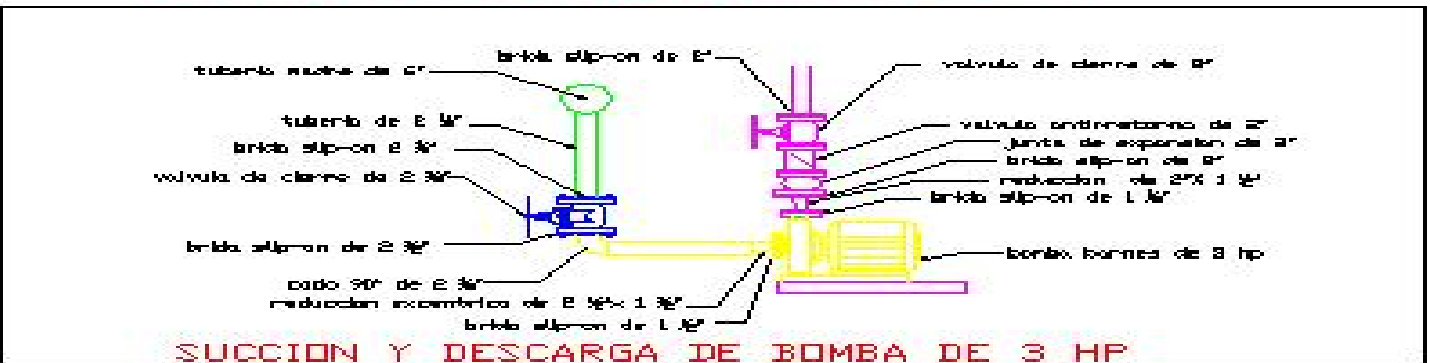
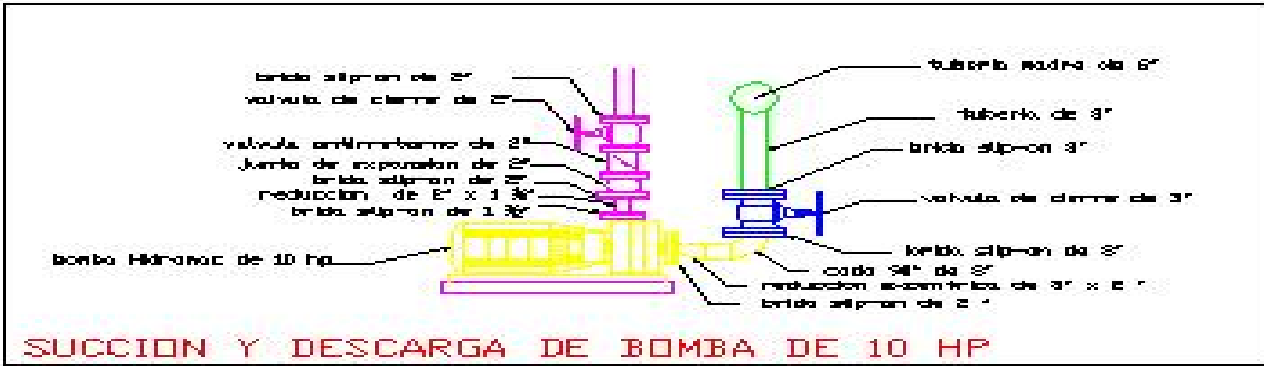
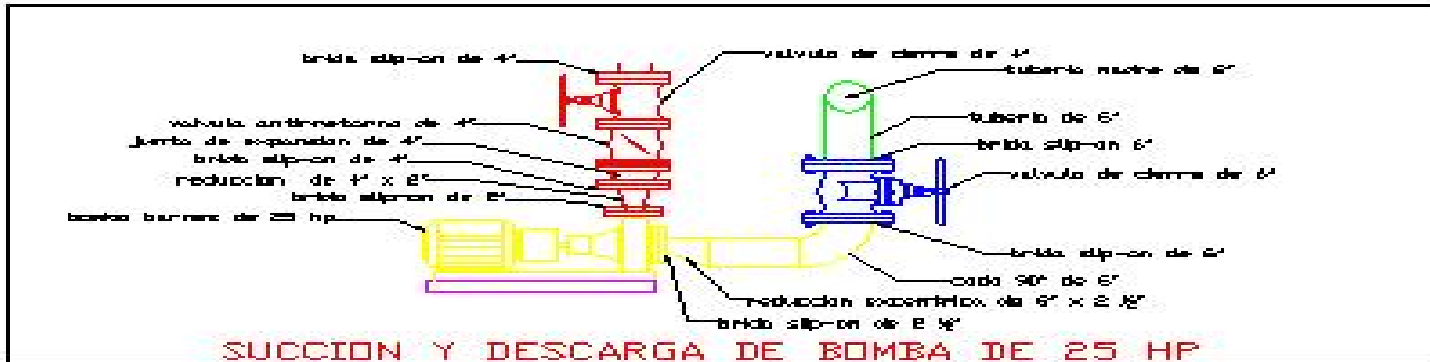
CONJUNTO: PLACA DE CONCRETO PARA BOMBAS
SISTEMA DE CLORACION

