



UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

**EVALUACION DEL SISTEMA DE BOMBEO DE SOLUCIONES
CIANURADAS DEL PAD LQ8 PARA LA PLANTA COLUMNAS
DE CARBON EN MINERA YANACOCHA**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

AUTOR

CAMACHO CRUZADO DAVID REYNALDO

ASESOR ESPECIALISTA:

Martin Sifuentes Hinostroza.

ASESOR METODOLOGICO:

Elí Guayán Huaccha.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Generación Transmisión y Distribución

TRUJILLO – PERÚ

2016

Jurado Calificador:

Ing. Jorge Inciso Vasquez
PRESIDENTE

Ing. Eli Guayan Huaccha
SECRETARIO

Ing. Martin Sifuentes Hinostriza
VOCAL

Dedicatoria:

“Alcanzar una meta en la vida siempre hay alguien a quien agradecer y dedicar”.

Dedico esta tesis a:

A Dios por haber sido mi luz y fortaleza para seguir siempre adelante, iluminándome por el sendero del bien y por ser el amigo que nunca falla.

A mis padres Reynaldo y Rosa con mucho amor y cariño quienes me dieron la vida y esa fortaleza para poder alcanzar este triunfo tan deseado y haberme apoyado en los momentos más difíciles de esta trayectoria. Este sueño alcanzado más que mío es de ustedes, porque fueron los únicos que creyeron en mí y me animaron siempre para lograr esta meta.

A mi pequeño hermanito Jefferson que llego, para iluminarme, para ser mi mayor inspiración y fuerza en mi vida. A mis queridos hermanos Jimena, Angelo, Frank, Miguel, que siempre estuvieron prestos a ayudarme brindándome su amor y cariño.

A mis amigos y compañeros de tesis por su comprensión y paciencia en los momentos de ausencia, Wilmer Tinco, Walter Roque, Manuel Alcalde, Prospero Briseño, Elder Ríos, Cesar Villar, Edgar Sotelo y George Narváez.

Señores miembros del jurado:

Pongo a su disposición el presente trabajo de investigación titulado, Evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta de columnas de carbón en Minera Yanacocha. Para la implementación de un Sistema de Bombeo.

Agradecimiento:

En primer lugar, agradezco a Dios por ser la luz, fortaleza y esperanza que me guio en mis estudios.

De igual forma agradecemos a mis padres *Reynaldo y Rosa*, quienes me apoyaron en todo momento y en este largo camino de mi vida universitaria.

El más sincero agradecimiento a la *Universidad Cesar Vallejo*, en especial a la *Escuela de Ingeniería Mecánica*, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

David Reynaldo

Declaratoria de autenticidad:

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo David Reynaldo Camacho Cruzado con DNI N° 44468658, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, Marzo del 2016

Nombres y apellidos del tesista.

Presentación:

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada, “Evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta de columnas de carbón en Minera Yanacocha”, la cual está orientada en la línea de investigación “Generación Transmisión y Distribución”. Los sistemas de bombeo son de gran ayuda en el desarrollo industrial minero ya que son de gran factibilidad para el traslado de fluidos a largas distancias y en cantidades grandes en este caso se utiliza para el riego de un Pad (con solución cianurada), este sistema opera 4 bombas combinadas interconectadas en paralelo, se dispone describir y hallar sus pérdidas totales en todos los tramos de tubería produciéndose así una selección adecuada de la bomba y un funcionamiento óptimo del sistema de bombeo. Esta tesis la someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Mecánico.

El Autor; David Camacho Cruzado.

INDICE.

Contenido

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Declaratoria de autenticidad	iii
Presentación.....	i
v	
RESUMEN	vii
ABSTRACT:	ix
.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad Problemática	1
1.2 Trabajos previos	3
1.3 Teorías relacionadas al tema	4
Ecuación de Continuidad	5
Ecuación de Bernoulli general para sistemas de tuberías.....	6
Ecuación general de la energía	7
Numero de Reynolds y diagrama de Moody	8
Pérdidas y ganancias de energía	9
Pérdidas primarias en tuberías	9
Tipos de accesorios	12
Expansión súbita.....	12
Expansión gradual.....	13
Contracción súbita	14
Coefficiente de resistencia para válvulas y acoplamientos.....	15
Sistemas de tuberías en paralelo análisis.....	16
Ecuación de continuidad	17
Ecuación de pérdida la de carga para sistemas en paralelo	17
Sistemas con dos ramas.....	18
Sistema con tres o más ramas	18
Tubería normalizada número de Cedula	20
Información de tubería	21
Bombas.....	21

Tipos de Bombas	22
Bombas de desplazamiento positivo	22
Bombas rotodinámicas	22
Clasificación de bombas.....	23
Bomba de turbina vertical	23
Potencia del Fluido	23
Potencia que requieren las bombas	24
Eficiencia de la bomba	24
Carga de succión neta positiva	24
Calculo de <i>NPSHA</i>	25
Bombas en serie y en paralelo	27
Punto de operación de una bomba y selección de esta.....	28
Leyes de afinidad para bombas centrifugas.....	28
Análisis Económico	30
1.4 Formulación del problema	32
1.5 Justificación del estudio.....	32
1.6 Hipótesis	33
1.7 Objetivos.....	33
1.7.1. Objetivo general	33
1.7.2. Objetivos Específicos	33
II. MÉTODO	33
2.1 Diseño de Investigación.....	33
2.2 Variables, operacionalización	34
2.3 Población y muestra	35
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	36
2.5 Métodos de análisis de datos.....	36
III. RESULTADOS	42
3.1 Describir el tipo y longitud de tubería del sistema de bombeo de soluciones cianuradas y sus pérdidas totales en el sistema	43
3.2 Seleccionar la bomba para el sistema de Bombeo de soluciones cianuradas.....	66
Eficiencia de la bomba hidráulica.....	72
3.3 Evaluar el sistema vigente y su funcionamiento óptimo	72
3.4 Evaluar los costos originados en el estudio y su recuperación factible	74
3.5 Calculo mecánico para la unión de la tubería y su soporte	78
IV. DISCUSIÓN	81

V. CONCLUSIONES.....	83
VI. RECOMENDACIONES	84
VII. REFERENCIAS	85
ANEXOS.....	87

RESUMEN

La presente tesis denominada Evaluación de un sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad (pila de tierra con mineral) LQ8 para la planta columnas de carbón en Minera Yanacocha. Debido de nuevas exploraciones de mineral se realizó esta evaluación, la misma que provoco una ampliación en su planta.

Con la evaluación del sistema de bombeo se estudiaron cálculos de tuberías y bombas centrifugas en procesos de purificación, enfocado al dimensionamiento específico de tuberías de procesos o de servicios que transportan fluidos en estado líquido, aplicando principios mecánicos y eléctricos, para satisfacer un sistema de bombeo eficiente. La estructura de cálculo y el contenido de este trabajo contiene información básica (principios de flujos de fluidos) e información especializada (metodología, criterios y recomendaciones).

Esta evaluación tuvo objetivos específicos de un sistema de bombeo que llevaron a realizar un informe de tesis paso a paso.

Para ello se dimensionó la tubería principal para el transporte de bombeo de solución cianurada resultando ser una tubería de acero soldado St-37.0 de cedula #40 con un diámetro de 24". Se hizo el cálculo de las pérdidas mayores y menores para lo cual se dividió en 4 tramos, este cálculo nos llevó a encontrar una pérdida en la carga total de 377.23 m.

En este Sistema de Bombeo se dieron las siguientes características, cotas geodésicas en una altura de 94.9 m y una longitud de 3778 m, las mismas que permitieron evaluar para un flujo requerido de $1620 \text{ m}^3/h$. El bombeo fue desde una planta existente la cual contiene solución cianurada (mezcla de cianuro de sodio y agua; por cada tonelada de agua se aplicó 2.35 kg de cianuro de sodio), esta solución cianurada nos permitió encontrar una densidad, viscosidad y un peso específico clave para el sistema de bombeo. Este sistema de bombeo contiene accesorios en toda su trayectoria, dos ramas en paralelo que rodean al Pad y 7 derivaciones que lo bañan, por lo tanto, esto genero un coeficiente de pérdida por resistencia.

Este sistema nos llevó a utilizar fórmulas como la ecuación general de la energía, carga de presión, carga de elevación y la carga de velocidad, fórmulas de sistemas en paralelo con 2

y 3 ramas (técnica de Cross). Como finalidad se determinó resultados en, Potencia hidráulica 2785.51 HP (potencia requerida que necesita el fluido para ser movido). Esta potencia permitió trabajar 6 bombas en paralelo para impulsar un caudal de $1620 \text{ m}^3/\text{h}$ de solución cianurada, las bombas son de 500HP con una frecuencia de 60Hz y una altura de bombeo de 95 m. Se seleccionó los accesorios de acuerdo al diámetro encontrado y tuberías lineales de 24 pulgadas y 18 pulgadas en las derivaciones respectivamente.

Se evaluó la unión por soldadura en las tuberías y también las bases que sirven como soporte para las tuberías de transporte de la solución cianurada.

También se realizó una evaluación de costos del Sistema de bombeo de soluciones cianuradas el mismo que generó un gasto en Mano de obra, Equipos/herramientas y Material de aplicación/consumo resultando una composición de costo total de USD 6.768.058,74 dólares americanos, También se evaluaron los costos indirectos y beneficios netos anuales y con ayuda del Excel y aplicando un tasa de interés del 10% se encontró una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 103.94% y un Valor Anual Neto (VAN) de USD 6.492.868,40 dólares americanos en un periodo de 10 años. Por último, se calculó que el Periodo de Retorno de Inversión (PRI) será en 2 años.

Con base a los resultados obtenidos en este documento el ingeniero puede analizar, evaluar e incluso modificar el diseño hidráulico de la tubería, tales como su trayectoria, disminución de cambios de elevación, excesos de accesorios entre otros, con el objeto de mejorarlo obteniendo un diseño más económico que asegure que durante la puesta en servicio el tendido físico de la línea satisfaga los requerimientos del proceso y además sea factible para nuevas adecuaciones en algún futuro.

Palabras claves: Sistema de Bombeo, Potencia hidráulica, Cálculo hidráulico de tuberías y bombas

ABSTRACT

This thesis called Evaluation of a pumping system solutions cyanide Pad (pile of earth mineral) LQ8 columns for coal plant in Minera Yanacocha. Because of new mineral exploration this evaluation was made, it caused an expansion at its plant.

With the evaluation of the pumping system piping calculations and centrifugal pumps in purification processes, focused on specific pipe sizing processes or services that transport liquid fluids, applying mechanical and electrical principles, to meet a pumping system were studied efficient. The calculation structure and content of this work contains basic information (principles of fluid flow) and specialized information (methodology, criteria and recommendations).

This assessment had specific objectives of a pump system that prompted the thesis report step by step.

To do this the main pipe is sized to transport pumping cyanide solution proving to be a welded steel pipe of 37.0 St-writ # 40 with a diameter of 24". The calculation of the major and minor losses for which it was divided into 4 sections was made, this calculation took us to find a loss in the total load of 377.23 m.

In this system the following characteristics Pumping Hydro levels in a height of 94.9 m and a length of 3778 m, which allowed them to assess a required flow de1620 m³/h occurred. Pumping was from an existing plant which contains cyanide solution (mixture of sodium cyanide and water per ton of water 2.35 kg of sodium cyanide was applied), this cyanide solution allowed us to find a density, viscosity and specific gravity key to the pumping system. This pumping system contains accessories throughout his career, two branches in parallel surrounding the pad and 7 leads him bathe, therefore this kind of loss coefficient resistance.

This system led us to use formulas as general energy equation, pressure load, load lifting and loading speed, parallel systems formulas 2 and 3 branches (Cross technique). Intended results are determined, Hydro Power 2785.51 HP (required power needed by the fluid to be moved). This power allowed 6 pumps work in parallel to drive a flow rate of 1620 m³/h of cyanide solution pumps are 500HP with a frequency of 60Hz and a

lifting range of 95 m. Accessories are found according to selection and linear pipe diameter 24 inches and 18 inches respectively in leads.

The welded joint in the pipes and the bases that serve as support for the pipelines of the cyanide solution was evaluated.

An assessment of costs of pumping system the same as cyanide solutions generated a labor expenses, equipment / tools and material application / consumption resulting in a composition of total cost of US \$ 6,768,058.74 USD was also performed, indirect costs and annual net benefits were also assessed with the help of Excel and applying an interest rate of 10% was found an Internal Rate of Return (IRR) of 103.94% and net annual Value (NPV) of US \$ 36.492.868,40 USD over a period of 10 years. Finally, it was estimated that the period Return on Investment (PRI) will be in two years.

