

**DISEÑO DE SISTEMA HIDRÁULICO PARA RECUPERACIÓN DE AGUAS.
CASO DE ESTUDIO: LABORATORIO DE PROCESOS DE INGENIERÍA
QUÍMICA-UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**YUBER CASTILLO DÍAZ
ROSA MERCEDES ROMERO VILLEGAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

**DISEÑO DE SISTEMA HIDRÁULICO PARA RECUPERACIÓN DE AGUAS.
CASO DE ESTUDIO: LABORATORIO DE PROCESOS DE INGENIERÍA
QUÍMICA-UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**YUBER CASTILLO DIAZ
ROSA MERCEDES ROMERO VILLEGAS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar
Por los títulos de Ingeniero Civil e Ingeniera Química**

**Director
Ing. MARIO GARCÍA SOLANO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios

Por concedernos la sabiduría necesaria para culminar con éxito nuestros propósitos. Sin la ayuda del Padre Celestial este sueño no sería una realidad y por eso lo consideramos la fuente de energía, entusiasmo, amor y dedicación para este trabajo.

A nuestras familias

Por impulsarnos y apoyarnos en cada paso durante la vida universitaria, complementando los conocimientos académicos con valores y principios para convertirnos en personas íntegras, capaces de servir a la comunidad.

A nuestros amigos

Por acompañarnos en el camino, llenar cada momento de alegría y ayudarnos a ver las dificultades como oportunidades y no obstáculos.

A nuestros maestros

Por brindarnos todos sus conocimientos y luchar día tras día por convertirnos en excelentes profesionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente

A Dios y nuestros padres por mantenernos en el camino correcto luchando siempre por nuestro éxito y superación.

A nuestro director, el ingeniero Mario García Solano, por orientarnos con paciencia y dedicación en la construcción de este proyecto.

A Eduardo Carreño, técnico encargado del funcionamiento del laboratorio de ingeniería química, por brindarnos con amabilidad la información necesaria para elaborar este trabajo.

A los maestros de ingeniería química e ingeniería civil por sus enseñanzas y formación integral durante los años de estudio universitario.

A todas aquellas personas que han marcado positivamente nuestra vida, con palabras de ánimo, consejos, asesorías o simplemente con su cariño y buenos deseos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GENERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. CONCEPTOS TEÓRICOS	19
4.1 FLUJO EN CANALES ABIERTOS	19
4.2 FLUJO A PRESIÓN	19
4.3 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR	20
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL	23
5.1 PROCESO DE DISEÑO	23
5.2 DISEÑO DE TUBERÍAS A PARTIR DE LA SALIDA DE DRENAJES	23
5.3 TORRE DE ENFRIAMIENTO	25
5.4 CÁLCULO DE VOLUMEN DEL POZO DE ALMACENAMIENTO	26
5.5 ASIGNACIÓN DE LA BOMBA	27
5.6 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DINÁMICA TOTAL PARA LA BOMBA	28
5.7 ALTERNATIVA 1. DISEÑO RED DE RECIRCULACIÓN	29
5.8 ALTERNATIVA 2. REUTILIZACIÓN DEL AGUA	29
6. RESULTADOS	30
6.1 DISEÑO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO	31

6.2 DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL POZO SUBTERRANEO	33
6.3 ASIGNACIÓN DE LA BOMBA	33
6.4 RESULTADOS ALTERNATIVA 1. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN	33
6.5 RESULTADOS ALTERNATIVA 2 SISTEMA DE REUTILIZACIÓN	35
6.6 DISEÑO FINAL	35
6.7 COSTOS	37
6.7.1 Costos generales	37
7. CONCLUSIONES	40
8. RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de los diferentes tipos de bombas	27
Tabla 2. Diámetros comerciales.	30
Tabla 3. Tabla de temperaturas.	31
Tabla 4. Caudales de llegada a los equipos.	34
Tabla 5. Caudal entregado	35
Tabla 6. Costos generales de la alternativa 1.	37
Tabla 7. Costos generales de la alternativa 2.	37
Tabla 8. Costos de la torre de enfriamiento.	38
Tabla 9. Costos de agua por m ³ .	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diseño de tuberías fase 1.....	24
Figura 2. Curvas de bombas “Altura manométrica Vs Caudal”	27
Figura 3. Altura dinámica bomba.....	28
Figura 4. Torre vista frontal.....	32
Figura 5. Torre vista superior y vista lateral	32
Figura 6. Red de recirculación por tramos.....	34
Figura 7. Diseño final.....	36

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tuberías en Serie	45
Anexo B. Tuberías en Paralelo	46
Anexo C. Curvas de la Bomba.....	47
Anexo D. Cálculo de diámetros utilizando la ecuación de Manning.....	48
Anexo E. Cálculo de temperaturas.	52
Anexo F. cálculo de pérdidas de calor	56
Anexo G. Sección calor	58
Anexo H. Cálculo del volumen de agua que llega al pozo subterráneo.....	59
Anexo J. Determinación de la carga de bombeo o altura dinámica total (Hdt) para la bomba y cálculo de pérdidas.....	60
Anexo K. Alternativa 1	61
Anexo L. Costos detallados alternativa 1	62
Anexo M. Alternativa 2	65
Anexo N. Costos detallados alternativa 2	66
Anexo O. Proyección de costos a futuro.....	69
Anexo P. Recibo	71

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE SISTEMA HIDRÁULICO PARA RECUPERACIÓN DE AGUAS*

AUTORES: YUBER CASTILLO DIAZ
ROSA MERCEDES ROMERO VILLEGAS**

PALABRAS CLAVE: Recuperación de agua, Diseño de sistema hidráulico, Reducción del consumo de agua.

DESCRIPCIÓN

El presente proyecto consiste en el diseño de un sistema hidráulico para recuperación de aguas en el laboratorio de Ingeniería Química, ubicado en la Universidad Industrial de Santander. Esta idea nace ante la necesidad de disminuir el alto consumo de agua en dicho laboratorio y por consiguiente evitar posibles demandas ambientales y gasto excesivo de recursos económicos por parte de la universidad.

El desarrollo del proyecto inició con el estudio de los equipos presentes en el laboratorio, con el fin de determinar el gasto de agua que producía cada uno de éstos, además de analizar los caudales y temperaturas correspondientes. Después de especificar los anteriores datos comenzó el diseño de las tuberías para el transporte del fluido, teniendo en cuenta los diámetros, el material (PVC) y todas las posibles pérdidas. Es importante tener en cuenta que el líquido resultante de todos los equipos posee una temperatura elevada (64 °C), y para reutilizar el fluido se requiere temperatura ambiente (23 °C), por lo tanto fue necesario instalar un intercambiador de calor, para este caso en particular una torre de enfriamiento que permitiera obtener los valores deseados de temperatura. También se consideró colocar una bomba para llevar el fluido desde un pozo diseñado para almacenamiento con dimensiones (1,5*1,5*1,5 m), hasta un tanque que está instalado en la parte superior del laboratorio. Para finalizar el estudio y diseño se evaluaron las posibilidades de recircular el agua a los equipos o utilizar el líquido para labores de limpieza. Teniendo en cuenta para cada una de éstas los costos, ventajas y desventajas, así como los gastos de mantenimiento.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química. Director Msc. Mario Garcia Solano

ABSTRACT

TITULO: DISEÑO DE SISTEMA HIDRÁULICO PARA RECUPERACIÓN DE AGUAS*

AUTORES: YUBER CASTILLO DIAZ
ROSA MERCEDES ROMERO VILLEGAS**

KEY WORDS: recovery of water, hydraulic system design, water consumption reduction.

DESCRIPCIÓN

This project consists of the design of a hydraulic system for recovery of water in the chemical engineering lab at Universidad Industrial de Santander, in response to the need to reduce water consumption in the lab, to avoid possible environmental authorities' litigations and excessive expenditure of the university's funds.

In the initial stage, water consumption by each piece of equipment in the lab, as well as its flow volume and corresponding temperature, were analyzed and assessed. In the second phase, the water transport piping system was designed, taking into consideration piping diameters, material (PVC), and all possible losses. The high temperature (64^o Celsius) of water coming from lab equipment pieces must be highlighted, given that it must be brought down to room temperature (23^o) so as to be reutilized, which calls for installation of a heat exchanger, in this case a cooling tower. Next, installation was considered of a pump to carry water from a storage tank measuring (1.5*1.5* 1.5 m) to a tank on the lab top. Finally, the study and design included evaluation of the feasibility to recirculate water into the equipment, or using it for general cleaning, all along calculating the expenses, advantages and drawbacks, as well as upkeep costs of the two possibilities.

* Grade project

** Faculty of engineering physico-chemical, Chemical Engineering school, Director Msc. Mario García Solano

INTRODUCCIÓN

El agua es una sustancia primordial para todas las formas conocidas de vida, razón por la cual la organización de las naciones unidas (ONU) la declara derecho humano esencial. Los gobiernos por su parte han emitido políticas proteccionistas del recurso hídrico, pues la disponibilidad del líquido ha disminuido en los últimos años volviéndose un tema imperativo garantizar el preciado recurso a toda la población. Por consiguiente el abuso en el consumo de agua potable o su desperdicio genera fuertes sanciones y multas.

La Universidad Industrial de Santander (UIS) en la actualidad corre el riesgo de enfrentarse a una demanda por gasto excesivo de agua, pues una de sus instalaciones como es el laboratorio de procesos de ingeniería química, no cuenta con el debido proceso de recirculación y desperdicia a diario grandes cantidades de agua potable, es decir, no contaminada que puede reutilizarse. Por lo tanto la presente tesis nace ante la necesidad de diseñar un sistema de recuperación y reutilización del líquido con el fin de disminuir el alto consumo que se presenta en el laboratorio anteriormente mencionado.

La característica principal de este diseño consiste en reunir el agua que sale de los equipos para conformar un solo caudal, el cual después de algunas etapas alimenta nuevamente a las máquinas del laboratorio. Cabe aclarar que este líquido no es alterado ni combinado con otras sustancias, sólo se utiliza para procesos de enfriamiento, por consiguiente no se contamina.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso no renovable e indispensable para la vida de todas las especies, pero debido al uso inadecuado y la falta de conciencia ambiental por parte de las personas, se han presentado muchos desequilibrios en algunas zonas, es por eso que se hace indispensable el uso racional y equilibrado del recurso para así evitar futuros desabastecimientos y sequias.

En este sentido, el Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad Industrial de Santander se ha cuestionado sobre las condiciones en que trabajan actualmente los equipos y los procesos de algunos laboratorios, debido a que estos consumen y desperdician grandes cantidades de agua. En un estudio realizado previamente en los laboratorios de la universidad, cuyo objetivo fue identificar en cuál de éstos se presentaba mayor pérdida de agua, se llegó a la conclusión que existe un mayor desperdicio en el laboratorio de procesos de ingeniería química, puesto que, éste tiene mayor cantidad de equipos trabajando varias horas al día durante toda la semana. A partir de ello, resulta de vital importancia realizar reformas hidráulicas que permitan optimizar el funcionamiento de los equipos en cuanto al gasto de agua.

2. JUSTIFICACIÓN

El sistema hidráulico que se va a diseñar tiene como primera finalidad recuperar el agua que es expulsada a través de los equipos presentes en el laboratorio. Posteriormente, se plantearán dos alternativas para la reutilización del líquido, las cuales son:

1. Recircular el agua a través de los equipos del laboratorio.
2. Reutilizar el agua para labores de limpieza y otras actividades.

Cabe resaltar que el agua que se desecha luego de los procesos no está contaminada, puesto que en muchos casos solo cumple la función de refrigerar, lo cual genera únicamente que se incremente un poco la temperatura dependiendo del proceso que se lleve a cabo. Por otro lado, se debe implementar un sistema de refrigeración con el fin de llevar el fluido a temperatura ambiente a través de un intercambio de calor.

En este orden de ideas, el presente estudio pretende no sólo evitar el desperdicio del líquido, sino que también contribuye a economizar recursos a la universidad, ya que, con la implementación de estos sistemas en los demás laboratorios se puede llegar a ahorrar una considerable suma de dinero en cuestión del pago del servicio de agua, lo que conlleva a que estos recursos se puedan utilizar en otras actividades como la investigación y el mantenimiento de otros sectores de la universidad.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de recuperación y reutilización de agua con el fin de disminuir el alto consumo que se está presentando en el laboratorio de procesos de ingeniería química de la Universidad Industrial de Santander.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de enfriamiento que sea apto para disminuir adecuadamente la temperatura del agua utilizada para la refrigeración de fluidos en los equipos de destilación y procesos del laboratorio.
- Diseñar una red hidráulica que permita recuperar el agua utilizada por las máquinas del laboratorio y plantear alternativas de uso para el líquido.
- Determinar las ventajas económicas que representa la construcción de este sistema hidráulico.