CONTENIDO:
CORTE VISTA FRONTAL



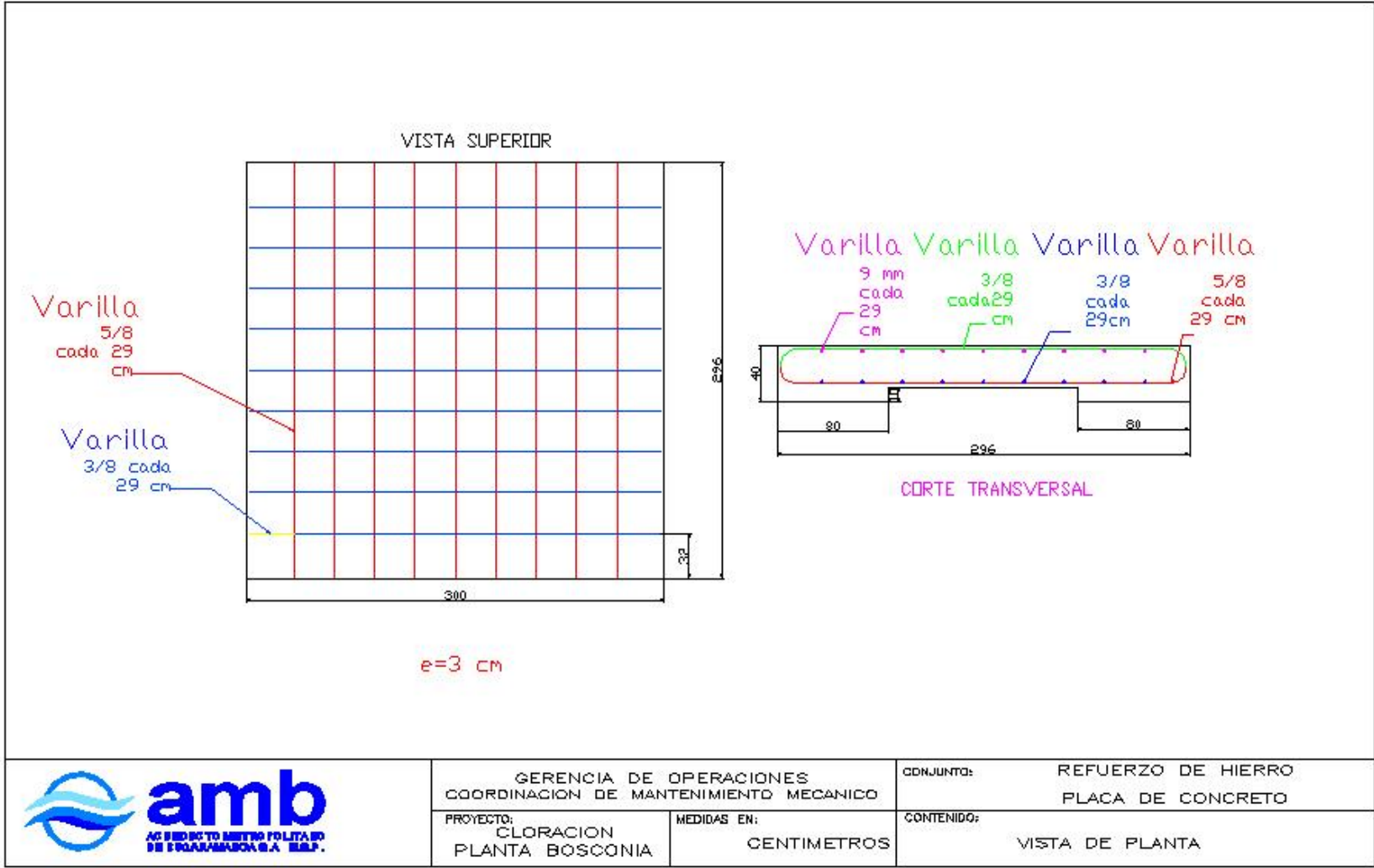
GERENCIA DE OPERACIONES
 COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO
 PROYECTO: CLORACION PLANTA BOSCONIA
 ESCALA: 1:100
 UNIDAD DE: CENTIMETROS