Based on the results obtained in this paper the engineer can analyze, evaluate and even change the hydraulic design of the pipeline, such as its history, reduced elevation changes, excessive accessories among others, for the purpose of obtaining a design improve cheaper to ensure that during commissioning the physical laying of the line meets the requirements of the process and also feasible for new adjustments in some future.

Keywords: Pumping System, Hydraulic Power, Hydraulic Calculation of pipes and pumps

I. INTRODUCCIÓN.

La presente tesis está orientada a la línea de investigación de Generación Transmisión y Distribución. Los sistemas de bombeo son de gran ayuda en el desarrollo industrial minero, ya que son de gran factibilidad para el traslado de fluidos a largas distancias y en cantidades grandes, en este caso un sistema de bombeo se usa para regar a un pad (con solución cianurada) que está totalmente aislado del sub suelo con una geomembrana.

Este sistema de bombeo se compone de bombas, motores eléctricos, tuberías y accesorios. La energía mecánica consumida depende de la potencia, el tiempo en que funciona la bomba y la eficiencia del sistema. Uno de los conceptos utilizados como premisa en el desarrollo del presente trabajo es la operación combinada por 04 bombas verticales tipo turbina nuevas ubicadas en la planta columnas de carbón, e interconectadas en paralelo de manera tal que suministren solución cianurada al pad LQ8 simultáneamente.

Para ello se considera que las bombas existentes operan dentro de sus parámetros normales de funcionamiento; tipo de bomba, TDH, NPSH disponible, potencia de la bomba, diámetros y materiales de las tuberías, verificación de velocidades en el sistema de tuberías.

El riego del Pad es con solución contienen cianuro de sodio el cual dará un producto lixiviado el mismo que por percolación será captada en una poza de operaciones, denominándose solución rica, la cual será llevada directamente hacia una planta llamada columnas de carbón activado para absorber el oro y la plata principalmente y de esta manera dar inicio al proceso de recuperación de los metales valiosos por medio de operaciones metalúrgicas en las plantas existentes. Dado el alto consumo de energía de este sistema de bombeo estas bombas trabajan con una tensión de 4.16kV, para una potencia de 298 kW y con la intención de evaluar y mejorar el sistema de lixiviación se realiza este trabajo de Evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del pad LQ8 para la planta columnas de carbón en Minera Yanacocha.

1.1 Realidad Problemática

En nuestro medio hoy en día se podría afirmar que no existe actividad humana en la que no estén presentes mecanismos de transporte de la materia en base a fluidos, a los cuales los conocemos como sistemas de bombeo, un ejemplo de ello es el sector industrial,

hospitales, centros de producción de energía, industria agropecuaria, actividades mineras y la industria de la construcción, y en otras.

--Dado entonces la gran diversidad de usos de tipos de fluidos a movilizar, existen números de grupos de modelos de bombas que se adecuan en forma conveniente a cada aplicación particular, en este panorama tan amplio, la selección correcta del tipo bomba adecuado, asegurará una larga y satisfactoria operación que se traducirá en una economía funcional de corto y largo plazo en cualquier instalación de bombeo.

Independientemente del tipo de bomba elegido, los elementos de instalación de un sistema de bombeo tales como la carga dinámica, la capacidad, el tipo de fluido, las tuberías, los motores, los controles, los accesorios, tienen prácticamente los mismos problemas operativos a la succión, la impulsión, las pérdidas y otros que son comunes a todos los tipos de bombeos, se pueden analizar en forma general.

La industria minera en sus actividades de extracción de oro utiliza solución cianurada la cual transporta desde la planta de Columnas de Carbón por medio de sistemas de bombeo hacia los pad de mineral, esta solución cianurada baña a los pad listos para ser lixiviados, el sistema de bombeo es controlado bajo la supervisión del área de mantenimiento.

La actividad minera-metalúrgica en su capacidad de producción y explotación proyectada diseña nuevos sistemas de bombeo para la lixiviación de nuevos pad. La preocupación por parte del Área de Proyecto e Ingeniería, hace que esta tarea se realice cumpliendo los estándares de seguridad que se requieren en este proceso de sistema de bombeo de explotación de mineral.

Yanacocha, centro de producción minera aurífera tiene un PAD LQ8 que almacena mineral a ser extraído por lixiviación por medio de solución cianurada, su alimentación proveniente del tajo Cerro Negro es lixiviado utilizando solución barren de la planta de Carbón activado de La Quinoa esta solución contiene cianuro de sodio libre adicional que se agregara en la piscina de bombeo de solución barren.

Esta investigación al ser desde el punto de vista explicativo u operacional, compete encontrar la vinculación entre diferentes rangos de la operacionalización de las variables ya descritas planteando el siguiente problema de investigación: ¿En qué medida influye los factores del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del PAD LQ8 para la planta columnas de carbón en Minera Yanacocha?

1.2 Trabajos previos.

Lazaro Gallegos Alvarez, Santo Domingo – Tehuantepec Oaxaca, junio de 2011. Universidad del Istmo. Título: Programa para el cálculo de tuberías y bombas centrifugas en procesos de refinación, este trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un programa de ingeniería para el cálculo de tuberías y bombas centrifugas en procesos de refinación, enfocado al dimensionamiento específico de tuberías de procesos o de servicios que transportan fluidos. El programa consta de 3 módulos de cálculos para el dimensionamiento. Modulo I.- cálculo del diámetro nominal de la tubería; Modulo II.- cálculo de velocidad y caídas de presión para una tubería existente y Modulo III.- cálculo de la potencia hidráulica para una bomba centrifuga. Concluyendo que existen limitaciones para el cálculo de tuberías y bombas centrifugas considerando el transporte de fluidos bifásicos o el transporte en condiciones no adiabáticas; sistemas de tuberías en redes, serie o paralelo; dimensionamiento de tuberías de diámetros variables y el cálculo de sistemas de bombeo con arreglos en serie o paralelo.

Héctor Emmanuel Parra, México – ciudad Obregón Sonora, junio de 2012 Figueroa Pesantez (2012) realizó un estudio denominado: Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado. La implementación de un diseño agronómico, un sistema hidráulico eficiente y un control automático permitirá acrecentar y optimizar el desarrollo del jardín de enredaderas. Con el diseño de este sistema de riego por goteo automatizado se pretende adecuar a las nuevas técnicas tanto hidropónicas como tecnológicas en los sistemas de riego de jardines, y a la par teniendo un ahorro significativo tanto en agua, energía y mano de obra, llegando a la conclusión que con el diseño e instalación de riego automatizado reduce el consumo de agua por planta, el consumo de energía, la contaminación del suelo, el tiempo del operario y el ahorro de agua.

A nivel nacional:

Carlos Ojeda (2012) en su investigación diseño de un sistema de automatización industrial para el sistema de bombeo de aguas ácidas cuyo objetivo fue el desarrollo de la ingeniería del detalle del sistema de bombeo de aguas ácidas desde la poza de almacenamiento sur hasta la poza de almacenamiento de y control norte en Minera Yanacocha, definiendo el significado de automatización a nivel de industrias mineras pero enfocado en la Minera y las variables del proceso, concluyendo el desarrollo del programa que permite controlar el proceso de bombeo y los resultados gráficos de la simulación del programa.

Gamarra (2012), realizó un estudio denominado: “control de un sistema de bombeo y Cloración de agua” cuyo objetivo es presentar los cálculos y el diseño para un sistema de cloración automatizado dentro del aeropuerto internacional Jorge Chávez”. Donde El tipo de estudio a realizar es del tipo transversal. En ella se realizó el análisis de los costos generados con el sistema de cloración actual, dentro de este campo se considerará los costos directos e indirectos que se generan actualmente. Concluyendo así: Mediante la implementación del presente trabajo, los costos generados por el sistema de cloración se reducirían sólo al consumo del material directo. Los costos de la mano de obra directa e indirecta se reducirían hasta en un 100%. El estándar de comunicación Profibus puede ser utilizado en los tres niveles de un sistema de supervisión y control, mediante la red DP proporciona un BUS de dispositivos, mediante la red PA proporciona una red de control de procesos y mediante la red FMS proporciona una red de control a nivel de célula. Es necesario el cambio de los sensores de las cisternas 1, 2 y 4 para la implementación del sistema propuesto en la presente tesis, luego de las pruebas realizadas a estos sensores se pudo determinar que su precisión se encuentra fuera del rango determinado por el fabricante.

Ronal Percy Gonsales Lopez y Paulo Cesar Pretel Pretel (2011) en su Tesis “Factibilidad Técnico-Económico para la implementación de un Sistema de Bombeo en el centro poblado de Buenavista del distrito de Chao-Viru” su elemental objetivo fue evaluar la viabilidad del Sistema de Bombeo hidráulico, investigando nuevas tecnologías para lograr transportar agua hacia comunidades del centro poblado y a la vez demostrar la rentabilidad ya que no generan costo en consumo de combustible o electricidad, también se expone que los equipos de bombeo hidráulico son de bajo costo en comparación con motobombas y compra de energía eléctrica.

1.3 Teorías relacionadas al tema.

Sistema de Bombeo y sus elementos.

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías las cuales se enlazan desde un punto de origen a un punto de destino, también se acoplan bombas y accesorios de forma que se cumplan las especificaciones de presión y de caudal necesarias en los diferentes sistemas que se utilicen.

El conocer y entender un sistema de bombeo implica el análisis y diseño en el cual el fluido es el elemento de trabajo. La característica fundamental que define a los fluidos en

su incapacidad para resistir esfuerzos cortantes (lo que provoca que carezcan de forma definida). También estudia las interacciones entre el fluido y el contorno que lo limita, es un tema que está comprendido en la rama de la mecánica de fluidos.

Ecuación de Continuidad.

La cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede expresarse por medio de tres términos distintos:

Q = El flujo volumétrico de fluido que circula en la sección por unidad de tiempo.

W = El flujo en peso que es el peso del fluido que circula en la sección por unidad de tiempo.

M = El flujo másico es la masa de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

El flujo volumétrico Q es el más importante de los tres, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = A * v$$

Formula 1.1 (flujo volumétrico)

Donde A es el área de la sección y v es la velocidad promedio del flujo, las unidades de Q en el SI es m^3/s .

El flujo en peso se relaciona con Q por medio de la ecuación.

$$W = \gamma * Q$$

Formula 1.2 (flujo en peso)

Donde γ es el peso específico del fluido, las unidades de W son $N/m^3 \times m^3/s = N/s$.

El flujo másico M se relaciona con Q por medio de la ecuación.

$$M = \rho * Q$$

Formula 1.3 (flujo másico)

Donde ρ es la densidad del fluido, las unidades de M son kg/s

El método de cálculo de la velocidad de flujo en un sistema de ductos cerrados depende del principio de continuidad

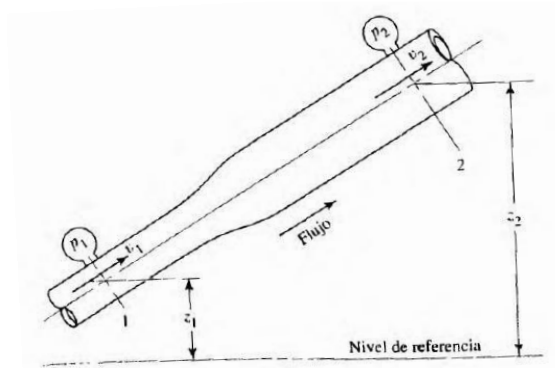


Figura 1.1; Ecuación de continuidad para cualquier fluido; variaciones de velocidad presión y elevación (Fuente: Robert L. Mott, 2013, pag156)

Considere el ducto de la figura 1.1. Un fluido circula con un flujo volumétrico constante de la sección 1 a la sección 2, es decir la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante. Esto se conoce como flujo estable, esto se expresa en flujo másico así:

$$M_1 = M_2$$

Formula 1.4 (ecuación de continuidad)

Debido a que $M = \rho * A * v$, tenemos: $\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$

Ecuación de Bernoulli general para sistemas de tuberías.