4. CONCEPTOS TEÓRICOS

4.1 FLUJO EN CANALES ABIERTOS

El flujo en canales abiertos consiste en la circulación de agua a través de una tubería o una superficie similar, en cuanto no exista una bomba o un factor que le aplique presión al fluido.

Para el diseño de diámetros correspondientes a tuberías donde circula agua a flujo libre se debe utilizar la ecuación de Manning.¹

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * Sf^{\frac{1}{2}}$$

Para aplicar esta ecuación se deben considerar factores como el coeficiente de rugosidad que depende del material de la tubería (n), el caudal que se va a transportar, el radio hidráulico (R) y la pendiente del terreno por donde va a circular el fluido (Sf).

4.2 FLUJO A PRESIÓN

El flujo a presión consiste en el movimiento de fluidos a través de conductos cerrados sobre los que se ejerce una presión diferente a la presión atmosférica, esta presión puede ser ejercida por factores externos como bombas hidráulicas.

“Para el diseño de diámetros correspondientes a tuberías donde circula agua a presión se debe utilizar la ecuación de Hazen Williams”².

¹ CHOW, Ven Te. Hidrología Aplicada. Mc Graw-Hill. Santafe de Bogotá. 1988. Pág. 34.

² Ibíd. Pág. 128

$$H_f = \frac{10.67}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} * L$$

Para aplicar esta ecuación se deben considerar factores como el caudal (Q), el coeficiente del material (C), la diferencia de alturas (Hf) y la longitud del tramo de tubería que desea diseñar (L).

4.3 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR

“El calor se define como la energía que se transmite de manera espontánea desde un cuerpo o sistema de mayor temperatura a otro de menor temperatura”.³

La transferencia de calor en tuberías se analiza por conducción, convección y radiación.

El físico y matemático francés J.B. Fourier propuso la ley que rige la conducción del calor, establece que la densidad de flujo de calor q, (cantidad de calor que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo, $[W/m^2]$) viene dada por:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = q = -k \frac{dT}{dr}$$

T es la temperatura local [K o °C], r es la coordenada en la dirección del flujo [m] y k es la conductividad térmica de la sustancia, cuyas unidades $[W/m.K]$

Si las temperaturas no varían con el tiempo, el principio de conservación de energía exige para el flujo de calor lo siguiente:

$$\dot{Q} = 2\pi r L \left(-k \frac{dT}{dr}\right)$$

$$\frac{\dot{Q}}{2\pi L k} = -r \frac{dT}{dr}$$

³ LAMELA HERNÁNDEZ, Verónica. Cuba Educa. [Disponible en: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2426.pdf>] [Citado Abril de 2016]

Posterior a resolver la ecuación diferencial con la respectiva integración se tiene finalmente:

$$\dot{Q} = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)} \text{ Ecuación 1.}$$

T_1 es la temperatura interna del tubo y T_2 es la temperatura externa en contacto con el fluido. La longitud es L , radio interior r_1 y radio exterior r_2 .

La ley fundamental de la convección se conoce con el nombre de ley de enfriamiento de Newton:

$$q = \frac{Q}{A} = h_c(T_s - T_f) = h_c\Delta T$$

h_c es el coeficiente de transmisión de calor [$W/m^2.K$], T_s es la temperatura de la superficie sólida en contacto con el fluido y T_f es la temperatura del fluido alejado de la superficie.

Para la transferencia de calor por radiación se tiene en cuenta para cuerpos grises, pues los cuerpos negros representan una superficie ideal.

$$Q_{12} = A_1\varepsilon_1(\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4)$$

Q_{12} es el intercambio neto de energía radiante de la superficie 1 a la superficie 2, T_1 es la temperatura absoluta de la superficie caliente, T_2 es la temperatura absoluta de la superficie fría y ε_1 es la emisividad.

Linealizando la ecuación descomponiendo el término $(\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4)$ se tiene:

$$Q_{12} = A_1 h_r (T_1 - T_2)$$
$$h_r = 6\varepsilon$$

h_r es el coeficiente de transmisión de calor por radiación [$W/m^2.K$]

Para efectos prácticos cuando en un proceso ocurre convección y radiación es posible expresar de forma combinada los coeficientes de transmisión de calor por convección y radiación.

$$h = h_c + h_r$$

$$Q = A_1 h_r (T_2 - T_{\text{exterior}}) \text{ [radiación]}$$

$$Q = A h_c (T_2 - T_{\text{exterior}}) \text{ [convección]}$$

$$Q = (h_c + h_r) A (T_2 - T_{\text{exterior}})$$

$$Q = h 2\pi r_2 L (T_2 - T_{\text{exterior}}) \text{ Ecuación 2}$$

Combinando la ecuación 1 y la ecuación 2, se obtiene:

$$Q = \frac{2\pi L (T_1 - T_{\text{exterior}})}{\frac{1}{k} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{hr_2}} \text{ Ecuación 3}$$

En el desarrollo de este proyecto también es necesario tener en cuenta el concepto de torres de enfriamiento o de refrigeración, el cual expresa que “las torres de enfriamiento aprovechando el principio de evaporación, por contacto directo entre el agua y el aire, consiguen reducir la temperatura del agua desde la entrada de la torre a la salida de la misma”⁴

Existen diversos tipos de torres de refrigeración. Según la forma en que se mueve el aire pueden ser de tiro mecánico, las cuales utilizan ventiladores para mover el aire, o también pueden ser de tiro natural, que dependen de las condiciones climatológicas. Para este caso se utiliza de tiro mecánico y según la ubicación del ventilador de tiro forzado, es decir, el ventilador está ubicado en la entrada del aire

⁴ UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. Sistemas de Intercambio de Calor. [Disponible en: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2011/447/42501/1/Documento15.pdf] [Citado Abril de 2016]

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 PROCESO DE DISEÑO

El principal propósito de estos diseños es identificar la viabilidad de construir un sistema que sea adecuado y que contribuya a economizar recursos, además se deja a disposición de la universidad para que elija el diseño que crea más conveniente implementar en el laboratorio. La idea es que estos diseños se puedan llevar a cabo en otros laboratorios y que esto sirva como una solución a largo plazo que contribuya a economizar el agua.

Este trabajo se divide en cinco fases principales, en las cuales se tendrá en cuenta las condiciones reales del laboratorio para el diseño de cada una de éstas, así se dará lugar al diseño final de la red.

5.2 DISEÑO DE TUBERÍAS A PARTIR DE LA SALIDA DE DRENAJES

Los datos obtenidos en el laboratorio acerca de la ubicación de cada una de las máquinas y los datos recopilados con ayuda de los estudiantes de ingeniería química sobre los caudales y las temperaturas del líquido expulsado por cada uno de los equipos, condujeron a que mediante un análisis se diera inicio al diseño de los primeros tramos de tubería.

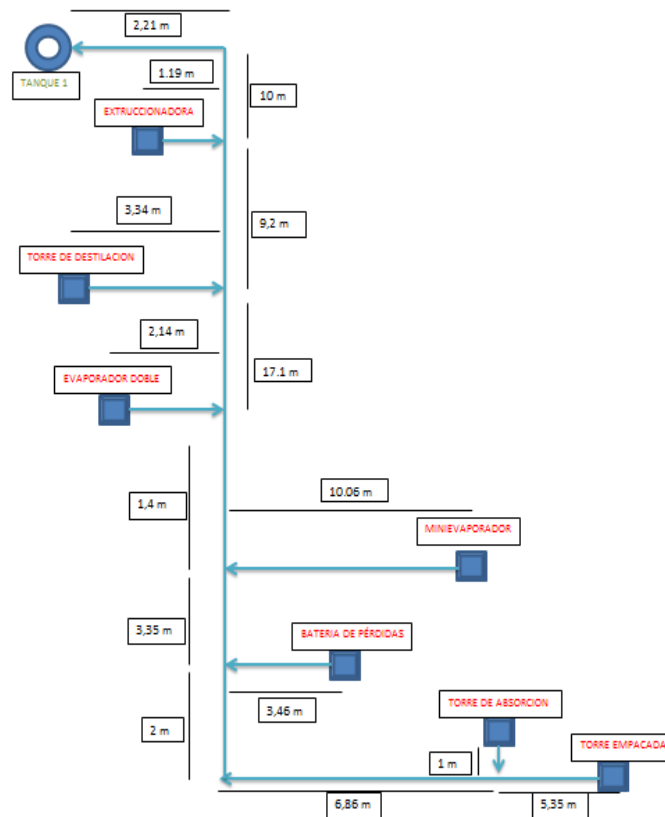
Los cálculos iniciales que condujeron a determinar los diámetros de las tuberías se realizaron mediante el software Excel y se utilizó la ecuación de Manning para este propósito (Anexo D. Excel).

Una vez obtenido el valor de los diámetros de las diferentes tuberías a utilizar, se asignaron los valores más próximos comercialmente para el diseño y se procedió

a determinar las temperaturas que se producían a medida que el agua de las distintas tuberías se iba mezclando a través de la red. Fue implementada la fórmula de calor sensible en la cual el traspaso de calor ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura, hasta que ambos establecen el equilibrio térmico, es decir, alcanzan la misma temperatura. En este caso, como los 2 flujos de agua quedarán mezclados, la temperatura de equilibrio será la temperatura de la mezcla y el caudal resultante será la suma de los caudales que se unen (Anexo E. Excel).

A continuación se presenta en la figura 1 el diseño de la fase inicial del proyecto, que consiste en el recorrido que llevarán las tuberías desde la salida de drenajes de las máquinas del laboratorio hasta un pozo de almacenamiento.

Figura 1. Diseño de tuberías fase 1.



La temperatura final de la mezcla total de agua que se recoge de las maquinas del laboratorio es de 64 °C (Anexo E. Excel). Pero para poder recircular es necesario que el líquido se encuentre a una temperatura cercana al valor de temperatura ambiente, para lo cual es necesario instalar una torre de enfriamiento y una bomba que estarán ubicadas después del pozo.

La bomba tiene la finalidad de enviar el agua hasta el tanque de almacenamiento ubicado en la parte superior del laboratorio. Este tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 12000 litros y se encuentra disponible en condiciones óptimas de funcionamiento, debido a que recientemente se hizo mantenimiento en toda el área. Por lo tanto no es necesario diseñar el tanque de almacenamiento, únicamente se debe diseñar el pozo que recibe el agua procedente de las máquinas. Pero antes de esto es necesario diseñar una torre de enfriamiento que se encargará de recibir el líquido del pozo y mediante un sistema de intercambio de calor, disminuir la temperatura. El diseño de la torre de enfriamiento se realizará a continuación.

5.3 TORRE DE ENFRIAMIENTO

En esta etapa del proyecto se aborda el diseño de un sistema de enfriamiento para disminuir la temperatura del agua que sale de los equipos del laboratorio de procesos.

Con el objetivo de enfriar el líquido se utiliza un intercambiador de calor, para este caso en particular una torre de enfriamiento de tiro mecánico, pues permite controlar de forma precisa el caudal de aire suministrado y con éste la temperatura de salida del agua. El aire se proporciona a la torre con unos ventiladores ubicados en la base de ésta, pero fuera del equipo, condición que minimiza costos de mantenimiento y reparación.

En cálculos anteriores se determinó que la temperatura del fluido luego de salir de los equipos es en total 64 °C, sin embargo en el recorrido de la tubería y en el pozo, el líquido cede calor ingresando a la torre con una temperatura de 52 °C, para luego salir de ésta con 30 °C. De igual manera se sabe que el caudal a ingresar es 0,872 litros por segundo.

Con la ayuda del programa Aspen Hysys V8.8 se realizó la simulación de la torre de enfriamiento, complementando el diseño con el programa auxiliar Aspen Exchanger V.8.8, con el fin de obtener información clara y precisa.

Cabe resaltar que la temperatura del agua se lleva a 30 °C, porque enfriarla hasta 23 °C se considera ideal, no obstante en el momento que el líquido abandone la torre, continúa su recorrido, sufriendo pérdida de calor en el tanque.

Para determinar la pérdida de calor en la tubería, es necesario analizar la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, además de utilizar balance de energía, de igual manera el balance se utiliza para calcular pérdidas de energía en el pozo. (Anexo G.).