COMUNO: INSTALACION DE BOMBAS
 COMERCIO: VISTA FRONTAL



GERENCIA DE OPERACIONES
COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO
Módulo
CLASIFICACION
PLANTA BOSONIA

REALIZADO POR
INSTALACION DE BOMBAS
SUCCION Y DESCARGA
Módulo
VISTA FRONTAL



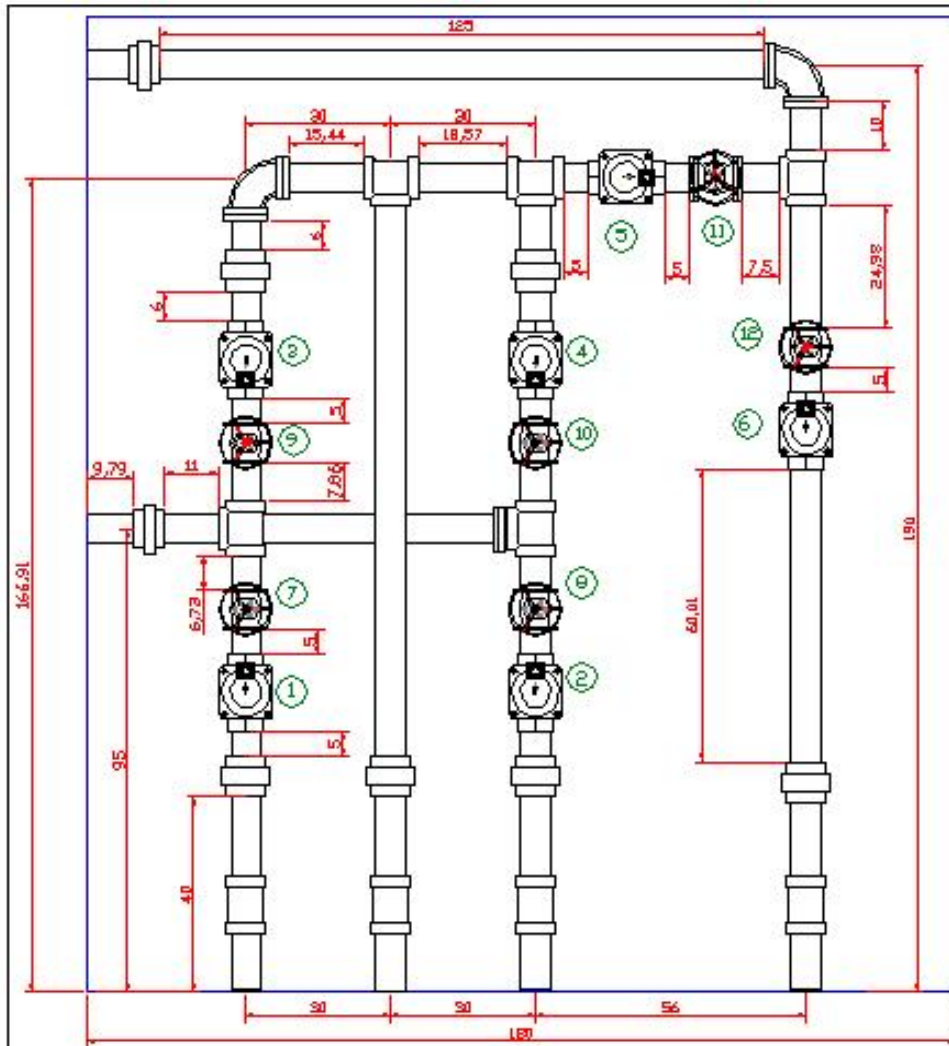
GERENCIA DE OPERACIONES
 COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO

PROYECTO:
 CLORACION
 PLANTA BOSCONIA

MEDIDAS EN:
 CENTIMETROS

CONJUNTO: REFUERZO DE HIERRO
 PLACA DE CONCRETO

CONTENIDO:
 VISTA DE PLANTA



ITEM	DESCRIPCION
①	VALVULA DE 2° ELECTRICA CLORACION
②	VALVULA DE 2° ELECTRICA PRECLORACION
③	VALVULA DE 2° ELECTRICA ANGELINDOS-CLORACION
④	VALVULA DE 2° ELECTRICA ANGELINDOS-PRECLORACION
⑤	VALVULA DE 2° ELECTRICA ANGELINDOS-SUMINISTRO
⑥	VALVULA DE 2° ELECTRICA SUMINISTRO
⑦	VALVULA DE 2° MANUAL CLORACION
⑧	VALVULA DE 2° MANUAL PRECLORACION
⑨	VALVULA DE 2° MANUAL ANGELINDOS-CLORACION
⑩	VALVULA DE 2° MANUAL ANGELINDOS-PRECLORACION
⑪	VALVULA DE 2° MANUAL ANGELINDOS-SUMINISTRO
⑫	VALVULA DE 2° MANUAL SUMINISTRO



GERENCIA DE OPERACIONES
COORDINACION DE MANTENIMIENTO MECANICO

PROYECTO:
CLORACION
PLANTA BOSCONIA

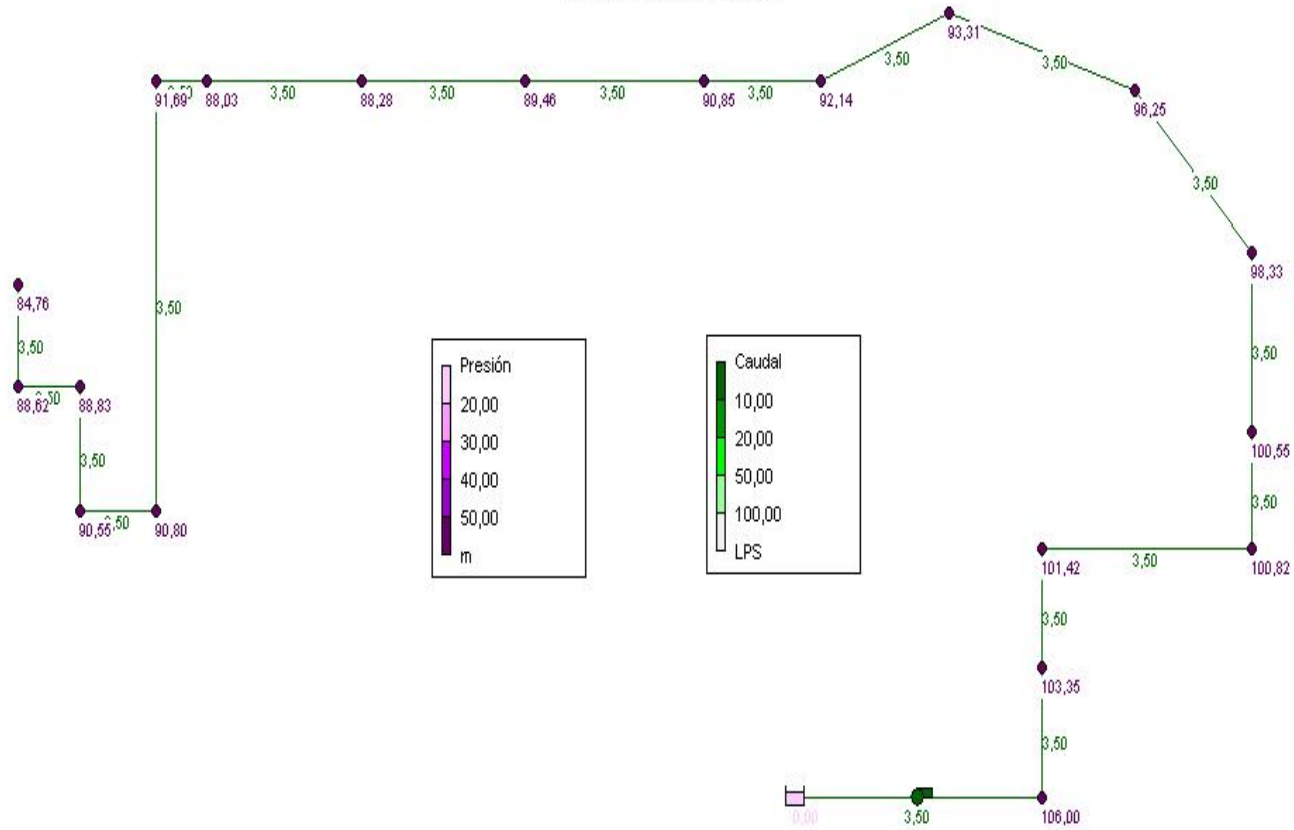