La ecuación de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de conservación de la energía al flujo de fluidos en tuberías. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y altura debida a la velocidad, es decir:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Formula 1.5 (ecuación de Bernoulli)

Donde:

p/γ es carga total.

z es la carga de elevación

$v^2/2g$ es la carga de velocidad

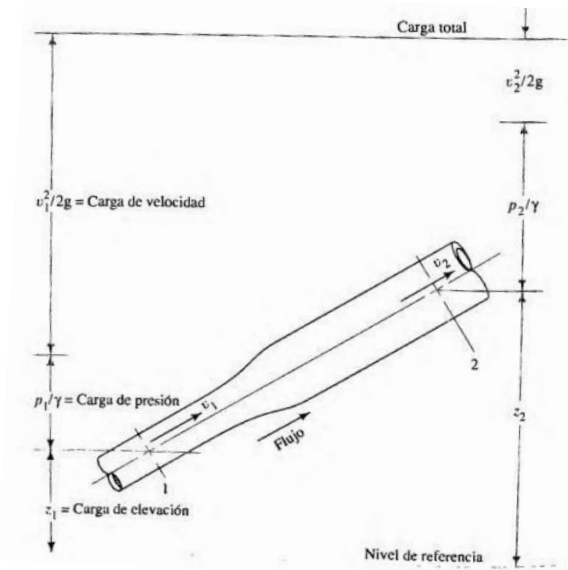


Figura 1.2; Interpretación de la ecuación de Bernoulli; carga de presión, carga de elevación, carga de elevación y carga total (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag168)

En la figura 1.2 observamos que la carga de velocidad en la sección 2 será menor que en la sección 1 esto se muestra por medio de la ecuación de continuidad. Debido a que $A_1 < A_2$, v_2 debe ser menor que v_1 . Y como la velocidad está elevada al cuadrado en el término de la carga de velocidad $v_2^2/2g$. Es común que cuando crece el tamaño de la sección, como ocurre en la figura 1.2 la carga de presión se incrementa por que la carga de velocidad disminuye.

Ecuación general de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Formula 1.6 (ecuación general de la energía)

Cada término de la ecuación representa una cantidad de energía por unidad de peso de fluido que circula por el sistema, sus unidades son $N \cdot m/N$, o metros. Es esencial que la ecuación general de la energía se escriba en dirección del flujo, es decir del punto de referencia del lado izquierdo de la ecuación hacia aquel del lado derecho. Los signos algebraicos tienen importancia crucial porque el lado izquierdo de la ecuación establece que un elemento de fluido tenga cierta cantidad de energía por unidad de peso

en la sección 1 podría ganarse energía (h_A), removerse energía (h_R) o perderse energía ($-h_L$) antes de que alcance la sección 2.

Numero de Reynolds y diagrama de Moody.

El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento. Se demuestra en forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido ρ , su viscosidad η , el diámetro del tubo D y la velocidad promedio del flujo v .

$$R_e = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\eta}$$

Formula 1.7 (número de Reynolds)

Donde:

$R_e =$ Numero de Reynolds

$\rho =$ Densidad del fluido (kg/m^3)

$\eta =$ Viscosidad dinámica ($kg/m \cdot s$)

$D =$ Diametro del tubo (m)

$v =$ Velocidad promedio del flujo (m/s)

Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías, encontramos que, si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, este será laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo será turbulento. En el rango de números de Reynolds entre 2000 y 4000 no es posible predecir que flujo existe por lo tanto le llamaremos región crítica.

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción es el diagrama de Moody, el diagrama muestra la gráfica del factor de fricción f versus el número de Reynolds R_e , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ϵ .

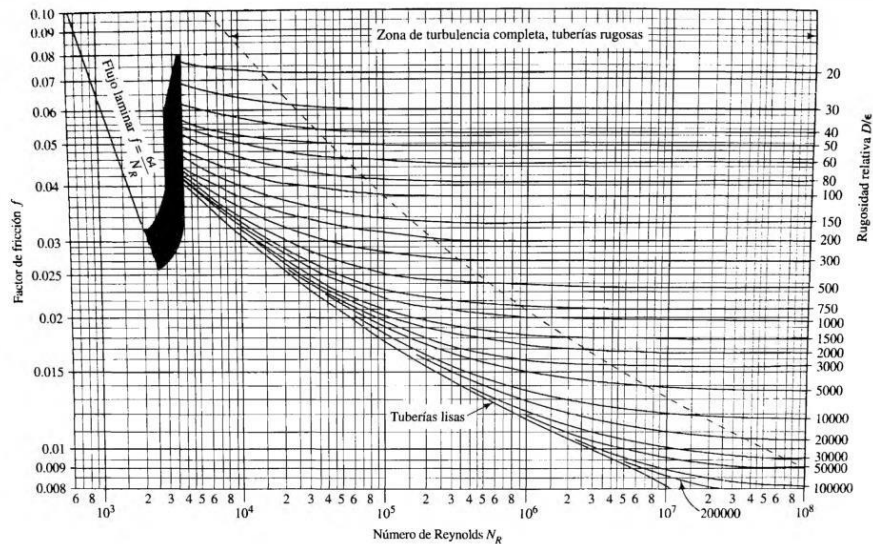


Figura 1.3 Diagrama de Moody; evaluar el factor de fricción en tuberías lisas y rugosas
(Fuente: Robert L Mott, 2013, pag237)

Pérdidas y ganancias de energía.

Las pérdidas y ganancias de energía en un sistema se contabilizan en términos de energía por unidad de peso del fluido que circula por él. Esto también se conoce como carga, como abreviación de la carga emplearemos el símbolo h para las pérdidas y ganancias de energía.

h_A = Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba; es frecuente que se denomine carga total sobre la bomba. h_R = Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.

h_L = Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o perdidas menores por válvulas y otros accesorios.

Pérdidas primarias en tuberías.

Las pérdidas primarias son las "perdidas de superficie" en el contacto del fluido con la superficie (capa limite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o las partículas de fluidos entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme y por lo tanto, principalmente se producen en tramos de tuberías de sección constante.

Ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía.

Al término h_L se le definió como la pérdida de energía en el sistema. Una componente de la pérdida de la energía es la fricción en el fluido que circula. Para el caso del flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de corriente:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Formula 1.8 (ecuación fundamental de las pérdidas primarias)

Donde:

h_L = Pérdida de energía debido a la fricción ($N \cdot m/N$)

L = Longitud de la corriente del flujo (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

v = Velocidad promedio del flujo (m/s)

f = Factor de fricción (adimensional)

Factor de fricción para flujo laminar

En la zona de flujo laminar, para valores por debajo de 2000. La de la formula aparece en el diagrama de Moody como línea recta en el lado izquierdo de la figura 1.3.

$$f = 64/R_e$$

Formula 1.9 (factor de fricción para flujo laminar)

Pérdida por fricción en el flujo turbulento.

El flujo turbulento es caótico y varia en forma constante por esta razón para determinar el valor de f , depende de otras dos constantes adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa. La rugosidad relativa es la relación del diámetro de la tubería D a la rugosidad promedio de su pared ϵ .

Por supuesto para número de Reynolds entre 2000 y 4000 el flujo está en rango crítico y es imposible de predecir el valor de f , la ecuación siguiente que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción para flujo turbulento, la desarrollaron P. K. Swamee y A. K. Jain y se menciona en la siguiente formula:

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

Formula 1.10 (factor de fricción en flujo turbulento)

Donde:

$D/\epsilon = \text{Rugosidad Relativa.}$

Tabla 1.1 Rugosidad de algunos materiales; valores de diseño de la rugosidad de tubos

(Fuente: Robert L Mott, 2013, pag235)

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Pérdidas secundarias en la tubería.

Las pérdidas secundarias son las "pérdidas de forma" que tienen lugar en las transmisiones (estrechamientos o expansiones), en codos válvulas y en toda clase de accesorios de tuberías.

Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por un codo, expansión o contracción de la sección de flujo, o por una válvula. Por lo general los valores experimentales de las pérdidas de energía se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K como sigue:

Pérdidas menores según el coeficiente de resistencia.

$$h_L = K(v^2/2g)$$

Formula 1.11 (ecuación fundamental de las pérdidas secundarias)

El término K es el coeficiente de resistencia, que tienen lugar en las transmisiones, codos, válvulas y toda clase de accesorios en la tubería. La ecuación se expresa por lo común en metros o ($N. m/N$) fluido en movimiento.

Tipos de accesorios.

Un sistema de bombeo requiere de una variedad de accesorios, a continuación se especifican algunos de ellos.

Expansión súbita.

Conforme un fluido pasa de una tubería pequeña a otra más grande a través de una expansión súbita, su velocidad disminuye de manera abrupta, lo que ocasiona turbulencia, que a su vez genera una pérdida de energía. La cantidad de turbulencia, y por lo tanto la pérdida de energía, depende de la razón de los tamaños de las dos tuberías.

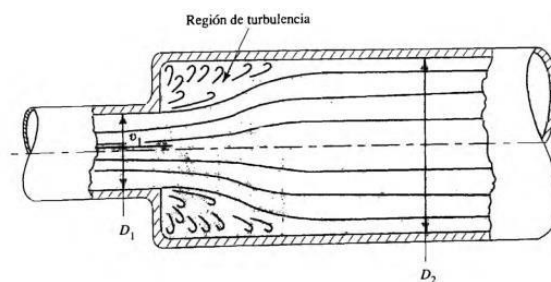


Figura 1.4; Flujo en expansión súbita; pérdida de energía a razón de los tamaños de dos tuberías (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag281)

La pérdida menor se calcula por medio de la ecuación:

$$h_L = K(v_1^2/2g)$$

Formula 1.12 (pérdida menor en expansión súbita)

Donde v_1 es la velocidad promedio del flujo en la tubería más pequeña antes de la expansión. El valor del coeficiente de pérdida K depende tanto de la relación de los tamaños de las dos tuberías como de la magnitud de la velocidad de flujo, es posible predecir el valor de K en la ecuación siguiente:

$$K = [1 - (A_1/A_2)]^2 = [1 - (D_1/D_2)^2]^2 \text{ Formula}$$

1.13 (valor coeficiente de pérdida K)

Expansión gradual.

Es posible hacer que la transición de una tubería pequeña a otra más grande sea menos abrupta que aquella que se logra con la expansión súbita con aristas afiladas, la pérdida de la energía se reduce. Es normal que esto se lleve a cabo al colocar al colocar una sección cónica entre las dos tuberías, las paredes pendientes del cono tienden a guiar al fluido durante la desaceleración y expansión de la corriente del flujo. Por lo tanto, conforme el ángulo del cono disminuye se reduce el tamaño de la zona de separación y la cantidad de turbulencia.

La pérdida de energía para la expansión gradual se calcula con la ecuación:

$$h_L = K(v_1^2/2g)$$

Formula 1.14 (pérdida menor en expansión gradual)

La magnitud de K depende tanto de la relación de diámetros D_2/D_1 como del ángulo del cono θ . En la tabla siguiente aparecen varios valores:

Tabla 1.2 Coeficiente de resistencia-expansión gradual; relación de diámetros D_2/D_1 y del ángulo en una expansión gradual. (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag286)

D_2/D_1	Ángulo del cono θ											
	2°	6°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
∞	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

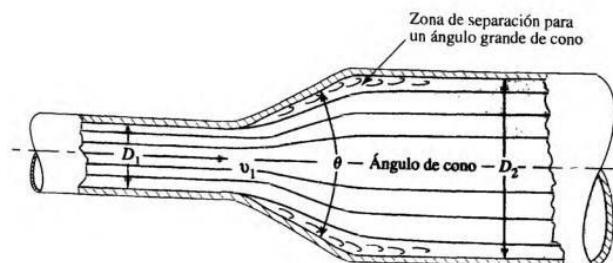


Figura 1.5 Expansión gradual; transición de una tubería pequeña a una grande. (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag285)

Contracción súbita.

La pérdida de energía debida a la contracción súbita, se calcula por medio de:

$$h_L = K(v_2^2/2g)$$

Formula 1.15 (pérdida menor en contracción súbita)

Donde v_2 es la velocidad de la tubería pequeña aguas debajo de la contracción. El coeficiente de resistencia K depende de la relación de los tamaños de las dos tuberías y de la velocidad de flujo.