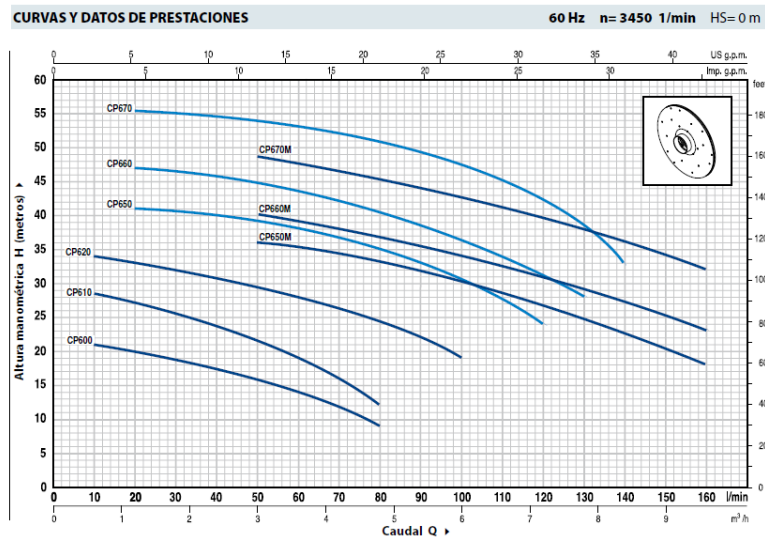
5.4 CÁLCULO DE VOLUMEN DEL POZO DE ALMACENAMIENTO

A partir del caudal obtenido, debido a la cantidad de agua expulsada por los diferentes equipos del laboratorio, se realizaron los cálculos correspondientes (ANEXO H. Excel), y se determinó que el volumen de agua que se recoge en cada jornada de trabajo en el laboratorio es de 3139,2 litros por lo tanto se debe diseñar un tanque con una capacidad mayor de almacenamiento, y se propone un tanque cuadrado de dimensiones 1,5 x 1,5 x 1,5 m, con capacidad de almacenamiento de 3375 litros.

5.5 ASIGNACIÓN DE LA BOMBA

De acuerdo al catálogo general de electrobombas centrifugas PEDROLLO, Figura 2 y Tabla 1, se describe la relación carga (H) vs caudal (Q) para los diferentes tipos de bombas trifásicas y las características de los diferentes tipos de bombas.

Figura 2. Curvas de bombas “Altura manométrica Vs Caudal”



Fuente: Manual de electrobombas centrifugas PEDROLLO

Tabla 1. Características de los diferentes tipos de bombas

MODELO		POTENCIA		Q	H metros																		
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6	
				l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
CPm 600	CP 600	0.37	0.50		22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19	16	12										
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24						
CPm 660	CP 660	1.5	2		48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28					
CPm 670	CP 670	2.2	3		57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33				
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18		
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23		
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

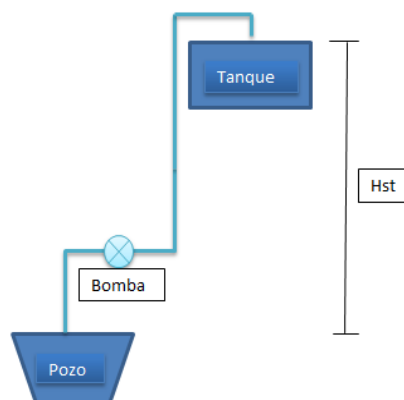
Fuente: Manual de electrobombas centrifugas PEDROLLO.

5.6 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DINÁMICA TOTAL PARA LA BOMBA

Se tiene una distancia entre el pozo de recepción del líquido y el tanque elevado que se encuentra en la parte superior del laboratorio. Una vez instalada la bomba que hará subir el agua hasta el tanque de almacenamiento, es necesario determinar las pérdidas que se presentaran durante el proceso de transporte del líquido. Estas pérdidas son producidas por succión y por impulsión y se calculan mediante la fórmula de Hazen Williams (Anexo J. Excel). En la Figura 3 se puede observar la altura dinámica de la bomba, y por medio de los cálculos, se llega a la conclusión que las pérdidas totales son del 5 %.

En el momento que el agua va llenando o desocupando el pozo subterráneo, hay un flotador eléctrico que va controlando el nivel de agua, y al llegar a un nivel de 0,3 metros del borde del tanque, éste hace que se encienda automáticamente la bomba, de igual forma cuando el tanque está muy bajo de nivel, es decir, el agua se encuentra a una altura de 0,30 metros del fondo del tanque, se envía una señal que hace que la bomba se apague automáticamente. De esta manera se controla la cantidad de líquido en el tanque subterráneo.

Figura 3. Altura dinámica bomba.



5.7 ALTERNATIVA 1. DISEÑO RED DE RECIRCULACIÓN

El diseño de esta fase del proyecto inicia con una red que se distribuye desde el tanque de reserva hasta las diferentes entradas de agua de cada uno de los equipos del laboratorio. El agua baja a presión desde el tanque hasta la entrada de cada una de las máquinas.

5.8 ALTERNATIVA 2. REUTILIZACIÓN DEL AGUA

Para esta segunda alternativa se propone reutilizar el agua almacenada en el tanque para las distintas labores requeridas en el laboratorio. Inicialmente se conecta una tubería desde el tanque de reserva hasta las diferentes entradas de agua, entre las cuales están: Las llaves de agua que surten el servicio para la limpieza del laboratorio, la tubería que va hacia los lavamanos y la tubería que surte el servicio de agua para los baños. Cabe resaltar que no se requiere bomba ya que el agua baja, teniendo en cuenta la cabeza de presión que ejerce el agua debido a la altura en el tanque de reserva. La cantidad de agua que se utiliza diariamente en los lavamanos es considerable teniendo en cuenta que hay dos jornadas de actividad por día en el laboratorio, en las cuales se hace uso de éstos por parte de los estudiantes que van a realizar las prácticas y por el personal técnico que permanece en el laboratorio. Con esto se garantiza que no va a quedar represada agua en el tanque de reserva, ya que se va a reutilizar a medida que se van ejecutando las prácticas en el laboratorio.

6. RESULTADOS

A partir de los datos y los procedimientos realizados, se determinaron los resultados que nos permitirán analizar la viabilidad del proyecto y dar las respectivas conclusiones. Estos resultados se mostrarán a continuación.

En la Tabla 2 se puede observar los resultados del cálculo de los diámetros comerciales del primer tramo de tuberías (Anexo D. Excel).

Tabla 2. Diámetros comerciales.

TRAMO	LONGITUD (mts)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (lps)	PERDIDAS (m)	DIÁMETRO (m)	DIÁMETRO (plg)	D(COMERCIAL) (plg)
1	5.35	0.000107	0.107	0.1	0.019000	0.7480315	3/4
2	8.86	0.000217	0.217	0.2	0.023000	0.90551181	1
3	3.46	0.000035	0.035	0.12	0.011000	0.43307087	1/2
4	3.35	0.000252	0.252	0.02	0.053000	2.08661417	4
5	10.06	0.00014	0.14	0.14	0.038000	1.49606299	1 ^{1/2}
6	1.4	0.000392	0.392	0.02	0.053000	2.08661417	4
7	2.14	0.000182	0.182	0.16	0.031000	1.22047244	1 ^{1/2}
8	17.1	0.000574	0.574	0.02	0.057000	2.24409449	4
9	3.34	0.000138	0.138	0.28	0.028000	1.1023622	1 ^{1/2}
10	9.2	0.000712	0.712	0.02	0.088000	3.46456693	4
11	1.19	0.00016	0.16	0.1	0.029500	1.16141732	1 ^{1/2}
12	12.21	0.000872	0.872	0.04	0.088100	3.46850394	4

A partir de los cálculos que se realizaron utilizando la fórmula de calor sensible, se pudieron determinar las distintas temperaturas resultantes de la mezcla que se iba obteniendo en la unión de cada tramo de tubería. Estos cálculos se observan en la tabla 3 (Anexo E. Excel).

Tabla 3. Tabla de temperaturas.

TRAMO	LONGITUD (mts)	CAUDAL (m ³ /s)	CAUDAL (lps)	TEMPERATURAS °C
1	5.35	0.000107	0.107	62
2	8.86	0.000217	0.217	53
3	3.46	0.000035	0.035	63
4	3.35	0.000252	0.252	55
5	10.06	0.00014	0.14	64
6	1.4	0.000392	0.392	58
7	2.14	0.000182	0.182	69
8	17.1	0.000574	0.574	62
9	3.34	0.000138	0.138	68
10	9.2	0.000712	0.712	63
11	1.19	0.00016	0.16	68
12	12.21	0.000872	0.872	64

6.1 DISEÑO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Como resultado del diseño de la torre de enfriamiento en el programa Aspen Hysys V8.8 se tiene lo siguiente:

En la torre de enfriamiento se aprecia por cada bahía (para este caso sólo una), un haz, 3 ventiladores y por cada haz 42 tubos, que están dispuestos en tres filas, cada fila con 14 tubos. (Anexo G.).

El paso del fluido consiste en el número de veces que el líquido dentro del tubo tiene contacto con el aire, para este caso 7 veces. Este dato determina la velocidad con la cual se mueve el flujo dentro de los tubos.

El agua al salir de los equipos posee una temperatura de 64 °C; sin embargo en el trayecto hacia el pozo (12,21 m) cede calor (8292, 33 W), llegando al pozo con una temperatura de 62 °C; no obstante en el pozo nuevamente se pierde calor

(107932,5 W) y el agua alcanza 53 °C, finalmente en los 4 metros de tubería hasta la torre el líquido cede 1499,88 W y el agua ingresa a ésta con 52 °C.

El fluido al salir de la torre posee una temperatura de 30°C, sin embargo en la continuación de su trayecto hacia el tanque cede calor al ambiente, por consiguiente la temperatura del líquido en el momento de recircularse es alrededor de 23 °C, la cual corresponde a la temperatura ambiente en Bucaramanga. (Anexo F. Excel).

A continuación en las figuras 4, y 5 se puede observar el diseño de la torre de enfriamiento, en perspectivas.

Figura 4. Torre vista frontal.

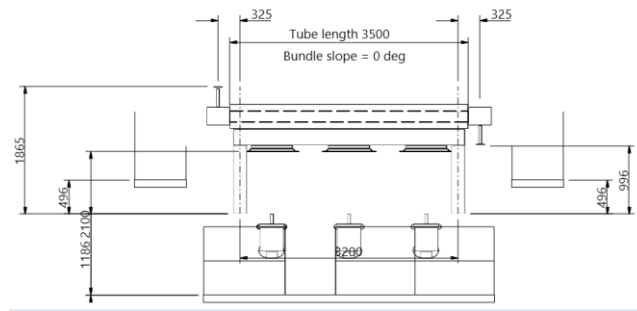
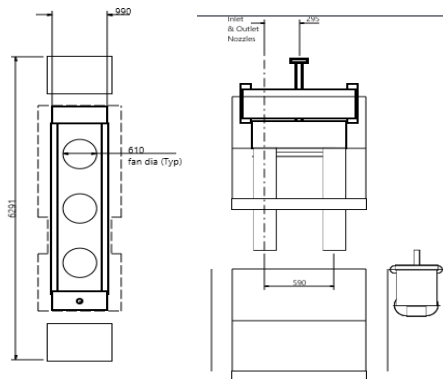


Figura 5. Torre vista superior y vista lateral



6.2 DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL POZO SUBTERRANEO

El volumen de agua que se recoge en cada jornada de trabajo en el laboratorio es de 3139,2 litros por lo tanto se debe diseñar un tanque con una capacidad mayor de almacenamiento, y se propone un tanque cuadrado de dimensiones 1,5 x 1,5 x 1,5 m, con capacidad de almacenamiento de 3375 litros (Anexo H. Excel).

6.3 ASIGNACIÓN DE LA BOMBA

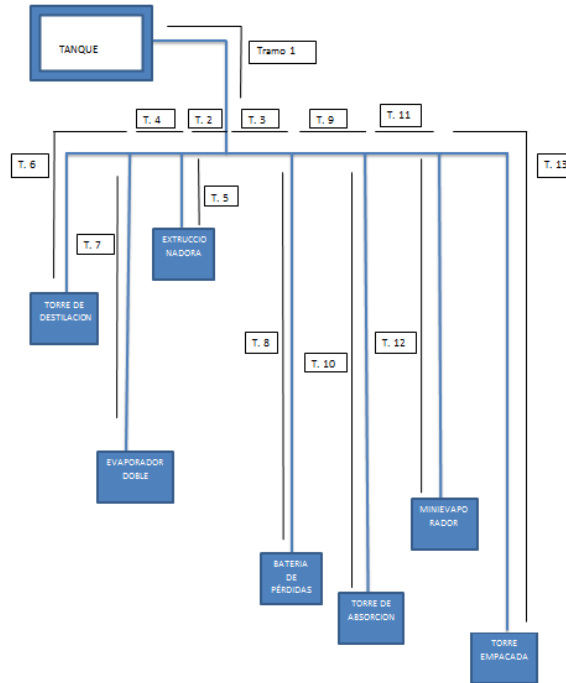
Para éste caso se requiere que la bomba sea capaz de hacer subir un caudal de agua correspondiente a $0,000872\text{m}^3/\text{s}$ (equivalente a 52 L/min) hasta una altura de 4 metros, pero teniendo en cuenta las pérdidas que se producen a lo largo de la tubería, debido a los accesorios y a la succión e impulsión que actúan (Anexo J. Excel). Se determinó que las pérdidas totales del sistema corresponden al 5 % con lo cual se tiene en realidad una altura dinámica total de 4,209 metros.