MEDIDAS EN:
CENTIMETROS

CONJUNTO: JUEGO DE VALVULAS
CONEXION AUTOMATICA

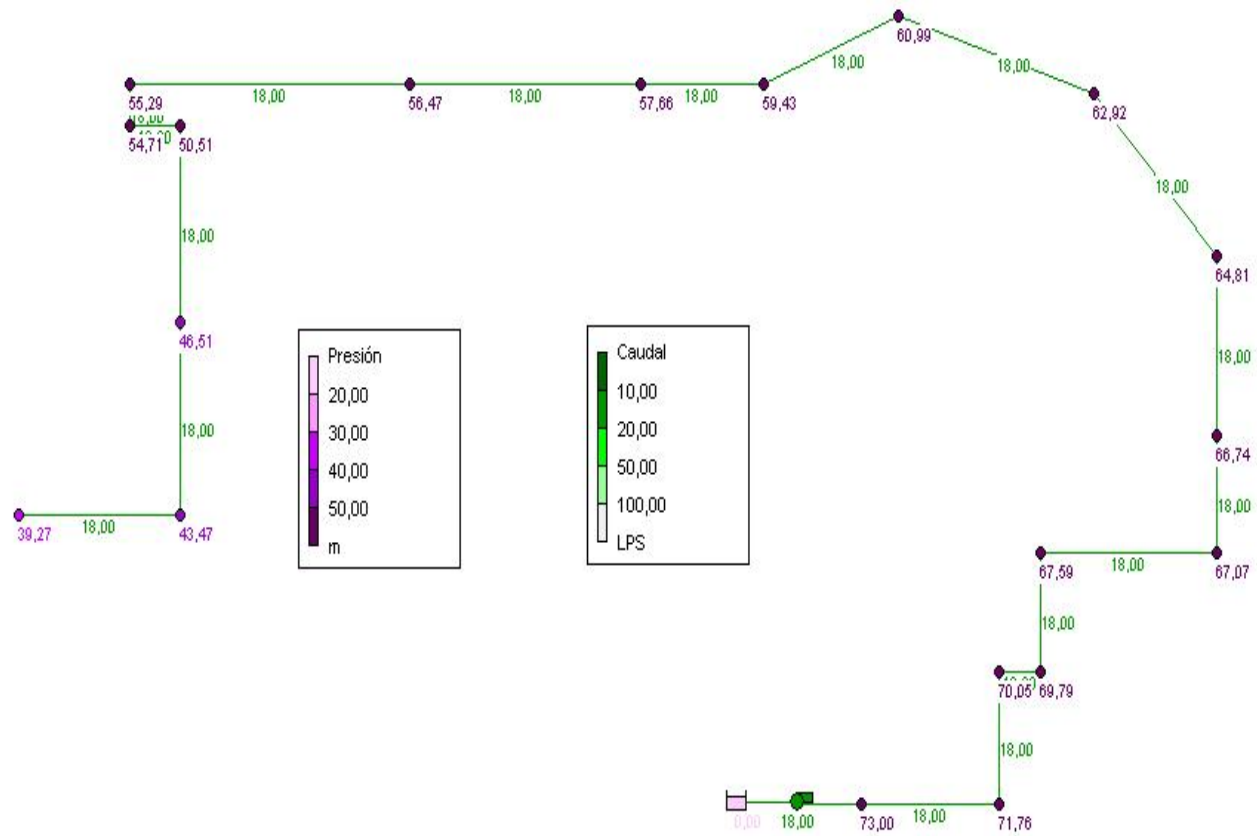
CONTENIDO: VISTA FRONTAL

ANEXO 2.
PLANOS EN EPANET 2 ESP

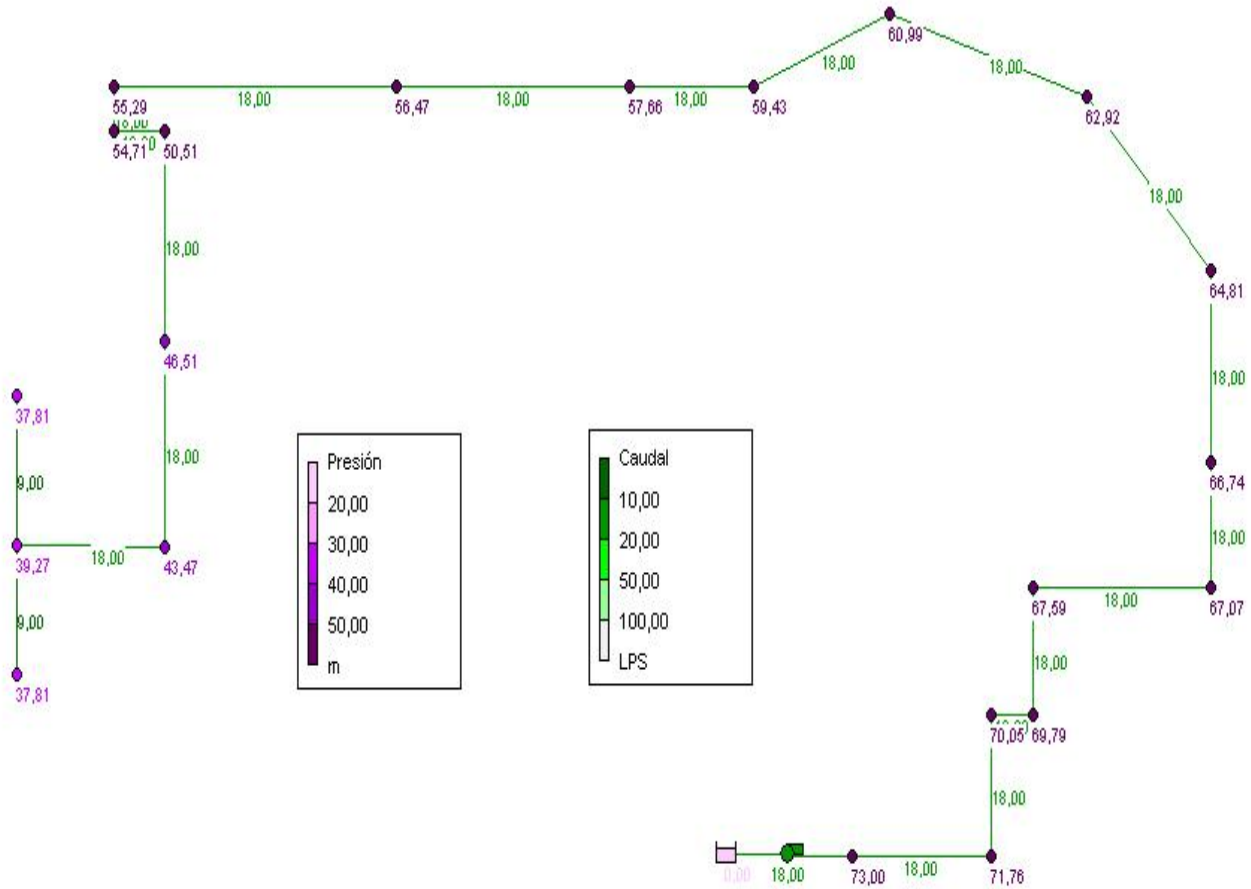
SISTEMA DE CLORACION



SISTEMA DE LAVADO CON UN PUNTO DE DESCARGA



SISTEMA DE LAVADO DOS PUNTOS



ANEXO 3.
GRAFICAS DE LAS BOMBAS SUMINISTRADAS POR EL
FABRICANTE