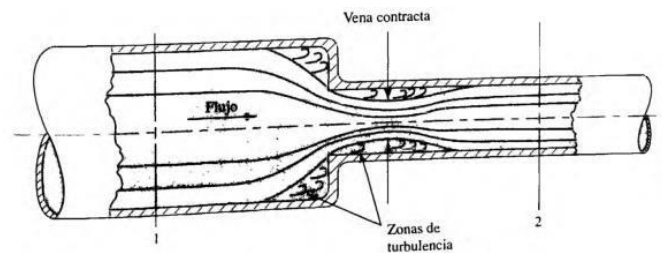


Figura 1.6 Contracción súbita; pérdida de resistencia en el cambio brusco de dos tuberías (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag289)

La pérdida en una contracción puede disminuir en forma sustancial si la contracción se hace más gradual. La figura 1.7 muestra tal contracción formada por una sección cónica entre dos diámetros.

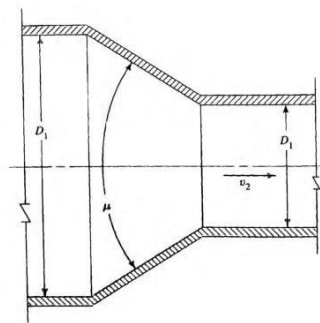


Figura 1.7 Contracción gradual; disminución de pérdida de energía forma sustancial. (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag290)

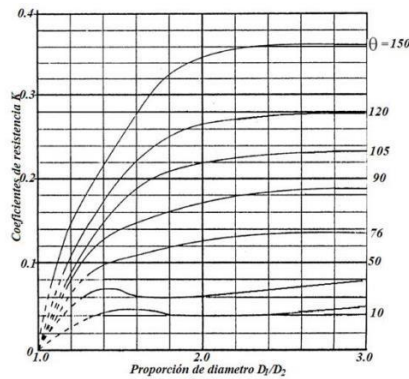


Figura 1.8 Coeficiente de resistencia-contracción gradual con $\theta \geq 15^\circ$, (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag291)

Coeficiente de resistencia para válvulas y acoplamientos.

Disponemos de muchas clases de válvulas y acoplamientos (accesorios) de distintos fabricantes, para cumplir las especificaciones de las instalaciones de sistemas de circulación de fluidos. Las válvulas se emplean para controlar la cantidad de fluido, pueden ser de globo, ángulo, compuerta, mariposa, cualquiera de varios tipos de válvula de verificación y muchas más. Es importante determinar los datos de resistencia para el tipo particular y tamaño elegidos, porque aquella depende de la geometría de la válvula o accesorios de acoplamientos. El coeficiente de resistencia K se reporta en forma.

$$K = (L_e/D)f_T$$

Formula 1.16 (coeficiente de resistencia K para válvulas y acoplamientos)

El valor L_e/D llamado relación de longitud equivalente y se considera constante para un tipo de válvula o acoplamiento. El valor L_e se denomina longitud equivalente, y es la longitud de una tubería recta del mismo diámetro nominal que el de la válvula, la cual tendría la misma resistencia que esta. El diámetro D es el diámetro interior real de la tubería. El término f_T es el factor de fricción en la tubería a la que está conectada la válvula de acoplamiento

Tabla 1.3 factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tuberías de acero comercial de acero nueva y limpia. (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag297)

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_f	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_f
½	0.027	3½, 4	0.017
¾	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1¼	0.022	8-10	0.014
1½	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2½, 3	0.018		

Tabla 1.4 de resistencia de válvulas y acoplamientos expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D . (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag297)

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
—¾ abierta	35
—½ abierta	160
—¼ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Sistemas de tuberías en paralelo análisis.

Los sistemas de tuberías en paralelo son aquellos en los que hay más de una trayectoria que el fluido puede recorrer para llegar de un punto de origen a otro de destino. Para ver un ejemplo consulte la figura 1.9. Imagine que usted es una parte pequeña de la corriente de fluido que entra al sistema por la parte izquierda, y se encuentra en el punto 1. Al flujo volumétrico total se le denomina Q_1 y usted es parte de ella. Al llegar al punto de intercepción debe tomar una decisión. ¿Cuál camino seguir para continuar hacia el destino? Todas las demás partes del flujo deben tomar la misma decisión.

Por supuesto, algo de flujo se disminuye en cada una de las tres ramas que salen de la intersección, y que en la figura se denota con a , b y c . Estos flujos volumétricos son Q_a , Q_b , y Q_c .

Ecuación de continuidad.

Al aplicar el principio de flujo estable a un sistema en paralelo se llega a la conclusión siguiente:

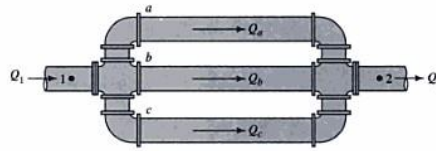


Figura 1.9 Sistema en paralelo de tres tuberías; principio de continuidad. (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag359)

$$Q_1 = Q_2 = Q_a + Q_b + Q_c$$

Formula 1.17 (ecuación de continuidad en sistema en paralelo)

La primera parte $Q_1 = Q_2$ solo afirma lo que se ha dicho acerca del sistema con flujo estable anterior: que cuando se considera el flujo total; el flujo volumétrico es el mismo en cualquier sección transversal en particular. Entre los puntos 1 y 2 no se ha agregado o retirado fluido del sistema. La segunda parte define que los flujos en las ramas $Q_a + Q_b + Q_c$ deben sumar el flujo volumétrico total. Esto parece lógico puesto que todo el fluido que llega a la intersección de la izquierda debe ir a algún lado y se divide en tres partes. Por último, debe observarse que todos los fluidos de las ramas se reúnen y el flujo total continua como Q_2 .

Ecuación de pérdida la de carga para sistemas en paralelo.

Cuando cualquiera de los elementos del fluido alcanza el punto 2 del sistema de la Figura 1.9 cada uno habrá experimentado el mismo cambio de elevación, el mismo cambio de velocidad y la misma pérdida de energía por unidad de peso, sin importar la trayectoria que haya seguido. Todos los elementos que convergen de la intersección del lado derecho tienen la misma energía total por unidad de peso. Es decir todos tienen la misma carga total. Por tanto, cada unidad de peso de fluido debe tener la misma cantidad de energía esto se anuncia en la forma matemática como:

$$h_{L1-2} = h_a = h_b = h_c$$

Formula 1.18 (pérdida de carga en sistema en paralelo)

Sistemas con dos ramas.

Un sistema común de tubería en paralelo incluye dos ramas con el arreglo que se muestra en la figura 1.10. La rama interior se agrega para evitar que alguna cantidad de fluido pase por el intercambiador de calor, lo que permitiría que el flujo continuara mientras se da mantenimiento al equipo. El análisis de este tipo de sistema es relativamente sencillo y directo a un que es común que se requieran ciertas iteraciones, debido a que se descomponen las velocidades, los factores de fricción también son desconocidos.

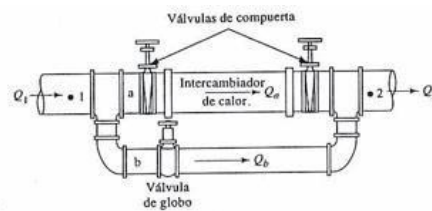


Figura 1.10 Sistema paralelo con dos ramas; (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag361)

Los sistemas en paralelo que tienen más de dos ramas son más complejos porque hay más cantidades desconocidas.

Sistema con tres o más ramas.

Cuando un sistema de flujo tiene tres ramas o más, se le denomina red. Las redes son indeterminadas porque hay más factores desconocidos que ecuaciones independientes que lo relacionen por ejemplo en la figura 1.11 hay tres velocidades desconocidas en cada tubería. Las ecuaciones disponibles para describir el sistema son:

$$Q_1 = Q_2 = Q_a + Q_b + Q_c$$

Formula 1.19 (ecuación de continuidad de tres a más ramas)

$$h_{L1-2} = h_a = h_b = h_c$$

Formula 1.20 (pérdida de carga de tres a más ramas)

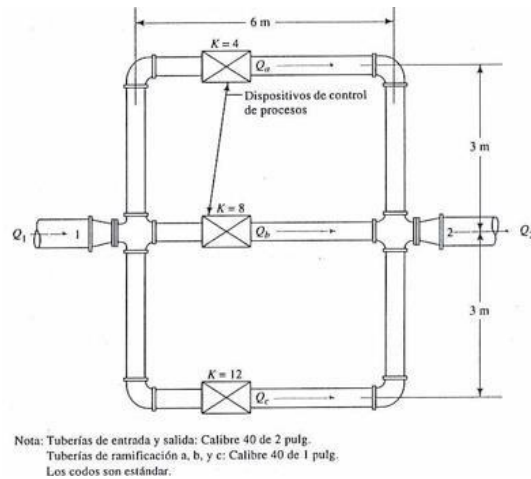


Figura 1.11 Sistema de tres ramas; este esquema se puede utilizar con tres o más ramas.

(Fuente: Robert L Mott, 2013, pag369)

Se requiere una tercera ecuación independiente para resolver de manera explícita las tres ecuaciones Hardy Cross desarrollo un enfoque racional para analizar un sistema como el que muestra la figura 1.11, por medio del empleo iterativo. La técnica de Cross requiere que se exprese los términos de pérdida de carga para cada tubería del sistema en forma:

$$h = kQ^n$$

Formula 1.21 (ecuación de Hardy Cross para la pérdida de carga)

Donde K es la resistencia equivalente al flujo por toda la tubería, y Q es el flujo volumétrico en este. La técnica de Cross requiere estimaciones iniciales del flujo volumétrico en cada rama del sistema. Dos consideraciones ayudan a hacerlas.

1. En cada intersección de la red, la suma de los flujos que entra es igual a los que salen.
2. El fluido tiende a seguir la trayectoria de resistencia mínima a través de la red, por tanto una tubería que tenga un valor menor que k conducirá un flujo mayor que aquellos con valores más altos.

Técnica de Cross para el análisis de redes de tuberías.

1. Expresar la pérdida de energía en cada tubería, en la forma $h = kQ^2$
2. Suponer un valor para el flujo volumétrico en cada tubería, de modo que el flujo que entra a cada intersección sea igual al flujo que sale de ella.
3. Dividir la red en series de circuitos cerrados.

4. Para cada tubería calcular la pérdida de carga $h = kQ^n$, con el uso del valor supuesto de Q .
5. Proceder alrededor de cada circuito para sumar algebraicamente todos los valores de, h , con la convención siguiente para los signos.
Si el flujo va en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj, h y Q son positivas.
Si el flujo va en sentido contrario del movimiento de las manecillas del reloj, h y Q son negativas.
La suma resultante se denota con Σh
6. Para cada tubería, calcular $2kQ$.
7. Sumar todos los valores de $2kQ$ para cada circuito, con la suposición de que todos son positivos. Esta suma se denota con $\Sigma(2kQ)$.
8. Para cada circuito, calcular el valor de ΔQ , con

$$\Delta Q = \frac{\Sigma h}{\Sigma(2kQ)}$$

Formula 1.22 (ecuación de Hardy Cross diferencial de caudal) 9.

Para cada tubería calcular una estimación nueva de Q por medio de

$$Q' = Q - \Delta Q$$

Formula 1.23 (ecuación de Hardy Cross estimación de caudal)

10. Repetir los pasos del 4 al 8 hasta que ΔQ del paso 8 se haga tan pequeño que sea insignificante. El valor Q' se utiliza para la iteración.

Tubería normalizada número de Cedula.

Es un parámetro para determinar la resistencia que tiene una tubería, el peso de un fluido y que depende de la presión interna del fluido, depende del material de la tubería y de cierto factor de seguridad.

$$N_{ced} = \frac{1000xP_{int}xf_{seg}}{\sigma}$$

Formula 1.24 (cálculo del número de cedula)

Donde:

P_{int} = *Persión interna de la tubería.*

f_{seg} = *Factor de seguridad (1.5 – 1.45)*

σ = *esfuerzo admisible en el material de la tubería (bar)*

Información de tubería.

Es importante poseer información tecnológica adecuada respecto a la tubería en sí. Los tubos se fabrican de diferentes materiales, los principales son el acero y el hierro colado. Se identifican por su diámetro nominal que esta dado en pulgadas o en milímetros y por el espesor de la pared del tubo, el diámetro nominal no corresponde al diámetro exterior del tubo, por lo que es necesario conocer dicho valor. A continuación la tabla 1.5 tiene unas características de tuberías de acero.

Tabla 1.5 Características de tuberías de acero en cedula 40. (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag601)

PROPIEDADES DE TUBERÍAS DE ACERO

A. Cédula 40.

TABLA E.1 Cédula 40.