La bomba centrífuga que se ajusta mejor a nuestro requerimiento es la bomba CP 600, la cual tiene la capacidad de hacer subir un caudal de 52 litros por minuto hasta 15 metros de altura en condiciones óptimas. Por lo general las bombas centrífugas trabajan al 70 % de eficiencia que corresponde en este caso a 10,5 metros. Valor suficiente para nuestro requerimiento, teniendo en cuenta que la torre va al final de la tubería de impulsión de la bomba, por lo tanto esta es la opción más adecuada.

6.4 RESULTADOS ALTERNATIVA 1. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

La red de recirculación diseñada en la sección anterior se dividió por tramos para determinar posteriormente el diámetro y el caudal que va a circular por cada tubería. En la figura 6 se muestra la división por tramos de la red (Anexo K. Excel).

Figura 6. Red de recirculación por tramos.



Los caudales están dados en litros por segundo. Y se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Caudales de llegada a los equipos.

EQUIPO	NUMERO DE TRAMO	VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN (M/S)	DIÁMETRO DE TUBERIA (PLG)	CAUDALES DE LLEGADA (LPS)
TORRE DE DESTILACIÓN	6	1	7/8	0.375
EVAPORADOR DOBLE	7	1	7/8	0.375
EXTRUCCIONADORA	5	1	5/8	0.1875
BATERIA DE PÉRDIDAS	8	1	5/8	0.1875
TORRE DE ABSORCIÓN	10	1	7/8	0.375
MINIEVAPORADOR	12	1	½	0.09375
TORRE EMPACADA	13	1	½	0.09375

El caudal que llega a cada equipo es superior al necesario para su funcionamiento, luego es viable la construcción de esta red, cuya función es llevar el agua del tanque a los equipos. De esta manera se concluye el diseño de la alternativa 1 la cual consiste en el proceso de recirculación.

6.5 RESULTADOS ALTERNATIVA 2 SISTEMA DE REUTILIZACIÓN

La red de reutilización diseñada en la sección anterior se dividió por tramos para determinar posteriormente el diámetro y el caudal que se debe entregar a cada tubería. (Anexo M. Excel).

La tabla 5 corresponde a los valores de caudal entregados por el tanque a cada uno de los elementos requeridos en la alternativa 2

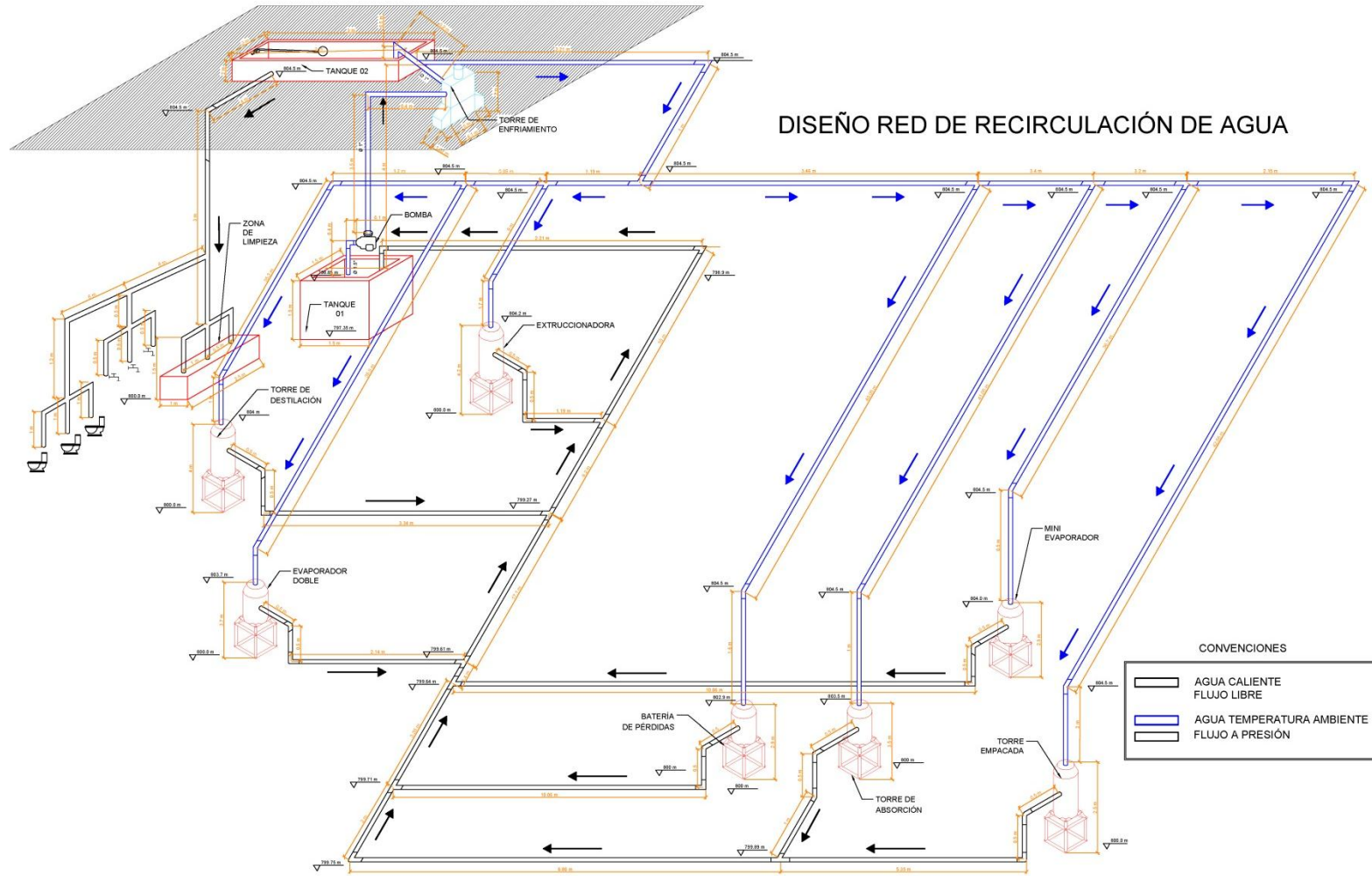
Tabla 5. Caudal entregado

ELEMENTO	TRAMOS	VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN (M/S)	DIÁMETRO DE TUBERIA (PLG)	CAUDAL DE LLEGADA (LPS)
LLAVES	4, 5, 6	1	1 "	0.375
LAVAMANOS	4, 5, 6	1	1 "	0.375
BAÑOS	5, 6, 7	1	1 "	0.187

6.6 DISEÑO FINAL

A continuación se presenta en la figura 8 el diseño completo de la red hidráulica (Anexo Q AutoCAD).

Figura 7. Diseño final.



6.7 COSTOS

6.7.1 Costos generales. El procedimiento detallado de los costos de la construcción de cada una de las alternativas se encuentra ubicado en los anexos, en la sección “costos detallados”.

6.7.1.1 Costos generales de la alternativa 1. En la tabla 6, se muestra los costos generales planteados de la alternativa 1, según las cotizaciones realizadas previamente (Anexo L).

Tabla 6. Costos generales de la alternativa 1.

Descripción	Costo \$
Cotización total	4012200
mano de obra	3000000
Total	7012200

6.7.1.2 Costos generales de la alternativa 2. En la tabla 7, se muestra los costos generales planteados de la alternativa 2, según las cotizaciones realizadas previamente (Anexo N).

Tabla 7. Costos generales de la alternativa 2.

descripción	Costo \$
Cotización total	3209900
mano de obra	2400000
Total	5609900

6.7.1.3 Costos de la torre de enfriamiento. El precio de la torre de enfriamiento es \$6.750.000 COP más IVA (16%), equivalente a \$7.830.000 COP. La cotización fue realizada por el ingeniero Hernán Romero, perteneciente a la empresa COMTECOL SAS ubicada en Bogotá D.C. Tabla 8.

Tabla 8. Costos de la torre de enfriamiento.

PRECIO DE LA TORRE EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER / BUCARAMANGA	\$COL. 6.750.000 +IVA
---	-----------------------

Fuente: COMTECOL SAS ubicada en Bogotá D.C.

6.7.1.4 Costos de agua por m³. Por medio del recibo del acueducto metropolitano de Bucaramanga, correspondiente al consumo del mes de diciembre de 2015 por parte de la universidad Industrial de Santander, en el cual está determinado el precio por metro cubico de agua, se pudo calcular el costo mensual de agua que se ahorra con la instalación de esta red, Tabla 9.

Tabla 9. Costos de agua por m³.

Periodo Facturado	Precio por m3 de agua (\$)	Cantidad de metros cúbicos por mes	Costo mensual (\$)
Diciembre de 2015	1495	125.6	187.772

6.7.1.5 Costo de energía eléctrica (kW/mes). Mediante el gasto promedio de energía que consumen diariamente los equipos que se planean instalar con la red (Bomba centrífuga y torre de enfriamiento), se hace una proyección a fin de determinar el costo mensual en cuanto al pago de servicio de luz correspondiente al funcionamiento de éstos en el laboratorio.

Tabla 10. Costos de energía eléctrica (kW/mes).

Periodo	Precio kW (\$)	Cantidad de kW/mes	Costo mensual (\$)
Diciembre de 2015	499.91	44	22.000

6.7.1.6 Costos de mantenimiento. El mantenimiento respectivo para este sistema corresponde al trabajo realizado por un operario técnico, el cual se realiza

una vez por semana mediante una revisión que tarda 2 horas. Teniendo en cuenta que el técnico devenga un salario de \$ 900.000. El costo por revisión Equivale a \$10.000 y el costo de mantenimiento mensual corresponde a \$ 40.000.

7. CONCLUSIONES

- La implementación del diseño de un sistema hidráulico para recuperación de aguas en el laboratorio de procesos de Ingeniería química, le ahorra a la Universidad Industrial de Santander 187.772 pesos mensuales inicialmente, lo que equivale a 2.253.264 pesos anuales, con una inversión de 14.842.200 pesos en la alternativa 1, la cual consiste en recircular el agua nuevamente a los equipos y 13.439.900 pesos con la alternativa 2, que consiste en reutilizar el agua para labores de limpieza.
- De acuerdo a los costos calculados, se estima que la inversión realizada se puede recuperar al cabo de 8,5 años implementando la alternativa 1, y 8 años implementando la alternativa 2. A partir del año 2024 la universidad ahorrará 291.296 pesos mensuales, teniendo en cuenta los costos y la proyección de éstos a futuro (Anexo O. Excel).
- Con la implementación de cualquiera de estas alternativas de diseño, la Universidad Industrial de Santander contribuye a disminuir el gasto excesivo del recurso hídrico y a su vez previene una posible demanda ambiental por desperdicio de agua.

8. RECOMENDACIONES

- Considerando las dos alternativas de diseño, se recomienda implementar la opción 1, la cual consiste en recircular el agua nuevamente a los equipos. Aunque ésta posee un costo adicional de 1.402.300 pesos, permite una ejecución más eficiente del recurso.
- Una vez instalada la red de recuperación de aguas en el laboratorio de procesos de ingeniería química, se recomienda implementar este sistema en otros laboratorios de planta física, con el fin de establecer un ahorro significativo para la Universidad Industrial de Santander.

BIBLIOGRAFÍA

CALZADA DIFFOR, F. J., & Martínez del Pozo, J. (s.f.). Instituto de Investigación Tecnológica iIT. [Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/50a37344c2722.pdf>]

CALZADA, Francisco Javier D., J. L. (s.f.). itt.upcomillas.es. [Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/50a37344c2722.pdf>]

CHOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. Bogotá, D.C: McGraw-Hill, Interamericana S.A, 1994. 667 p

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA. (s.f.). [Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/flujo-fluidos-tuberias2.shtml>]

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA. (s.f.). [Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/lhidraulica/guias/bombas/Bombas.html>]

GANTIVA ARIAS, Diego. Perforación de Pozos. Bogotá, D.C: Escuela de ingenieros Militares 2ª Edición, 1995. 320 p

HIDRÁULICA-DE-TUBERÍAS-03-Y-07. (s.f.). [Disponible en: <http://hidraulica-de-tuberias-03-y-07.webnode.es/news/sistemas-de-tuberias-en-paralelo/>]

LAMELA HERNÁNDEZ, Verónica. Cuba Educa. [Disponible en: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2426.pdf>] [Citado Abril de 2016]

LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, 2ª Edición. Bogotá, D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. 546 p

MAIDMENT, David. Mays, Larry. Ven Te Chow. Hidrología aplicada. Bogotá, D.C: McGraw-Hill, 1994. 583 p

NOVAC, P. MOFFAT, A. NALLURI, C. Estructuras Hidráulicas. Bogotá, D.C: McGraw-Hill, Interamericana S.A, 2001. 599 p

PAULUS, KOHLER, LINSLEY. Hidrología para ingenieros, 2ª Edición. Bogotá, D.C: McGraw-Hill, Interamericana S.A, 1977. 386 p

PEDROLLO S.A. [Disponible en:
http://www.pedrollo.com/public/allegati/CP%200.25-2.2%20kW_ES_60Hz.pdf]

PÉREZ CARMONA, Rafael. Diseño y construcción de alcantarillados sanitarios. Bogotá D.C: EcoeEdiciones, 2013. 494 p

RIGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales, Aguas de proceso y residuales. México, D.F: Alfaomega grupo editor, S.A, 1999.157 p

SALDARRIAGA V, Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá, D.C: McGraw-Hill, Interamericana S.A, 1998. 564 p.

SOTELO AVILA, Gilberto. Hidráulica general México, D.F: Editorial Limusa, S.A Primera Edición. Grupo Noriega Editores, 1979. 561 p.

TEBBUT, T. H. Fundamentos de control de la calidad del agua. México, D.F: Editorial Limusa, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores, 1998. 239 p

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, F. R. (s.f.). Universidad Tecnológica Nacional. [Disponible en:

http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_anio/integracion3/Torres_de_enfriamiento.pdf]

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. Sistemas de Intercambio de Calor. [Disponible en:

https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2011/447/42501/1/Documento15.pdf] [Citado Abril de 2016]

ANEXOS

Anexo A. Tuberías en Serie

“las tuberías en serie son dos o más tuberías diferentes colocadas una a continuación de la otra, las cuales pueden diferenciarse en los diámetros o en las rugosidades (es decir, estar hechas de materiales diferentes) o bien en ambas características físicas”⁵.

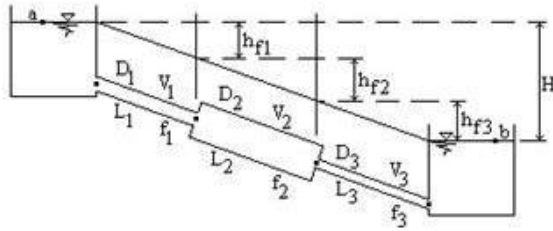


Figura 8. Sistema de tuberías en serie.

Fuente: Escuela de Ingeniería de Antioquia. fluidos.eia.edu.co

⁵ Saldarriaga V., J. (1998). *Hidráulica de Tuberías*. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.

Anexo B. Tuberías en Paralelo

“las tuberías en paralelo son un conjunto de tuberías que parten de un nodo común y llegan a otro nodo también común. En estos nodos, los caudales que pasan por cada una de las tuberías se unen. Esto quiere decir que para cada una de las tuberías en paralelo aguas arriba los caudales deben estar unidos para luego dividirse en el nodo inicial y por último volver a unirse en el nodo final; aguas debajo de éste nuevamente debe existir un caudal único⁶.

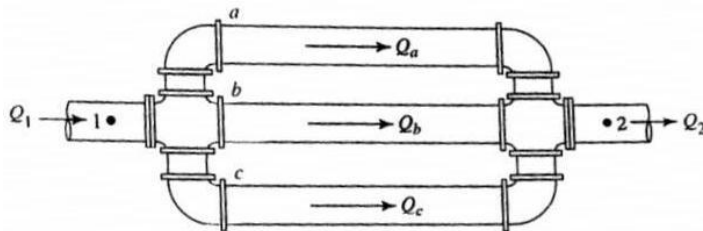


Figura 9. Sistema de tuberías en paralelo.

Fuente: *Hidráulica de tuberías.webnode.es*

⁶ *Ibíd.*

Anexo C. Curvas de la Bomba

Las curvas de caudal contra cabeza total y contra eficiencia son suministradas por los fabricantes de las bombas. La primera de éstas (Q vs Hm) se conoce como la curva de la bomba.

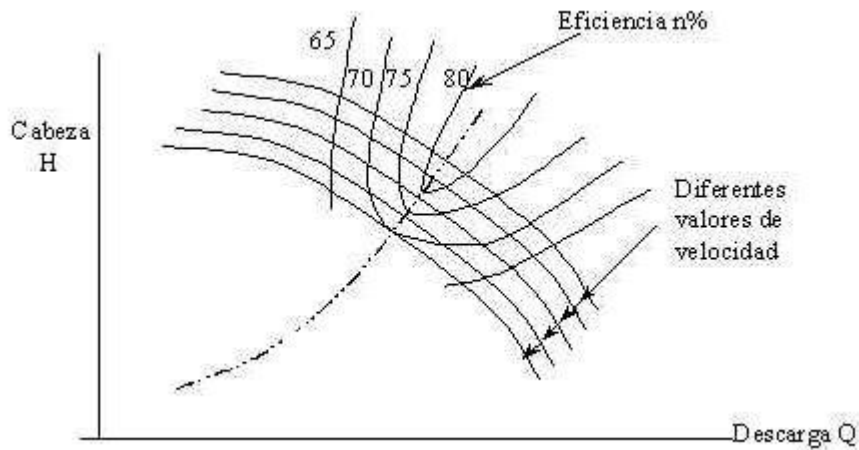


Figura 10. Curvas de Isoeficiencia.

Fuente: Escuela de Ingeniería de Antioquia. fluidos.eia.edu.co

“Una vez construidas las curvas de la bomba y la del sistema es fácil encontrar el punto de operación de ésta, es decir, el caudal que está siendo enviado y la cabeza suministrada por la bomba. Dicho punto de operación es el corte de las dos curvas anteriores”⁷.

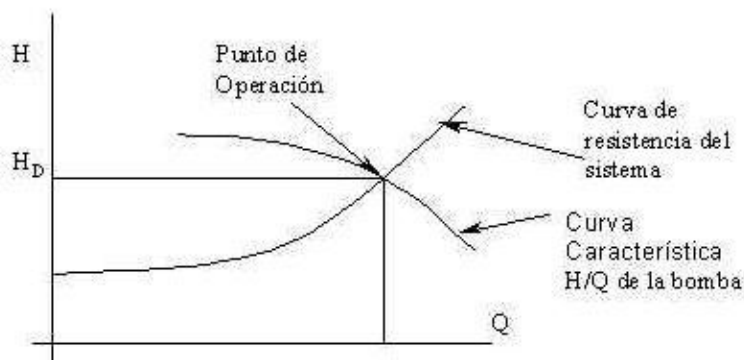


Figura 11. Punto de operación de una bomba.

Fuente: Escuela de Ingeniería de Antioquia. fluidos.eia.edu.co

⁷ Ibíd.

Anexo D. Cálculo de diámetros utilizando la ecuación de Manning

CÁLCULO DE DIÁMETROS UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE MANNING										
Teniendo en cuenta que los caudales que salen de las maquinas van a ir a flujo libre a través de las diferentes tuberías, se procede a calcular los diámetros mediante la ecuación de Manning.										
Para que haya flujo libre en una tubería, es necesario que la relación Y/D sea inferior a 1,										
Donde Y representa la altura del agua dentro de la tubería y D representa el diámetro.										
se recomienda que la relación de Y/D sea 0,85										
FÓRMULAS PARA TUBERÍAS A FUJO DE SECCIÓN CIRCULAR										
V= velocidad del fluido										
R = radio hidráulico										
Sf = pendiente de la línea de energía										
n= coeficiente de rugosidad de Manning (depende del material : PVC = 0,009)										
Θ = Angulo que forma la superficie libre con la tubería (en radianes)										
A = area que ocupa el fluido dentro de la tubería										
D = diámetro de la tubería										
$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * Sf^{\frac{1}{2}}$										
$\Theta = 2 * \cos^{-1}(1-2*(Y/D))$										
$A = \frac{D^2}{8} * (\Theta - \text{sen}\Theta)$										
n =	0.009									
TRAMO 1										
L1 =	5.35 m			Q' =	0.000107 m ³ /s			Caudal T1 =	0.107 lps	
Q1 =	0.000107 m ³ /s			D1 =	0.019000 m					
Hf1 =	0.1 m			D1 =	0.748031 plg			comercialmente tomamos el D1 = 3/4 plg		
Sf1 =	0.01869159 m/m									
Y/D =	0.85									
A =	0.00025686 m ²									
Θ =	4.69238765 rad									
R =	0.00576208 m									
V =	0.48823985 m/s									
Q1 =	0.00012541 m ³ /s									
TRAMO 2										
L2 =	8.86 m			Q' =	0.00011 m ³ /s			Caudal T2 =	0.217 lps	
Q2 =	0.000217 m ³ /s			D2 =	0.023000 m					
Hf2 =	0.2 m			D2 =	0.905512 plg			comercialmente tomamos el D2 = 1 plg		
Sf2 =	0.02257336 m/m									
Y/D =	0.85									
A =	0.0003764 m ²									
Θ =	4.69238765 rad									
R =	0.00697514 m									
V =	0.60943081 m/s									
Q1 =	0.00022939 m ³ /s									

TRAMO 7									
L7 =	2.14	m							
Q7 =	0.000182	m ³ /s						Caudal T7 =	0.182
Hf7 =	0.16	m							
Sf4 =	0.07476636			D7 =	0.031000	m			
Y/D =	0.85			D7 =	1.220472	plg	comercialmente tomamos el D7 =	1 ¹ / ₂	plg
A =	0.00068377								
θ =	4.69238765								
R =	0.00940128								
V =	1.35332451								
Q1 =	0.00018313								
TRAMO 8									
L8 =	17.1	m							
Q8 =	0.000574	m ³ /s						Caudal T8 =	0.574
Hf8 =	0.02	m							
Sf4 =	0.00116959			D8 =	0.057000	m			
Y/D =	0.85			D8 =	2.244094	plg	comercialmente tomamos el D8 =	4	plg
A =	7.7441E-08								
θ =	0.10460822								
R =	2.5975E-05								
V =	0.00333283								
Q1 =	0.000575								
TRAMO 9									
L9 =	3.34	m							
Q9 =	0.000138	m ³ /s						Caudal T9 =	0.138
Hf9 =	0.28	m							
Sf4 =	0.08383234			D9 =	0.028000	m			
Y/D =	0.85			D9 =	1.102362	plg	comercialmente tomamos el D9 =	1 ¹ / ₂	plg
A =	0.00055783								
θ =	4.69238765								
R =	0.00849148								
V =	1.33901523								
Q1 =	0.00014289								
TRAMO 10									
L10 =	9.2	m							
Q10 =	0.000712	m ³ /s						Caudal T10 =	0.712
Hf10 =	0.02	m							
Sf4 =	0.00217391			D10 =	0.088000	m			
Y/D =	0.85			D10 =	3.464567	plg	comercialmente tomamos el D10 =	4	plg
A =	0.00551004								
θ =	4.69238765								
R =	0.02668751								
V =	0.46264788								
Q1 =	0.0007143								

TRAMO 11

L11 =	1.19	m
Q11 =	0.00016	m ³ /s
Hf11 =	0.1	m
Sf4 =	0.08403361	
Y/D =	0.85	
A =	0.0006192	
Θ =	4.69238765	
R =	0.00894638	
V =	1.38808345	
Q1 =	0.0001673	

D11 =	0.029500	m
D11 =	1.161417	plg

Caudal T11 = 0.16 lps

comercialmente tomamos el D11 = 1¹/₂ plg

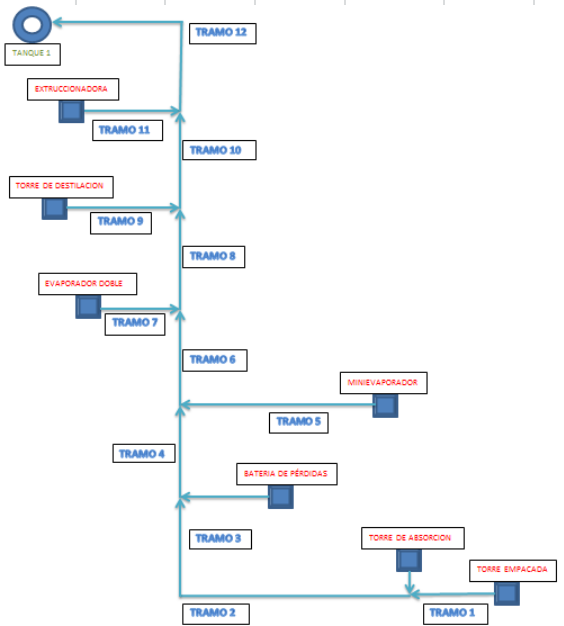
TRAMO 12

L12 =	12.21	m
Q12 =	0.000872	m ³ /s
Hf12 =	0.04	m
Sf4 =	0.003276	
Y/D =	0.85	
A =	0.0052257	
Θ =	4.69238765	
R =	0.02671783	
V =	0.56836913	
Q1 =	0.00087985	

D12 =	0.088100	m
D12 =	3.468504	plg

Caudal T12 = 0.872 lps

comercialmente tomamos el D12 = 4 plg



Anexo E. Cálculo de temperaturas.