Tamaño nom. de tubería (pulg)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pulg)	(mm)	(pies ²)	(m ²)
¼	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻³
½	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻³
¾	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻²
⅝	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻²
¾	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻²
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻²
1¼	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻²
1½	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻¹
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻¹
2½	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻¹
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻¹
3½	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻¹
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻¹
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻¹
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻¹
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻¹
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 ⁻¹
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻¹
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻¹
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Bombas.

Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan energía de velocidad. Sin embargo, a este respecto, hay muchas confusiones en los términos presión y velocidad, por la acepción que llevan implícita de las expresiones fuerza tiempo. En la mayoría de las aplicaciones de energía conferida por una bomba es

una mezcla de las tres, las cuales se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos. Lo inverso a lo que sucede en una bomba se tiene en una máquina llamada comúnmente turbina, la cual transforma la energía de un fluido, en sus diferentes componentes citadas, en energía mecánica.

Tipos de Bombas:

Bombas de desplazamiento positivo.

El principio de estas bombas, se basa en el cambio de volumen de la cámara o recinto que, por esta razón desplaza el líquido que en determinado momento ocupa dicho recinto. Las presiones de salida del líquido, o altura a la que puede elevarse dicho líquido por medio de estas bombas, son generalmente grandes. Existen diversas clases, como las alternativas (pistón) y las rotativas (lóbulos). Están especialmente indicadas para el bombeo de fluidos de viscosidad elevada.

Bombas rotodinámicas.

Funcionan apoyándose en el principio de incrementar la cantidad de movimiento angular del líquido, es decir, incrementar fuertemente la energía cinética del líquido, para enseguida, transformar esa energía cinética en energía de presión mediante la disminución de velocidad del líquido.

La transformación de parte de la energía cinética en energía de presión se consigue mediante las carcasas espirales y también por las aletas directrices a la salida del rotor.

Clasificación de bombas:

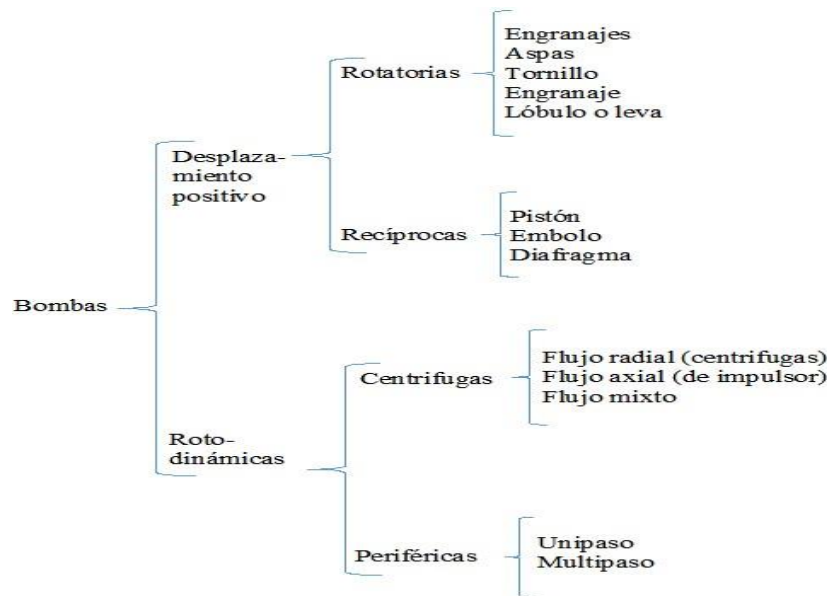


Figura 1.12 Clasificación y tipos bombas.

Bomba de turbina vertical.

La bomba de turbina vertical es una es una unidad de bombeo diseñada para operar en pozos profundos, cisternas o encapsulada en un barril como elevadora de presión capaz de soportar una gran fuera axial. La construcción vertical reduce el espacio requerido de instalación y permite el uso de una cimentación sencilla.

Existen dos tipos de bomba de turbina vertical de acuerdo al sistema de lubricación empleado; bombas lubricadas por aceite y bombas lubricadas por agua (o auto lubricadas).

Potencia del Fluido.

Las bombas se utilizan para impulsar líquidos a través del sistema de tuberías, de acuerdo a la ecuación general de la energía nos determina la energía que una bomba agrega al fluido, la cual se denomina h_a . Al despejar h_a de la ecuación general de la energía queda:

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

Formula 1.25 (ecuación general de la energía)

A este valor de h_a se le llama carga total sobre la bomba. Algunos fabricantes de bombas se refieren a él como la carga dinámica total (TDH).

Potencia que requieren las bombas.

La potencia se define como la rapidez a que se realiza un trabajo. En la mecánica de fluidos se modifica dicho enunciado y se considera que la potencia es la rapidez con que se transfiere la energía. Para calcular la potencia que se transfiere al fluido debe determinarse cuantos newtons de este fluido pasan por la bomba en un lapso dado de tiempo.

$$P_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q$$

Formula 1.26 (potencia que requieren las bombas)

Donde:

$P_A =$ Potencia que se agrega al fluido

$\gamma =$ Peso específico del fluido que circula a través de la bomba

$Q =$ Flujo volumétrico del fluido

Eficiencia de la bomba.

El término eficiencia se utiliza para denotar la relación de la potencia transmitida por la bomba al fluido a la potencia que se suministra a la bomba. Debido a las pérdidas por fricción mecánica en los componentes de la bomba, fricción del fluido y turbulencia excesiva en esta, no toda la potencia de entrada se transmite al fluido. Entonces si se denota la eficiencia mecánica con el símbolo e_M , tenemos.

$$e_M = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia de entrada a la bomba}} = \frac{P_A}{P_I}$$

Formula 1.27 (eficiencia mecánica de las bombas)

Carga de succión neta positiva.

Un factor importante por considerar en la aplicación de una bomba es la carga de la carga de succión neta positiva que se requiere ($NPSH_R$). El factor principal es la presión del fluido en la entrada de la bomba, al que es común llamar puerto de succión. El diseño del sistema de tubería de la succión debe proporcionar una presión suficientemente alta para

evitar que se desarrollen burbujas de vapor dentro del fluido en movimiento, condición que recibe el nombre de cavitación.

El análisis de la carga de succión neta positiva que se representa a continuación, es pertinente emplear la carga de presión de vapor h_{vp} en vez de la presión de vapor básica p_{vp} donde: $h_{vp} = p_{vp}/\gamma =$ carga de presión de vapor en metros o pies.

Calculo de $NPSH_A$.

El valor del $NPSH_A$ depende de la presión de vapor de fluido que se bombea, las pérdidas de energía en el tubo de succión, la ubicación de almacenamiento de fluido y la presión que se aplica a éste. Esto se expresa como:

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Formula 1.28 (carga de succión neta positiva disponible)

h_{sp} = Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento; se expresa en metros o en pies de líquido; $h_{sp} = p_{sp}/\gamma$

p_{sp} = Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

h_s = Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba; se expresa en metros o pies. Si la bomba está abajo del depósito, h_s es positiva. Si la bomba está arriba del depósito, h_s es negativa.

h_f = Pérdidas de la carga en la tubería de succión, debido a la fricción y pérdidas menores; se expresa en metros o pies. h_{vp} = Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo; se expresa en metros o pies; $h_{vp} = p_{vp}/\gamma$

p_{vp} = Presión de vapor (absoluta) del líquido a la temperatura a la que se bombea.

Los fabricantes de bombas prueban cada diseño para determinar el nivel de la presión de la succión que se requiere, con el fin de evitar la cavitación, y reportar los resultados como la carga de succión positiva neta requerida $NPSH_R$ de la bomba en cada condición de capacidad de operación (flujo volumétrico) y carga total sobre la bomba. Es

responsabilidad del diseñador del sistema de bombeo que la carga de succión neta positiva disponible, $NPSH_A$ Este por arriba del $NPSH_R$.

El American National Standards Institute (ANSI) y el Hydraulic Institute (HI) emiten justos estándares que especifican un margen mínimo de 10% para la $NPSH_A$ sobre la $NPSH_R$. Es decir,

$$NPSH_A > 1.10NPSH_R$$

Formula 1.29 Carga de succión neta positiva requerida.

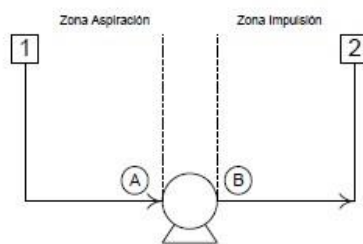


Figura 1.13 zonas de aspiración e impulsión de una bomba. (Fuente: <https://areamecanica.wordpress.com/2011/06/16/ingenieria-mecanica-curvascaracteristicas-de-una-bomba-centrifuga-ii/>)

En la figura 1.30 se observa, la zona de aspiración es la comprendida entre el tanque o reserva desde donde se bombeará el líquido y la bomba. Por su parte, el tramo situado a la salida de la bomba es lo que se conoce como línea o zona de impulsión. La energía que la bomba confiere al fluido se mide en términos de presión y es lo que se conoce como carga de la bomba. La unidad más utilizada para expresar la carga de la bomba es el metro de columna de líquido (m.c.l.). Hay que tener en cuenta que para pasar esta unidad a bar es necesario conocer antes el líquido de que se trata.

Altura total de aspiración:

Representa la presión a la entrada de la bomba. Es la suma algebraica de la altura estática de aspiración (distancia de la superficie libre del líquido al eje de la bomba), presión existente sobre el líquido y pérdidas de carga por rozamiento de la tubería de aspiración. Los dos primeros sumandos pueden ser positivos o negativos, pero el tercero es siempre negativo.

Atura total de impulsión.

Es la suma algebraica de la altura estática de impulsión, pérdida de carga en la impulsión y presión sobre el líquido en el punto de recepción. La diferencia entre las alturas totales de impulsión y de aspiración es la carga de la bomba, es decir, la energía que ha de ser conferida al fluido.

Bombas en serie y en paralelo.

Se pueden arreglar dos o más bombas para la operación en paralelo o en serie para lograr una amplia gama de requerimientos de la manera más económica. Si las bombas están ampliamente separadas, como en el caso de dos o más bombas a intervalos igualmente espaciados a lo largo de una tubería.

Operación en serie.

Frecuentemente las bombas se operan en serie para proporcionar cargas mayores que las de las bombas individuales. El procedimiento de planeación es similar al caso de las bombas en paralelo. Las cargas de las bombas se suman para obtener una curva combinada carga-capacidad.

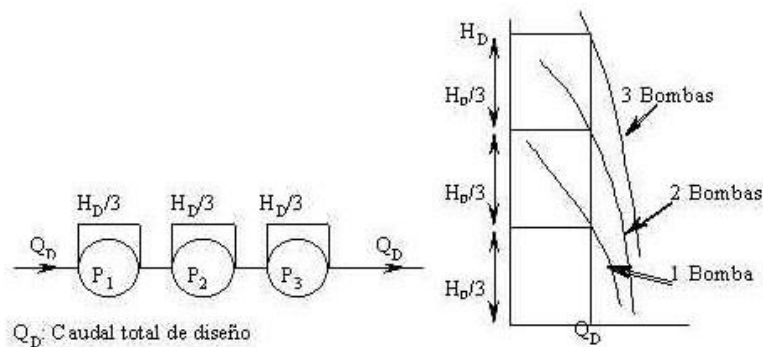


Figura 1.14 Operación y diagrama de bombas en serie. (Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/lhidraulica/guias/bombas/Bombas.html>)

Operación en paralelo.

La operación en paralelo de dos o más bombas es un método común para llenar los requisitos cuando varía la capacidad arrancando solo aquellas que se necesitan para cumplir la demanda, normalmente se puede lograr la operación cerca de la máxima eficiencia.

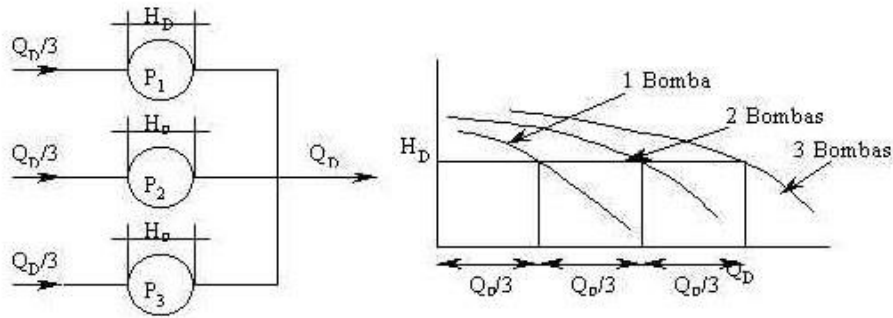


Figura 1.15 Operación y diagrama de bombas en paralelo. (Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/guias/bombas/Bombas.html>)

Selección de bombas.

La selección de la bomba es factible técnica y económicamente; según las características de la bomba, según el fluido, según el caudal y según el costo.

Punto de operación de una bomba y selección de esta.

El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviara cuando se instale un sistema dado. La carga total que desarrolla la bomba se determina por medio de la resistencia del sistema que corresponde a la misma del flujo volumétrico.

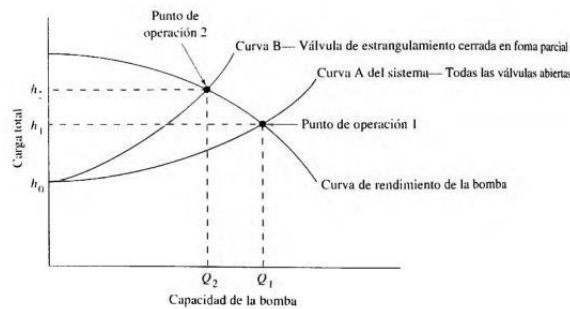


Figura 1.16 punto de operación de una bomba; curva de rendimiento. (Fuente: Robert L Mott, 2013, pag410)

La figura 1.16 ilustra este concepto, la curva de rendimiento de la bomba es la gráfica del flujo volumétrico que la bomba distribuye como función de la carga total y a la que está sujeta por el sistema del que forma parte.

Leyes de afinidad para bombas centrífugas.

La mayoría de las bombas centrífugas que operan a velocidades distintas para obtener capacidades variables. Además, una carcasa de bomba de tamaño dado es susceptible de

dar acomodo a impulsores de diámetros diferentes. Es importante entender la manera en que varían la capacidad, la carga y la potencia, cuando se modifican la velocidad o el diámetro del impulsor. A continuación, se presentan una lista de estas relaciones, denominadas leyes de afinidad. El símbolo N se refiere a la velocidad de rotación del impulsor, por lo general en revoluciones por minuto (r/min o rpm).

Cuando la velocidad varía:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Formula 1.30 (La capacidad varía en forma directa con la velocidad)

$$\frac{h_{a_1}}{h_{a_2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

Formula 1.31 (La capacidad de carga total varía con el cuadro de la velocidad)

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Formula 1.32 (La potencia que requiere la bomba varía con el cubo de la velocidad) Cuando el diámetro del impulsor varía:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

Formula 1.33 (La capacidad varía en forma directa con el diámetro del impulsor)

$$\frac{h_{a_1}}{h_{a_2}} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

Formula 1.34 (La carga total varía con el cuadrado del diámetro del impulsor)

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

Formula 1.35 (La potencia que requiere la bomba varía con el cubo del diámetro del impulsor)

Determinación de las fuentes de presión.

Todas las instalaciones deben tener por lo menos una de estas fuentes de presión disponibles antes de que se mueva algún líquido hacia el puerto de succión de la bomba. Muchas de las instalaciones tendrán dos – presión atmosférica y colector de succión.

Presión Atmosférica: La presión atmosférica en la superficie de un líquido expuesto es aproximadamente de 14.7PSI; el valor específico para una instalación dada depende de su elevación sobre el nivel del mar.

Cuánto de los 14.7PSI se encuentra disponible para mover el líquido a puerto de succión, esto depende de la capacidad al vacío de la bomba. Si la bomba puede desarrollar un vacío perfecto, se encontraría disponible los 14.7PSI. Véase la figura 5 para la comparación de las diferentes presiones y escales de aspiración.

Colector de succión: cuando sea posible en una instalación para los materiales viscosos, debe haber un colector de succión positivo de varios pies de líquido sobre la línea central de la bomba. Con el colector de succión, véase la figura 6, la cantidad de presión disponible para forzar el líquido hacia la bomba es una función de la gravedad específica del líquido y el colector en pies. Para determinar la presión en PSI multiplique la gravedad específica por el colector en pies por 0.433. Por ejemplo, si hubiera una sección vertical de tubería de 10' llena de melaza con una gravedad específica de 1.42, la presión ejercida en el fondo de la tubería sería de 1.42 por 10 por 0.433 o 6.15PSI.

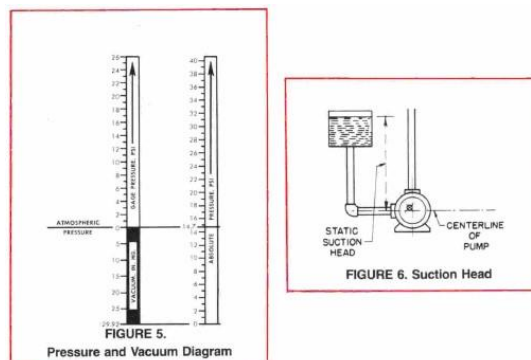


Figura 1.15 Presión y diagrama de succión, cabeza de succión. (Fuente:

<http://hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/Vacuum/Article/False/6460/TechZoneVacuum>)

Análisis Económico

En un proyecto económico es muy importante analizar la posible rentabilidad del proyecto y sobre todo si es viable o no. Cuando se realiza un proyecto hay que invertir un capital y se espera obtener una rentabilidad a lo largo de los años. Esta rentabilidad debe ser mayor al menos que una inversión con poco riesgo (letras del Estado, o depósitos en entidades financieras solventes). De lo contrario es más sencillo invertir el dinero en dichos productos con bajo riesgo en lugar de dedicar tiempo y esfuerzo a la creación empresarial.

Dos parámetros muy usados a la hora de calcular la viabilidad de un proyecto son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno):

Valor Actual Neto (VAN).

Para su cálculo se requiere predeterminedar una TASA DE DESCUENTO que representa el “costo de oportunidad” del capital.

$$VAN = \sum_{T=1}^n \frac{F_u}{(1+i)^t} - I_0$$

Formula 1.36 (Calculo del Valor Actual Neto).

Dónde:

F_u :Utilidad

TIR: Tasa Interna de retorno. (14%)

I_0 : Inversión Inicial n:

Vida Útil Del Proyecto

$VAN > 0$; se recomienda pasar a la siguiente etapa del proyecto

$VAN = 0$; es indiferente realizar la inversión VAN

< 0 ; se recomienda desecharlo o postergarlo

Tasa Interna de Retorno (TIR).

Es una tasa porcentual que indica la rentabilidad promedio anual que genera el capital que permanece invertido en el proyecto.

Representa el máximo costo que el inversionista podría pagar por el capital prestado.

La expresión del TIR es parecida a la del VAN, con la diferencia que el VAN es cero:

$$0 = \sum_{T=1}^n \frac{F_u}{(1+TIR)^t} - I_0$$

Formula 1.37 (Calculo de la Tasa Interna de Retorno) Dónde:

F_u :Utilidad

TIR: Tasa Interna de retorno. (14%)

I_0 : Inversión Inicial n:

Vida Útil Del Proyecto

Periodo de retorno de la inversión:

Es el periodo en el cual se obtendrán los beneficios netos, es decir el tiempo donde la inversión en activos fijos fue amortizada en su totalidad por los beneficios del proyecto.

$$PRI = \frac{I. A. F [N. S]}{B. P \left[\frac{N. S}{año} \right]}$$

Formula 1.38 (Calculo de Periodo de Retorno de Inversión) Dónde:

PRI: Periodo del retorno de la inversión[Años] I.

A. F: Inversión en activos fijos [N. S].

B. P: Beneficio del proyecto $\left[\frac{N.S}{año} \right]$

1.4 Formulación del problema

¿Cuál es la Evaluación Técnica y económica del Sistema de Bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta columnas de Carbón en Minera Yanacocha?

1.5 Justificación del estudio.

En el presente estudio de investigación, se plantea una evaluación del Sistema de Bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta de columnas de Carbón en Minera Yanacocha. Con la finalidad de determinar el estado de los sistemas de bombeos que son utilizados en el Pad LQ8, haciendo hincapié sobre todo en las propiedades de los fluidos; pues no se han encontrado estudios técnicos que permitan un análisis más completo y que disminuya el tiempo del bombeo del fluido y así minimizar costos significativos para la minera; la medición de la presión, densidad y flujo; la estática de los fluidos; el flujo en tuberías y conductos no circulares; la selección de bombas y su aplicación y las fuerzas que desarrollan los fluidos en movimiento.

De acuerdo a la evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta de columnas de carbón en Minera Yanacocha. El estudio busca también incentivar la recuperación física del sistema de bombeo, la implementación de todos sus mecanismos de control y seguridad, la automatización del funcionamiento del sistema evitando y previniendo factores involucrados que pueda ocasionar perjuicios en el medio ambiente especialmente alteraciones y no se refleje en los habitantes, flora y fauna de la zona a fin de respetar las normas medio ambientales y restableciendo medio naturales.

1.6 Hipótesis.

El Sistema de Bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta columnas de Carbón en Minera Yanacocha tiene un funcionamiento óptimo Técnicamente y económicamente es rentable.

1.7 Objetivos.

1.7.1. Objetivo general.

Determinar la evaluación Técnica y económica del Sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta de columnas de carbón de Minera Yanacocha.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- a. Describir el tipo y longitud de tubería del sistema de bombeo de soluciones cianuradas y sus pérdidas totales en el sistema.
- b. Seleccionar la bomba para el sistema de bombeo de soluciones cianuradas.
- c. Evaluar el sistema vigente y su funcionamiento óptimo.
- d. Evaluar los costos originados en el estudio y su recuperación factible.

II. MÉTODO.

2.1 Diseño de Investigación.

Su diseño es Cuasi-experimental y se busca conocer la situación de la variable en un momento determinado, nuestra investigación busca evaluar el sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta columnas de carbón de minera Yanacocha.

2.2 Variables, operacionalización.

- Variables Independientes.
 - Caudal
 - Distancia de bombeo
 - Altura de elevación del fluido
- Variable dependiente Pérdidas menores y mayores.
 - Pérdida total de bombeo.
 - Dimensionamiento de tuberías y selección de accesorios.

Variables Independientes:				
Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala de medición
Caudal.	Cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo.	Flujo volumétrico o volumen real.	Flujo volumétrico m^3/h	Numérica.
Distancia de bombeo	Recorrido total de un punto de succión a un punto de elevación	Longitud del sistema de bombeo.	Calculo en tramos de tuberías y derivaciones.	Numérica.

Altura de elevación del fluido.	Es la distancia vertical entre los niveles superior e inferior.	Elevación del líquido por medio de la bomba hidráulica.	Carga de succión positiva neta requerida y Carga de succión positiva neta disponible.	Numérica.
VARIABLES DEPENDIENTES.				
Pérdidas menores y mayores.	Calculo de resistencia en las tuberías y accesorios de tuberías.	Pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería.	Coefficiente de resistencia;	Numérica.
Potencia total de la bomba.	Potencia que suministra la bomba al fluido.	Potencia hidráulica.	Torque efectivo en el eje.	Numérica.
Dimensionamiento de tuberías y accesorios.	Diámetros, espesores y cantidad de material.	Especificaciones técnicas de los componentes.	Selección en catálogos de proveedores.	Numérica.

2.3 Población y muestra.

2.3.1. Población.

Sistemas de Bombeo de la empresa Minera Yanacocha.

2.3.2. Muestra.

El Sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

En la presente investigación, se considera cálculos de mecánica de fluidos; pérdidas y coeficiente de resistencia en accesorios, propiedades de tuberías de acero; valor de diseño de la rugosidad de tubos y el Diagrama de Moody, fórmulas para medir la Potencia que una bomba agrega al fluido, fórmula para el cálculo de la eficiencia de la bomba y cálculo de sistemas en paralelo. Son técnicas utilizadas para realizar la recolección de información.

2.5 Métodos de análisis de datos.

2.5.1. Metodología.

Método Pre-experimental.

2.5.2. Tipo de estudio.

Considerando la naturaleza de la variable Sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8, seleccionado para la presente investigación. Sea considerado el enfoque descriptivo para demostrar en términos matemáticos la evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta de columnas de carbón en minera Yanacocha.

2.5.3. Análisis de datos.

Para el cálculo de la tubería se utilizó el catálogo; “Tubos y accesorios en acero al carbono soldados y s/s, 3° edición; abril 2009. Este ayudo a evaluar la tubería en cuanto a su resistencia en unión por soldadura y peso por metro de agua.