CÁLCULO DE TEMPERATURAS			
TRAMO 1			
Caudal T1 =	0.107	lps	
Agua procedente de la torre empacada			
Temp tramo 1 =	62	°C	
TRAMO 2			
Caudal T2 =	0.217	lps	
Unión de aguas de la torre empacada y la torre de absorción			
La densidad aproximada del agua es de 1kg/L. Con esto obtenemos las masas (m) de agua que se mezclan por segundo			
1 kg/L = m1/0.107 L	→	m1 = 0.107	kg Temp T1 = 62 °C
1 kg/L = m1/0.217 L	→	m2 = 0.11	kg Temp T2 = 45 °C
El calor específico del agua es de 1 (kcal/kg°C) ,y la formula de calor sensible (°Q) que entra o sale de un cuerpo esta dada por:			
$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$			
donde			
m = masa del cuerpo			
cp = calor específico			
ΔT = diferencia de temperatura			
El traspaso de calor ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hasta el de menor temperatura, hasta que ambos establecen el equilibrio termico, es decir, alcanzan la misma temperatura. En este caso, como los 2 flujos de agua quedaran mezclados, la temperatura de equilibrio sera la temperatura de la mezcla y el caudal resultante sera la suma de los caudales que se unen. Por ley de conservacion de la energia, el calor que sale del agua a 55°, sera el mismo que entra al agua de 45°.			
Igualando y sustituyendo las masas en la ecuacion anterior obtengo:			
$m_1 \cdot c_p \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot c_p \cdot \Delta T_2$			
$0.107 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (55 - T_f) = 0.110 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (T_f - 45)$			
$0.107 \cdot (55 - T_f) = 0.110 \cdot (T_f - 45)$			
$5.885 - 0.107 T_f = 0.110 T_f - 4.95$			
$5.885 + 4.95 = (0.110 + 0.107) \cdot T_f$			
$T_f = 53.3824885 \text{ }^\circ\text{C}$			
Temp tramo 2 =	53	°C	

TRAMO 3			
Caudal T3 =	0.035	Ips	
Agua procedente de la bateria de perdidas			
Temp tramo 3 =	63	°C	
TRAMO 4			
Caudal T4 =	0.252	Ips	
Union de aguas de los tramos 2 y 3			
1 kg/L = m2/0.217 L	→	m2 = 0.217	kg
		Temp T2 =	53 °C
1 kg/L = m3/0.035 L	→	m3 = 0.035	kg
		Temp T3 =	63 °C
$m2 \cdot cp \cdot \Delta T2 = m3 \cdot cp \cdot \Delta T3$ $0.217 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (50 - Tf) = 0.035 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (Tf - 41)$ $0.217 \cdot (50 - Tf) = 0.035 \cdot (Tf - 41)$ $10.85 - 0.217 Tf = 0.035 Tf - 1.435$ $10.85 + 1.435 = (0.217 + 0.035) \cdot Tf$ $Tf = 54.718254 \text{ }^\circ\text{C}$			
Temp tramo 4 =	55	°C	
TRAMO 5			
Caudal T5 =	0.14	Ips	
Agua procedente del minievaporador			
Temp tramo 5 =	64	°C	
TRAMO 6			
Caudal T6 =	0.392	Ips	
Union de aguas de los tramos 4 y 5			
1 kg/L = m4/0.252 L	→	m4 = 0.252	kg
		Temp T4 =	55 °C
1 kg/L = m5/0.14 L	→	m5 = 0.14	kg
		Temp T5 =	64 °C
$m4 \cdot cp \cdot \Delta T4 = m5 \cdot cp \cdot \Delta T5$ $0.252 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (49 - Tf) = 0.14 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (Tf - 35)$ $0.252 \cdot (49 - Tf) = 0.14 \cdot (Tf - 35)$ $12.348 - 0.252 Tf = 0.14 Tf - 4.9$ $12.348 + 4.9 = (0.252 + 0.14) \cdot Tf$ $Tf = 58.0331633 \text{ }^\circ\text{C}$			
Temp tramo 6 =	58	°C	

TRAMO 7			
Caudal T7 =	0.182	Ips	
Agua procedente del evaporador doble			
Temp tramo 7 =	69	°C	
TRAMO 8			
Caudal T8 =	0.574	Ips	
Union de aguas de los tramos 6 y 7			
1 kg/L = m6/0.392 L	→	m6 = 0.392	kg
		Temp T6 =	58 °C
1 kg/L = m7/0.182 L	→	m7 = 0.182	kg
		Temp T7 =	69 °C
$m7 \cdot c_p \cdot \Delta T7 = m6 \cdot c_p \cdot \Delta T6$ $0.182 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (61 - T_f) = 0.392 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (T_f - 44)$ $0.182 \cdot (61 - T_f) = 0.392 \cdot (T_f - 44)$ $11.102 - 0.182 T_f = 0.392 T_f - 17.248$ $11.102 + 17.248 = (0.182 + 0.392) \cdot T_f$ $T_f = 61.510453 \text{ }^\circ\text{C}$			
Temp tramo 8 =	62	°C	
TRAMO 9			
Caudal T9 =	0.138	Ips	
Agua procedente de la torre de destilacion			
Temp tramo 9 =	68	°C	

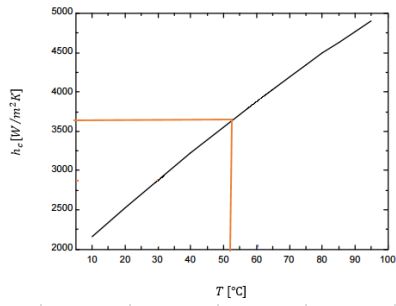
TRAMO 10									
Caudal T10 =	0.712	Ips							
Unión de aguas de los tramos 8 y 9									
1 kg/L = m8/0.574 L	→	m8 =	0.574	kg	Temp T8 =	62	°C		
1 kg/L = m9/0.138 L	→	m9 =	0.138	kg	Temp T9 =	68	°C		
$m9 \cdot cp \cdot \Delta T9 = m8 \cdot cp \cdot \Delta T8$ $0.138 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (54 - T_f) = 0.574 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (T_f - 49)$ $0.138 \cdot (54 - T_f) = 0.574 \cdot (T_f - 49)$ $7.452 - 0.138 T_f = 0.574 T_f - 28.126$ $7.452 + 28.126 = (0.574 + 0.138) \cdot T_f$ $T_f = 62.7682584 \text{ }^\circ\text{C}$									
Temp tramo 10	63	°C							
TRAMO 11									
Caudal T11 =	0.16	Ips							
Agua procedente de la extruccionadora									
Temp tramo 11	68	°C							
TRAMO 12									
Caudal T12 =	0.872	Ips							
Unión de aguas de los tramos 10 y 11									
1 kg/L = m10/0.712 L	→	m10 =	0.712	kg	Temp T 10 =	63	°C		
1 kg/L = m11/0.16 L	→	m11 =	0.16	kg	Temp T11 =	68	°C		
$m11 \cdot cp \cdot \Delta T11 = m10 \cdot cp \cdot \Delta T10$ $0.16 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (58 - T_f) = 0.712 \text{ kg} \cdot 1 \text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \cdot (T_f - 50)$ $0.16 \cdot (58 - T_f) = 0.712 \cdot (T_f - 50)$ $9.28 - 0.16 T_f = 0.712 T_f - 35.6$ $9.28 + 35.6 = (0.712 + 0.16) \cdot T_f$ $T_f = 63.728211 \text{ }^\circ\text{C}$									
Temp tramo 12	64	°C							

Anexo F. cálculo de pérdidas de calor

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CALOR																																													
Tubería antes del pozo:																																													
	<table border="1"> <tr><td>T_1</td><td>Temperatura interna del tubo</td><td>64</td><td>°C</td></tr> <tr><td>k</td><td>Conductividad térmica del PVC</td><td>0.17</td><td>W/mK</td></tr> <tr><td>r_1</td><td>Radio interior</td><td>0.0525</td><td>m</td></tr> <tr><td>r_2</td><td>Radio exterior</td><td>0.05715</td><td>m</td></tr> <tr><td>L</td><td>Longitud</td><td>12.21</td><td>m</td></tr> <tr><td>h</td><td>Coefficiente de transmisión de calor</td><td>4005.64</td><td>W/m²K</td></tr> <tr><td>$T_{exterior}$</td><td>Temperatura del aire</td><td>23</td><td>°C</td></tr> <tr><td>ε</td><td>Emisividad del PVC</td><td>0.94</td><td></td></tr> <tr><td>ρ</td><td>Densidad del agua a 60 °C</td><td>983.13</td><td>kg/m³</td></tr> <tr><td>C_p</td><td>Calor específico del agua</td><td>4185</td><td>J/K.kg</td></tr> <tr><td>q</td><td>Caudal de agua</td><td>0.000872</td><td>m³/s</td></tr> </table>	T_1	Temperatura interna del tubo	64	°C	k	Conductividad térmica del PVC	0.17	W/mK	r_1	Radio interior	0.0525	m	r_2	Radio exterior	0.05715	m	L	Longitud	12.21	m	h	Coefficiente de transmisión de calor	4005.64	W/m²K	$T_{exterior}$	Temperatura del aire	23	°C	ε	Emisividad del PVC	0.94		ρ	Densidad del agua a 60 °C	983.13	kg/m³	C_p	Calor específico del agua	4185	J/K.kg	q	Caudal de agua	0.000872	m³/s
T_1	Temperatura interna del tubo	64	°C																																										
k	Conductividad térmica del PVC	0.17	W/mK																																										
r_1	Radio interior	0.0525	m																																										
r_2	Radio exterior	0.05715	m																																										
L	Longitud	12.21	m																																										
h	Coefficiente de transmisión de calor	4005.64	W/m²K																																										
$T_{exterior}$	Temperatura del aire	23	°C																																										
ε	Emisividad del PVC	0.94																																											
ρ	Densidad del agua a 60 °C	983.13	kg/m³																																										
C_p	Calor específico del agua	4185	J/K.kg																																										
q	Caudal de agua	0.000872	m³/s																																										
	$Q = \frac{2\pi L(T_1 - T_{exterior})}{\frac{1}{k} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{hr_2}}$ Ecuación 3																																												
	$Q = 8292.339923$ [W]																																												
	Calor cedido por el agua al aire																																												
$h_c = 4000$ [W/m²K] $h_r = 6\varepsilon$ $h_r = 5,64$ [W/m²K] $h = h_c + h_r$ $h = 4005,64$ [W/m²K]	BALANCE DE ENERGÍA $Q = mC_p\Delta T$ $Q = \rho q C_p \Delta T$																																												
	$T = 334.6887113$ [K]																																												
Temperatura llegada del agua al pozo	$T = 61.68871128$ [°C]																																												

PÉRDIDA DE CALOR EN EL POZO																													
$Q = UA(T_c - T_f)$	<table border="1"> <tr><td>T_c</td><td>Temperatura del agua en el pozo</td><td>62</td><td>°C</td></tr> <tr><td>T_f</td><td>Temperatura del aire</td><td>23</td><td>°C</td></tr> <tr><td>U</td><td>Coef. global de transferencia de calor</td><td>1230</td><td>W/m²K</td></tr> <tr><td>A</td><td>Área del pozo</td><td>2.25</td><td>m²</td></tr> <tr><td>ρ</td><td>Densidad del agua a 60 °C</td><td>983.13</td><td>kg/m³</td></tr> <tr><td>C_p</td><td>Calor específico del agua</td><td>4185</td><td>J/K.kg</td></tr> <tr><td>q</td><td>Caudal de agua</td><td>0.000872</td><td>m³/s</td></tr> </table>	T_c	Temperatura del agua en el pozo	62	°C	T_f	Temperatura del aire	23	°C	U	Coef. global de transferencia de calor	1230	W/m²K	A	Área del pozo	2.25	m²	ρ	Densidad del agua a 60 °C	983.13	kg/m³	C_p	Calor específico del agua	4185	J/K.kg	q	Caudal de agua	0.000872	m³/s
T_c	Temperatura del agua en el pozo	62	°C																										
T_f	Temperatura del aire	23	°C																										
U	Coef. global de transferencia de calor	1230	W/m²K																										
A	Área del pozo	2.25	m²																										
ρ	Densidad del agua a 60 °C	983.13	kg/m³																										
C_p	Calor específico del agua	4185	J/K.kg																										
q	Caudal de agua	0.000872	m³/s																										
$Q = 107932.5$ W																													
$Q = \rho q C_p \Delta T$																													
$T = 326.083568$ K																													
$T = 53.0835678$ °C	→ Temperatura salida del agua del pozo																												

Tubería después del pozo:



T_1	Temperatura interna del tubo	53	°C
k	Conductividad térmica del PVC	0.17	W/mK
r_1	Radio interior	0.0525	m
r_2	Radio exterior	0.05715	m
L	Longitud	4	m
h	Coefficiente de transmisión de calor	3630.64	W/m²K
$T_{exterior}$	Temperatura del aire	23	°C
ϵ	Emisividad del PVC	0.94	
ρ	Densidad del agua a 50 °C	988.02	kg/m³
C_p	Calor específico del agua a 50 °C	4181	J/K.kg
q	Caudal de agua	0.000872	m³/s

$$h_c = 3625 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$h_r = 6\epsilon$$

$$h_r = 5,64 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$h = h_c + h_r$$

$$h = 3630,64 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Temperatura de salida de la tubería y de entrada a la torre

$$Q = \frac{2\pi L(T_1 - T_{exterior})}{\frac{1}{k} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{hr_2}} \text{ Ecuación 3}$$

$$Q = 1499.888967 \text{ [W]}$$

$$Q = q\rho C_p \Delta T$$

$$T = \frac{325.5836134}{K}$$

$$T = \frac{52.58361342}{°C}$$

Anexo G. Sección calor

Tabla 11 Resumen especificaciones de diseño de la torre de enfriamiento

Elementos	Medidas
Bahías	1
Ancho	1,02 [m]
Altura	0,1599 [m]
Longitud	4,1 [m]
Haz	1
Ancho	0,87 [m]
Área	2,8 [m ²]
Ventiladores	3
Diámetro	0,6096 [m]
Diámetro aleta	57,15 [mm]
Espesor aleta	0,28 [mm]
Filas de tubos	3
Número de tubos por fila	14
Tubos	42
Diámetro interno	22,1 [mm]
Diámetro externo	25,4 [mm]
Longitud	3,5 [m]
Espesor	1,65 [mm]

Anexo H. Cálculo del volumen de agua que llega al pozo subterráneo.

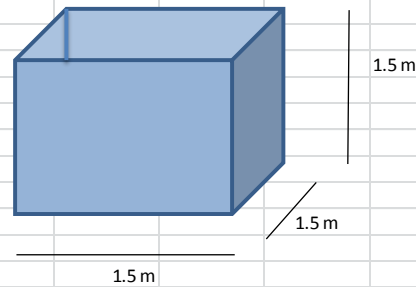
CALCULO DEL VOLUMEN DE AGUA QUE LLEGA AL POZO SUBTERRANEO

Las maquinas del laboratorio son utilizadas para la realizacion de las practicas por parte de los estudiantes de quimica pura y los estudiantes de ingenieria quimica. El laboratorio es utilizado de lunes a viernes, en la mañana (1 hora) y en la tarde (1 hora), para un total de 2 horas por dia, en las cuales trabajan en grupos de 3 o 4 estudiantes por practica y se utilizan todas las maquinas del laboratorio en cada jornada.

El caudal total calculado anteriormente $Q = 0,872$ Ips

CAUDAL LPS	CAUDAL m ³ /s	TIEMPO (HORAS)	TIEMPO (SEG)	VOLUMEN DIARIO (m ³)	VOLUMEN SEMANAL (m ³)	VOLUMEN MENSUAL (m ³)
0.872	0.000872	2	7200	6.2784	31.392	125.568

El volumen de agua que se recoje en cada jornada de trabajo en el laboratorio es de 3139,2 litros por lo tanto se debe diseñar un tanque con una capacidad mayor de almacenamiento, y se propone un tanque cuadrado de dimensiones 1,5 x 1,5 x 1,5 m, con capacidad de almacenamiento de 3375 litros

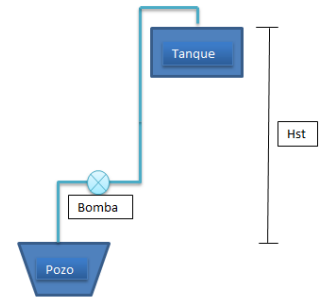


Capacidad de almacenamiento

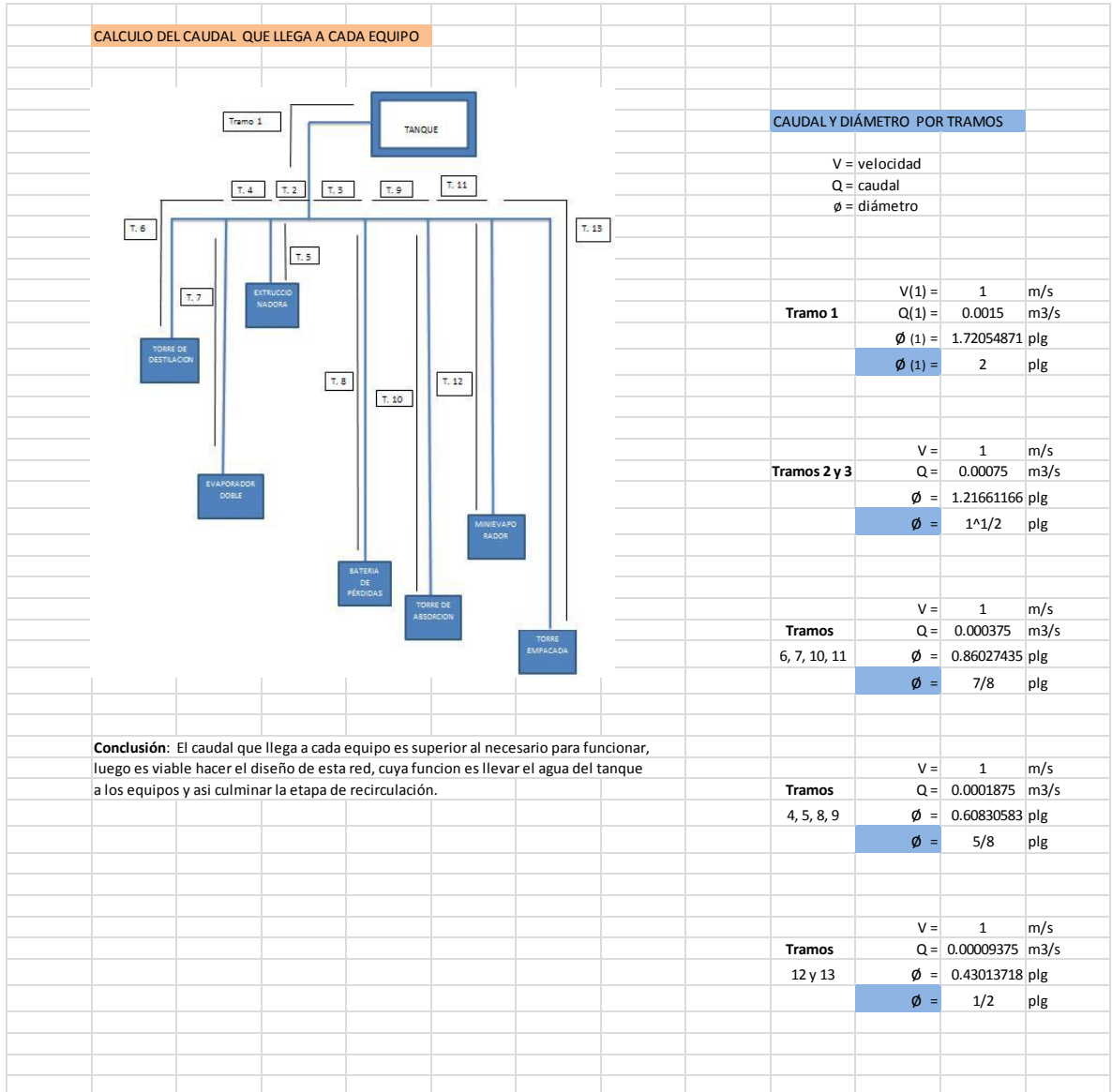
$$\text{Vol} = 3375 \text{ It}$$

Anexo J. Determinación de la carga de bombeo o altura dinámica total (Hdt) para la bomba y cálculo de pérdidas.

DETERMINACION DE LA CARGA DE BOMBEO O ALTURA DINAMICA TOTAL (Hdt) PARA LA BOMBA 1					
De acuerdo al catalogo de electrobombas centrifugas se tiene que la bomba CP600 entrega un caudal de 52 litros por minuto (equivalente a 0,000872 metros cubicos por segundo) a una altura de 15 metros. Pero las bombas nunca trabajan a su maxima eficiencia, por lo tanto si se considera una eficiencia del 70%, la bomba entregaria este caudal a una altura de 10,5 metros, el cual es un valor aceptable debido a que se necesita que el agua llegue con velocidad para que se pueda realizar correctamente el proceso de enfriamiento dentro de esta.					
Q = caudal					
Hst = altura estatica					
ϕS = Diámetro de succión					
ϕi = Diámetro de impulsión					
C = Coeficiente de rugosidad del material (pvc)					
v = velocidad (se dimensiona con una V= 1 m/s para calcular el diámetro)					
Hst =	4	m	A =	0.000872	m ³ /s
Q =	0.000872	m ³ /s	$\phi =$	0.03332064	m
V =	1	m/s	$\phi =$	1	plg
C =	120				
El diámetro calculado anteriormente corresponde al diámetro de impulsión					
$\phi i =$	1 plg	luego	$\phi S =$	1.5	plg
Nota : El diámetro de succión es el diámetro comercial siguiente al diámetro de impulsión					
Hfs = perdidas por succión					
Hfi = perdidas por impulsión					
v = velocidad (se dimensiona con una V= 1 m/s para calcular el diámetro)					
$\Sigma (Hf) =$	Hfs + Hfi				
Para calcular las perdidas por succion e impulsion utilizo la formula de Hazen Williams					
Hfs =	0.098	m	long succion =	0.5	m
Hfi =	0.111	m	long impuls =	4.1	m
$\Sigma (Hf) =$	0.209	m	$\Sigma (Hf) =$	5	%
Hdt =	4.209	m			



Anexo K. Alternativa 1



Anexo L. Costos detallados alternativa 1

Tabla 12 Costo Tuberías 1

Diámetro (plg)	Longitud (m)	Cantidad de tramos por (6 metros)	Costo Unitario \$	Costo Neto \$
½	90.36	16	13000	208000
5/8	65.12	11	18000	198000
¾	10.49	2	18000	36000
7/8	124.15	21	24000	504000
1	8.86	2	24000	48000
1½	12.4	3	39000	117000
2	5.5	1	60000	60000
4	38.51	7	225000	1575000
Total				2746000

Tabla 13 Costo Uniones 1

Diámetro (plg)	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo Neto \$
½	3	400	1200
5/8	4	600	2400
¾	3	600	1800
7/8	9	800	7200
1	0	800	0
1½	2	1500	3000
2	6	2500	15000
4	2	26000	52000
Total			82600

Tabla 14 Costo Tees 1

Diámetro (plg)	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo Neto \$
½	3	400	1200
5/8	4	800	3200
¾	3	800	2400
7/8	9	1600	14400
1	0	1600	0
1½	2	5400	10800
2	6	8600	51600
4	2	70000	140000
Total			223600