Tubos y accesorios en acero al carbono soldados y s/s

Normas DIN y ASTM



Tubasol, S.A.

www.tubasol.com

Selección de propiedades de tuberías de acero, se utilizó el libro de MECANICA DE FLUIDOS de ROBERT L. MOTT – SEXTA EDICION. El cual contiene en la página 601 una Tabla F.1 Cedula 40; con especificaciones de tuberías de acero.



Para la selección del motor marca US MOTORS, según el catálogo PDS 514-001 Rev. 09/12; tenemos las características de la gama de motores:

- Caballos de fuerza: 3 -5000 HP
- Velocidades: 3600 – 400 RPM
- Diseño de tensiones: Trifásico / 208 – 6900 Vac / 50 o 60 Hz
- Anexos: totalmente cerrados, ventilados y para lugares peligrosos.

HOLLOSHAFT® Motors
Vertical A.C. Motors, High Thrust



Horsepower: 3 – 5000 HP
Speeds: 3600 – 400 RPM
Design Voltages: Three Phase/208-6900 Vac/50 or 60 Hz
Enclosures: Weather Protected Type I, Weather Protected Type II, Totally Enclosed Fan Cooled, and Hazardous Location
Efficiency Levels: Standard Efficient, Energy Efficient, and Premium Efficient



Tipos de Gabinetes:

- Tiene un diseño de Trinquete (anti retroceso)
- Evita la rotación inversa dentro de los 4,5 grados de rotación.
- Se puede utilizar en ciertas ubicaciones peligrosas.
- Según el fabricante tiene una protección TIPO I, la cual nos dice que está construido para minimizar la entrada de la lluvia, la nieve y las partículas de aire.
- El sistema de ventilación está diseñado para óptimo enfriamiento al cojinete para el empuje y los componentes eléctricos.
- Estos gabinetes pueden adaptarse con un retraso mínimo.
- Estos motores de hierro fundido están disponibles con pinturas resistentes a la corrosión externa.

Enclosure Types

Non-Reverse Backstop Ratchet Design, BALL-O-MATIC®

- First technology of its kind in the market
- Prevents reverse rotation within 4.5 degrees of rotation
- Unlimited depth setting
- Can be used in certain Hazardous Location applications



BALL-O-MATIC®
Backstop Ratchet

Weather Protected Type I (WPI)

Constructed to minimize the entrance of rain, snow and airborne particles. Enclosures exceed NEMA requirements. The ventilation system is designed to provide optimum cooling to the thrust bearing and electrical components and is available in all motor sizes.

Weather Protected Type II (WPII)

Enclosure offers protection against hostile outdoor environments. The special ventilation system minimizes the entrance of high velocity air, moisture and airborne particles into the motor's passages.

Unique design allows the use of standard internal components. Special enclosures can be adapted with minimum delay.

Totally Enclosed Fan Cooled (TEFC) and Hazardous Location

Non-sparking, non-reverse ratchet design. Available for severe environments where destructive dusts, vapors and other harmful substances are found. Perfect for use in hazardous locations where Underwriters Laboratories (UL®) approval is necessary.

CORRO-DUTY®

Cast iron CORRO-DUTY® motors are available with external corrosion-resistant paint and hardware for extremely harsh environments.



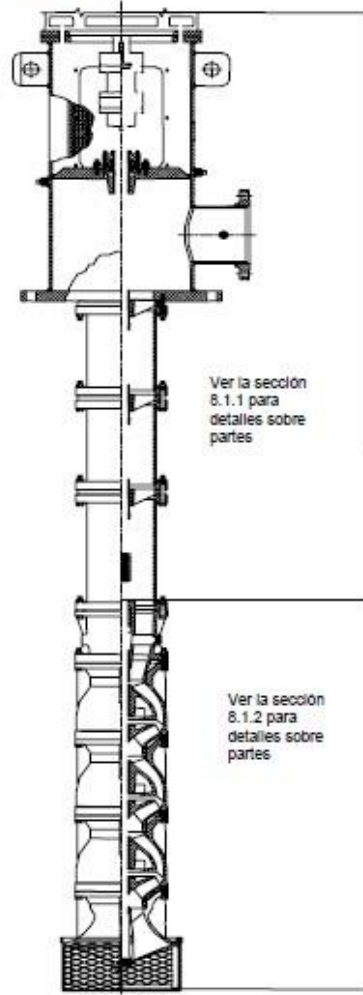
TEFC and Hazardous
Location 3-700 HP

Selección bomba de turbina vertical maraca FLOWSERVE; según el catálogo VTP ESPANOL 71569295 11-04, tenemos las características de la bomba:

- Para pozos profundos.
- Existen tamaños entre 150 mm (6in) a 1300 mm (52in). El tamaño esta expresado en términos del diámetro nominal del tazón y está siempre en pulgadas. El accionamiento que tiene es un eje sólido, este tipo de accionador requiere de un acople ajustable conectado a la bomba. El ensamble de la columna es por brida, la cual conecta el ensamble del cuerpo de tazones al cabezal de descarga y conduce el fluido.
- La bomba cuenta con un colador para evitar que entren partículas extrañas a la bomba. El tipo de colador y de la maya depende de la aplicación.
- Los impulsores son del tipo semi-abiertos estos están debidamente balanceados y colocados en posición sobre el eje.
- La velocidad en la tubería principal no debería ser superior a 2 m/s en la succión y 3 m/s en la descarga.
- El eje es en línea abierta el mismo que es lubricado por el fluido bombeado en unidades acopladas cortas.

8 LISTAS DE PIEZAS Y PLANOS

8.1 Corte transversal: producto lubricado VTP - típica bomba para pozos húmedos



Selección de Válvula de control de bomba impulsora marca BERMAD, Según el catalogo soluciones integrales con válvula de control automático 800.942.6326

- La válvula de control de bombas impulsoras modelo 100-20 es una válvula de retención activa de operación hidráulica, activada por diafragma, que se abre completamente o se cierra en respuestas eléctricas. La válvula aísla a la bomba del sistema durante el arranque y la parada para evitar los efectos de sobrepresión en la tubería.



— MODELO — **100-20**
 (Puerto Interno Reducido)
Serie 600
Válvula Hytrol

•Diseño que Reduce Cavitacion

Datos Técnicos

Modelo 100-20

Tamaño de Válvula		Pulgadas	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	30	36	42	48
		mm.	80	100	150	200	250	300	350	400	460	500	600	750	900	1000	1200
Factor CV	Tipo Globo	Gal./Min. (gpm.)	62	136	229	480	930	1458	1725	2110	2940*	3400*	4020	7900*	11910*	14500*	15800*
		Litros/Seg. (l/s.)	15	32.5	55	115	223	350	414	506	705	816	966	1895	2858	3483	3796
	Tipo Angulo	Gal./Min. (gpm.)	—	135	233	545	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	—	—	—	—
		Litros/Sec. (l/s.)	—	32	56	132	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	—	—	—	—
Longitud equivalente de tubería	Tipo Globo	Pie (ft.)	293	251	777	748	621	654	750	977	983	1125	3005	2130	2862	4232	7028
		Metros (m.)	89.3	76.4	237.1	228.1	189.5	199.4	229	298	300	343	917	650	872	1290	2142
	Tipo Angulo	Pie (ft.)	—	254	751	580	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	—	—	—	—
		Metros (m.)	—	77.6	229	176.9	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	—	—	—	—
Factor K	Tipo Globo	20.6	12.7	23.1	15.7	10.4	8.5	8.9	10.2	8.4	8.8	19.1	10.5	9.7	12.3	17.8	
	Tipo Angulo	—	12.9	22.3	12.2	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	CF**	—	—	—	—	
Líquido desplazado de la cámara de control cuando la válvula abre	Fl. Oz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	U.S. Gal.	0.32	.08	.17	.53	1.26	2.51	4.0	4.0	9.6	9.6	9.6	29.0	42	90	90	
	ml	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Litros	.12	.30	.64	2.0	4.8	9.5	15.1	15.1	36.2	36.2	36.2	110	197	340	340	



Selección de válvula con dispositivo anti cavitación marca BERMAD. Según el catalogo soluciones integrales con válvula de control automático 800.942.6326

100-20K Θ MODELO

Paso Reducido)



Válvula Hytrol con Dispositivo Anti-Cavitante

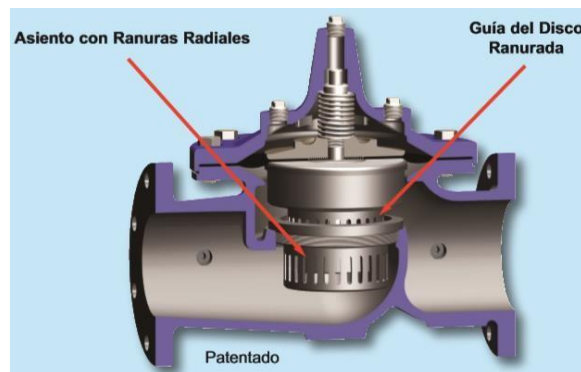
Modelo 100-20K Θ

Valve Size		pulgadas	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	30
		mm.	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	780
Factor Cv	Tipo Globo	Gal./Min. (gpm.)	25	46	98	240	409	680	910	925	1175	1225	1271	3900
		Litros/seg (l/s)	6.0	11.0	23.5	57.7	98	159	219	222	342	348	358	708
Factor Cv	Tipo Angulo	Gal./Min. (gpm.)	—	49	105	230	—	—	—	—	—	—	—	—
		Litros/seg (l/s)	—	11.8	25.2	55	—	—	—	—	—	—	—	—
Equivalente a longitud de tubería	Tipo Globo	Pies (ft)	1435	2191	4244	3404	3884	8107	3359	6472	4185	6981	16582	14633
		Metros (m)	437	668	1294	1038	1184	2471	1024	1973	1276	2122	5054	4460
Equivalente a longitud de tubería	Tipo Angulo	Pies (ft)	—	1931	3697	3257	—	—	—	—	—	—	—	—
		Metros (m)	—	589	1127	993	—	—	—	—	—	—	—	—
K Factor	Tipo Globo		101	111	126	72	65	42	40	67	36	53	106	68
	Tipo Angulo		—	98	110	69	—	—	—	—	—	—	—	—
Liquid Displaced from Control Chamber When Valve Opens	U.S. Gal.		.03	.08	.17	.53	1.26	2.5	4.0	4.0	9.6	9.6	9.6	29.0
	Litros		.12	.30	.64	2.0	4.8	9.5	15.1	15.1	36.2	36.2	36.2	110

Líquido desplazado de la cámara de control cuando la válvula abre.

40

- Para descarga a la atmósfera, la presión máxima de entrada no debe exceder los 150 psi.
- Para presiones diferenciales mayores a 300 psi la velocidad de flujo no debe exceder los 18 pies/s.
- Velocidades de flujo mayores a 25 pies/s no son recomendadas.
- La velocidad mínima recomendada es 1 pie/s.

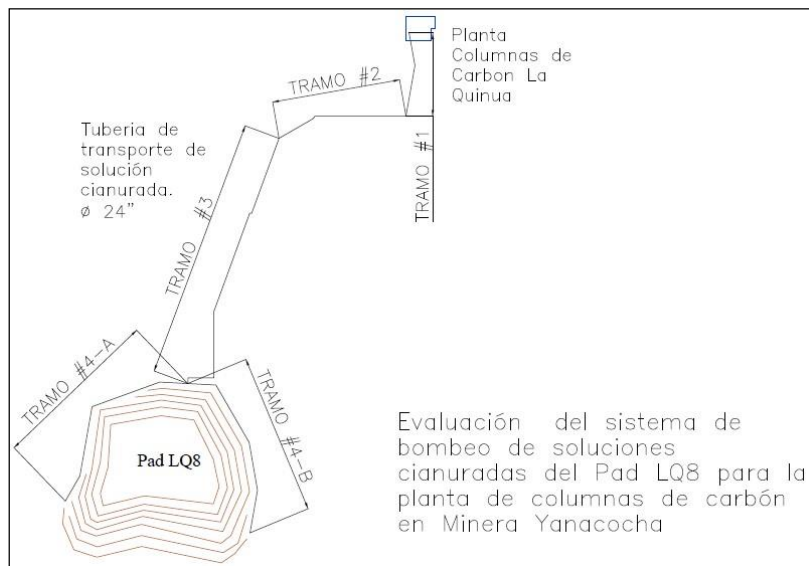


III. RESULTADOS.

3.1 Describir el tipo y longitud de tubería del sistema de bombeo de soluciones cianuradas y sus pérdidas totales en el sistema.