Tabla 15 Costo Codos 1

Diámetro (plg)	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo Neto \$
½	3	400	1200
5/8	4	600	2400
¾	3	600	1800
7/8	9	1200	10800
1	0	1200	0
1½	2	4000	8000
2	6	6800	40800
4	2	55000	110000
Total			175000

Tabla 16 Costo Bomba y Accesorios 1

Descripción	Costo Neto \$
Electrobomba pedrollo HP 0.5 cpm 600	389000
Suiche Flotador	25000
Flotador Eléctrico	60000
1/4 Soldadura PVC	54000
1/4 Limpiador PVC	26000
Total	554000

Tabla 17 Costos Generales 1

Cotización	Costo \$
Cemento Bulto x 3	81000
Arena x m3	60000
Triturado x m3	90000
Tuberías	2746000
Uniones	82600
Tees	223600
Codos	175000
bomba y accesorios	554000
Total	4012200

Tabla 18 Costo de Mano de Obra 1

Descripción	Costo \$
Instalación de tuberías fase 1	500000
Construcción del pozo	500000
Instalación de la bomba	300000
Instalación flotadores eléctricos y sistema de vacío	900000
Instalación de tuberías fase 2	800000
Total	3000000

Tabla 19 Sumatoria de Costos Alternativa 1

Descripción	Costo \$
Cotización total	4012200
mano de obra	3000000
	7012200

Anexo M. Alternativa 2

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ENTREGA DEL TANQUE (TUBERÍA A PRESIÓN)						
				CAUDAL Y DIÁMETRO POR TRAMOS		
				V = velocidad Q = caudal ϕ = diámetro		
				Tramo 1	V(1) = 1	m/s
					Q(1) = 0.0015	m ³ /s
					ϕ (1) = 1.72054871	plg
					ϕ (1) = 2	plg
				Tramos 2 y 3	V = 1	m/s
					Q = 0.00075	m ³ /s
					ϕ = 1.21661166	plg
					ϕ = 1 ¹ / ₂	plg
Tramos 4 y 5	V = 1	m/s				
	Q = 0.000375	m ³ /s				
	ϕ = 0.86027435	plg				
	ϕ = 1	plg				
Tramos 6 y 7	V = 1	m/s				
	Q = 0.0001875	m ³ /s				
	ϕ = 0.86027435	plg				
	ϕ = 1	plg				

Anexo N. Costos detallados alternativa 2

Tabla 20 Costo Tuberías 2

Diámetro (plg)	Longitud (m)	Cantidad de tramos por (6 metros)	Costo Unitario \$	Costo Neto \$
½	90.36	3	13000	39000
5/8	65.12	1	18000	18000
¾	10.49	2	18000	36000
7/8	124.15	3	24000	72000
1	8.86	2	24000	48000
1 ¹ / ₂	12.4	2	39000	78000
2	5.5	1	60000	60000
4	38.51	7	225000	1575000
Total				1926000

Tabla 21 Costo Uniones 2

Diámetro (plg)	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo Neto \$
½	1	400	400
5/8	2	600	1200
¾	3	600	1800
7/8	5	800	4000
1	0	800	0
1 ¹ / ₂	2	1500	3000
2	5	2500	12500
4	2	26000	52000
Total			74900

Tabla 22 Costo Tees 2

Diámetro (plg)	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo Neto \$
½	3	400	1200
5/8	1	800	800
¾	3	800	2400
7/8	7	1600	11200
1	0	1600	0
1 ¹ / ₂	2	5400	10800
2	6	8600	51600
4	2	70000	140000
Total			218000

Tabla 23 Costo Codos 2

Diámetro (plg)	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo Neto \$
1/2	0	400	0
5/8	2	600	1200
3/4	3	600	1800
7/8	5	1200	6000
1	0	1200	0
1 1/2	2	4000	8000
2	5	6800	34000
4	2	55000	110000
		Total	161000

Tabla 24 Costo Bomba y Accesorios

Descripción	Costo Neto \$
Electrobomba pedrollo HP 0.5 cpm 600	389000
Suiche Flotador	25000
Flotador Eléctrico	60000
1/4 Soldadura PVC	54000
1/4 Limpiador PVC	26000
3 llaves terminales	45000
Total	599000

Tabla 25 Costos Generales 2

Cotización	Costo \$
Cemento Bulto x 3	81000
Arena x m3	60000
Triturado x m3	90000
Tuberías	1926000
Uniones	74900
Tees	218000
Codos	161000
bomba y accesorios	599000
Total	3209900

Tabla 26 Costo de Mano de Obra

Descripción	Costo \$
Instalación de tuberías fase 1	500000
Construcción del pozo	500000
Instalación de la bomba	300000
Instalación flotadores eléctricos y sistema de vacío	900000
Instalación de tuberías fase 2	200000
Total	2400000

Tabla 27 Sumatoria de Costos Alternativa 2

Descripción	Costo \$
Cotización total	3209900
mano de obra	2400000
Total	5609900

Anexo O. Proyección de costos a futuro

PROYECCIÓN \$/m3			
\$/m3 (año 2015) = 1495			
Tasa Incremento = 5%			
AUMENTO EN AÑOS	AÑO ACTUAL	\$/m3	
1	2016	1570	
2	2017	1648	
3	2018	1731	
4	2019	1817	
5	2020	1908	
6	2021	2003	
7	2022	2104	
8	2023	2209	
9	2024	2319	
PROYECCIÓN COSTO DE kW			
\$/ kW (año 2015) = 499.91			
Tasa Incremento = 3%			
Cantidad de kW por mes = 44			
AUMENTO EN AÑOS	AÑO ACTUAL	\$/m3	COSTO ANUAL DE ENERGIA ELECTRICA
1	2016	515	271871.0544
2	2017	530	280027.186
3	2018	546	288428.0016
4	2019	563	297080.8417
5	2020	580	305993.2669
6	2021	597	315173.0649
7	2022	615	324628.2569
8	2023	633	334367.1046
9	2024	652	344398.1177
SALARIO BASE DE PERSONAL TECNICO			
Salario (año 2015) = 900000			
Tasa Incremento = 6%			
AUMENTO EN AÑOS	AÑO ACTUAL	SALARIO	COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO (\$)
1	2016	954000	381,600
2	2017	1011240	404,496
3	2018	1071914.4	428,766
4	2019	1136229.264	454,492
5	2020	1204403.02	481,761
6	2021	1276667.201	510,667
7	2022	1353267.233	541,307
8	2023	1434463.267	573,785
9	2024	1520531.063	608,212

PROYECCIÓN DE AHORRO ANUAL			
AHORRO AGUA X MES =	125.6	METROS CUBICOS	
AÑO	COSTO AGUA (\$)	AHORRO ANUAL (\$)	COSTO MENSUAL AGUA (\$)
2016	2,365,927	1,712,456	197,161
2017	2,484,224	3,512,157	207,019
2018	2,608,435	5,403,397	217,370
2019	2,738,856	7,390,681	228,238
2020	2,875,799	9,478,726	239,650
2021	3,019,589	11,672,476	251,632
2022	3,170,569	13,977,109	264,214
2023	3,329,097	16,398,054	277,425
2024	3,495,552	18,940,995	291,296
PROYECCIÓN DE COSTOS DE LA RED HIDRÁULICA			
\$ alternativa 1 (2015)=	14842200		
\$ alternativa 2 (2015)=	13439900		
Tasa Incremento =	2%		
AUMENTO EN AÑOS	AÑO	PROYECCIÓN ALT 1 \$	PROYECCIÓN ALT 2 \$
1	2016	15139044	13708698
2	2017	15441824.88	13982871.96
3	2018	15750661.38	14262529.4
4	2019	16065674.61	14547779.99
5	2020	16386988.1	14838735.59
6	2021	16714727.86	15135510.3
7	2022	17049022.42	15438220.5
8	2023	17390002.86	15746984.91
9	2024	17737802.92	16061924.61

Anexo P. Recibo

Figura 12. Recibo de agua correspondiente al mes de diciembre de 2015.

CIUDAD METROPOLITANA DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.
 Diagonal 32 No 30A-51 Bucaramanga, N.E. 690 200 162-2
 632020 Fax: 632065 Call Center: 262 # 632000 - www.amb.com.co
 Grandes Contribuyentes Res. 000041 de Enero 30, 2014.
 Promotores de Rentas y CREE Res. 547 de enero 25, 2002 y DR 662 de abril 26, 2013
 Régimen Común - Código CIUJ 3600

amb
 FACTURA DE SERVICIOS PUBLICOS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO

PERIODO FACTURADO DIC/2015 **TOTAL A PAGAR** \$ 15,722,470 **PAGO OPORTUNO** FEB/26/16

SUSPENSIÓN POR MORA **CÓDIGO PARA RECAUDO ELECTRONICO** 1015890

CÓDIGO SUScriptor: 015890 **CÓDIGO RUTA:** 10526-0090-0000

DIRECCIÓN PREDIO: CRA 27 # 8 **DIRECCIÓN ENVÍO:** CRA 27 # 8

SUScriptor/USUARIO: UIS - UNIV. INDUSTRIAL DE SDER

MUNICIPIO: BUCARAMANGA **BARRIO:** U.I.S.

URBANIZACIÓN: **ZONA:**

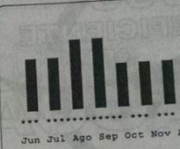
USO: OFICIAL **CATEGORÍA:** MAYOR A 1* **METAUSUARIO**

MESES VENCIDOS: 0.00

FECHA ÚLTIMO PAGO: FEB/01/2016

PROMEDIO HISTÓRICO M³ 7602

MEDICIÓN
 No. Medidor: 0243
 Diámetro: 4" R-90
 Marca medidor: NRELX
 Lectura Anterior: *****
 Lectura Actual: 6424
 Consumo Mes (m³):
 Área Común (m²): 0
 Tipo Consumo: REAL

ÚLTIMOS CONSUMOS ACUEDUCTO


ACUEDUCTO	ALCANTARILLADO	ASEO
REFERENCIA CONSUMO (\$/m ³) \$ 1,495	REFERENCIA CONSUMO (\$/m ³) \$ 991	
REFERENCIA CARGO FLUJO (\$/mes) \$ 7,835	REFERENCIA CARGO FLUJO (\$/mes) \$ 3,393	
TASAS AMBIENTALES (\$/m ²) \$ 6,09	T AMBIENTAL - VERTIMIENTOS (\$/m ²) \$ 30,76	
CONCEPTOS	CONCEPTOS	CONCEPTOS
CARGO FIJO ACUEDUCTO \$ 7,835	CARGO FIJO ALCANTARILLADO \$ 3,393	
CONSUMO BASICO (1-20) \$ 29,892	CONSUMO BASICO (1-20) \$ 19,023	
CONSUMO COMPL. (21-40) \$ 29,892	CONSUMO COMPL. (21-40) \$ 19,023	
CONSUMO SUNTU. (41-6424) \$ 9,541,399	CONSUMO SUNTU. (41-6424) \$ 6,072,014	
AJUSTE DECENA FACTURA \$ 1		
SUBTOTAL MES \$ 9,609,017	SUBTOTAL MES \$ 6,113,453	SUBTOTAL MES
SALDO EN MORA	SALDO EN MORA	SALDO EN MORA
TOTAL ACUEDUCTO \$ 9,609,017	TOTAL ALCANTARILLADO \$ 6,113,453	TOTAL ASEO

EMAB
 FEN C.C.U. ESPECIAL
 FREC BARRIDO 3
 FREC RECOLECCIÓN 3
 ÚLTIMOS Td
 ACTUAL Hist 1 Hist 2
 0.0000 0.0000 6.0000

ESTADO DE CUENTA FINANCIACIONES

FECHA	CONCEPTO	VALOR CUOTA	CUOTA	SALDO

TOTAL FACTURADO POR ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO 15,722,470

RECAUDO OTROS PRODUCTOS Y SERVICIOS

CONCEPTO	VALOR

TOTAL RECAUDO OTROS PRODUCTOS Y SERVICIOS \$ 0

LA NUEVA ADMINISTRACION "GOBIERNO DE LOS CIUDADANOS" INVITA A GANARSE LOS DESCUENTOS DEL 10% (ENERO) O 5% (FEBRERO) PAGANDO SU IMPUESTO PREDIAL EN WWW.BUCARAMANGA.GOV.CO : CON TARJETA DEBITO/CREDITO O IMPRIMALO Y PAGUE EN BANCOS TAMBIEN EN 1ER PISO ALCALDIA. A PARTIR DE ABRIL TIENE MORA

Fuente: Universidad Industrial de Santander. Departamento de planta física.