De acuerdo al mapa topográfico de la zona se determinó la longitud total de la tubería para bombear la solución cianurada hacia el el Pad LQ8, en la figura 3.1 se especificaron tramos de tubería los cuales se evaluaron paso a paso para encontrar todas las pérdidas.

Figura 3.1 de sistema de bombeo de solución cianurada del Pad LQ8 para la planta columnas de carbón en Minera Yanacocha. (Fuente: propia)



A continuación, se hizo el análisis de la longitud total de la tubería para la cual el libro de FLUJO DE FLUIDOS en válvulas y accesorios de CRANE nos ayudó a calcular el diámetro de la tubería en base a la tabla; B-11. Flujo de agua en tuberías de acero de cedula 40.

B - 16		APÉNDICE B - INFORMACIÓN TÉCNICA										CRANE			
B-11a. Flujo de agua en tuberías de acero de cedula 40															
Caída de presión en 100 metros y velocidad en tuberías de cedula 40, para agua a 15°C															
Caudal (litros por minuto)	Velocidad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Velocidad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Velocidad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Velocidad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Velocidad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Velocidad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Velocidad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	
12 000	3.93	0.447	2.77	0.184	2.29	0.114	1.75	0.057	1.38	0.032	1.11	0.019	24"	6.20	1.41
14 000	4.59	0.600	3.23	0.246	2.67	0.153	2.05	0.077	1.62	0.044	1.30	0.025		7.23	1.91
16 000	5.24	0.776	3.69	0.317	3.06	0.198	2.34	0.099	1.85	0.056	1.49	0.032		8.26	2.48
18 000	5.90	0.975	4.15	0.398	3.44	0.246	2.63	0.124	2.08	0.069	1.67	0.040			
20 000	6.55	1.19	4.61	0.487	3.82	0.302	2.92	0.152	2.31	0.084	1.86	0.049		1.28	0.020
25 000	8.19	1.83	5.77	0.758	4.77	0.469	3.65	0.234	2.89	0.130	2.32	0.076		1.61	0.030
30 000			6.92	1.08	5.73	0.669	4.38	0.332	3.46	0.183	2.79	0.108		1.93	0.043
35 000			8.07	1.46	6.68	0.903	5.12	0.446	4.04	0.248	3.25	0.144		2.25	0.057
40 000			9.23	1.90	7.64	1.17	5.85	0.578	4.62	0.319	3.72	0.186		2.57	0.074
45 000			10.38	2.39	8.59	1.47	6.58	0.726	5.19	0.400	4.18	0.233		2.89	0.092

Para el rango de velocidades recomendadas del fluido en la tubería se utilizará la siguiente formula:

$$Q = \frac{v * \pi * d_{int}^2}{4}$$

Ahora desparejaremos para v hallar una velocidad promedio;

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * d_{int}^2}$$

$$v = \frac{4 * 0.4444}{3.1416 * 0.5747^2} = 1.7133 \frac{m}{s}$$

El rango de velocidad recomendada para bombear la solución cianurada y para grandes caudales según CRANE recomienda velocidades de 1.03 a $1.93 \frac{m}{s}$ para lo cual tomamos el valor promedio del rango que es $1.73 \frac{m}{s}$.

Calculo del diámetro principal del sistema de bombeo.

$$d_{cal} = \sqrt{\frac{4 * Q}{v * \pi}}$$

$$d_{cal} = \sqrt{\frac{4 * 0.44}{1.73 * 3.1416}} = 0.5716 m$$

Calculo del número de cedula, es un parámetro que mide la resistencia de la tubería.

$$N^{\circ}_{cedula} = \frac{1000 * p_{int} * f_c}{\sigma}$$

Donde:

σ = *esfuerzo admisible en el material de la tubería (bar)*

f_c = *factor de seguridad o de servicio (1.0 – 1.45)*

P_{int} = *presión interna de la tubería (bar)*

A continuación, se hizo el análisis de la longitud total de la tubería, empezando por el tramo #1;

Este tramo #1 tiene un longitud de 620.00 metros de tubería de acero de 24 pulgadas cedula 40 y rugosidad $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$, dos codos estándar de 45° $K = 16 f_T$ También contiene sistema de dos ramas en paralelo este sistema solo se usa para solo cuando se necesita calibra o darle mantenimiento al caudalimetro , dos válvula de compuerta $K = 8 f_T$ (abierto por completo), dos T con conexión estándar en flujo directo $K = 20 f_T$ y un caudalimetro (no tiene obstáculos por

lo tanto no hay pérdidas) y por ultimo dos válvulas de venteo las cuales no generan pérdidas, tiene un desnivel de 0.5 metros.

Figura 3.2; Detalle de corte geométrico del tramo #1. (Fuente: propia)

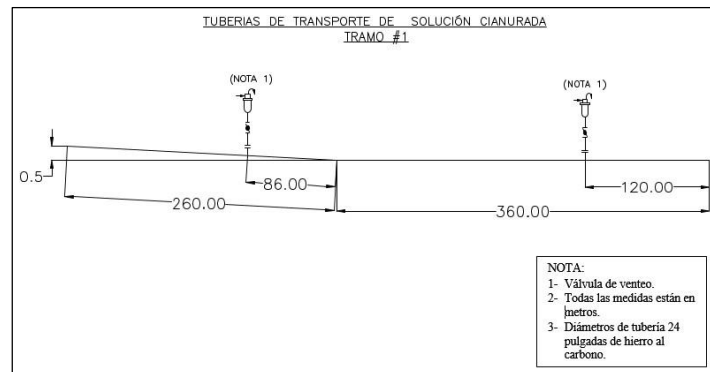
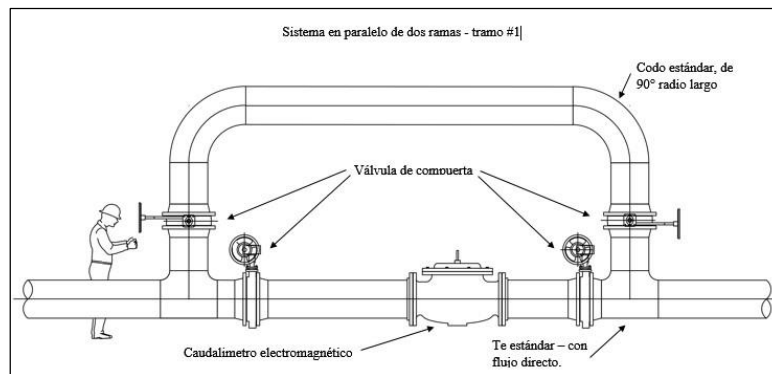


Figura 3.3; Diseño de funcionamiento del bypass para el mantenimiento del caudalímetro. (Fuente: propia)



$$Re = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{(1.7348)(0.5747)(1002.35)}{1.012 \times 10^{-3}} = 98.7482 \times 10^4$$

El factor de fricción de la tubería es; $f = 0.013$ Pérdidas

de energía en la tubería.

$$h_1 = (2 * 20)(0.012)(0.1534) = 0.0736 \text{ m}$$

$$h_2 = (2 * 16)(0.012)(0.1534) = 0.0589 \text{ m}$$

$$h_3 = (2 * 8)(0.012)(0.1534) = 0.0295 \text{ m}$$

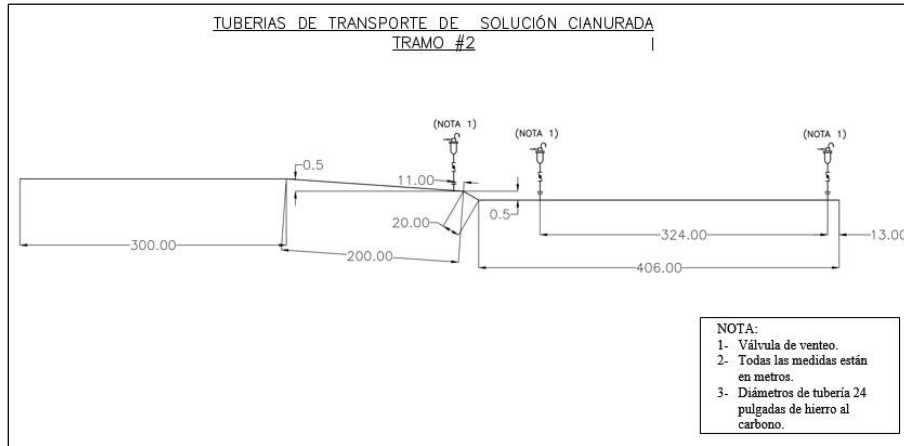
$$h_4 = \left(\frac{620}{0.5747} \right) (0.013)(0.1534) = 2.1514 \text{ m}$$

$$h_L = 0.0736 + 0.0589 + 0.0295 + 2.1514 = 2.31 \text{ m}$$

Evaluación del Tramo #2;

Este tramo #2 tiene una longitud de 926 metros de tubería de acero de 24 pulgadas cedula 40 y rugosidad $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$, tres codos estándar de 45° $K = 16 f_T$, una válvula con dispositivo anti cavitación $K = 106 f_T$ y tres válvulas de venteo las cuales no generan pérdidas, tiene un desnivel de 1 metro.

Figura 3.4; Detalle de corte geométrico del tramo #2. (Fuente: propia)



$$R_e = 98.7482 \times 10^4$$

El factor de fricción de la tubería es; $f = 0.013$ Pérdidas

de energía en la tubería.

$$h_1 = (106)(0.012)(0.1534) = 0.1951 \text{ m}$$

$$h_2 = (48)(0.012)(0.1534) = 0.0884 \text{ m}$$

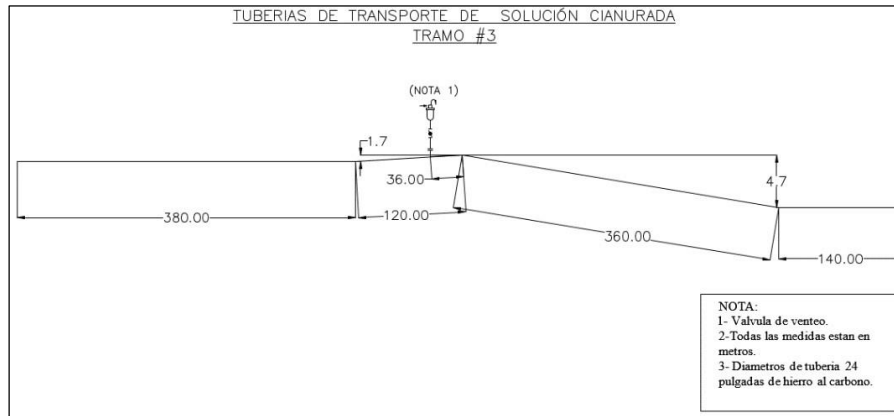
$$h_3 = \left(\frac{926}{0.5747} \right) (0.013)(0.1534) = 3.21 \text{ m}$$

$$h_L = 0.1951 + 0.0884 + 3.21 = 3.49 \text{ m}$$

Evaluación del Tramo #3;

Este tramo #3 tiene una longitud de 1000 metros de tubería de acero de 24 pulgadas cedula 40 y rugosidad $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$, dos codos de 90° de radio largo $K = 20 f_T$, las válvulas de venteo no generan pérdidas y tiene un desnivel de 6.4 metros.

Figura 3.5; Detalle de corte geométrico del tramo #3. (Fuente: propia)



$$R_e = 98.7482 \times 10^4$$

El factor de fricción de la tubería es; $f = 0.013$

Pérdidas de energía en la tubería.

$$h_1 = (2 * 20)(0.012)(0.1534) = 0.0736 \text{ m}$$

$$h_2 = \left(\frac{1000}{0.5747} \right) (0.013)(0.1534) = 3.47 \text{ m}$$

$$h_L = 0.0736 + 3.47 = 3.54 \text{ m}$$

Evaluación del Tramo #4;

Evaluación de la tubería que rodea al Pad la cual es alimentada por la tubería de 24 pulgadas, en este sistema se dividieron en dos tramos la #4 - A y la #4 - B las mismas que se convirtieron en dos ramas en paralelo de 18 pulgadas cedula 40 con un diámetro interior de 0.4287 metros y un área de 0.144 m^2 .

Figura 3.6; Detalle de corte geométrico del Pad LQ8 y los tramos de tubería #4-A y #4-B que lo rodea. (Fuente: propia)

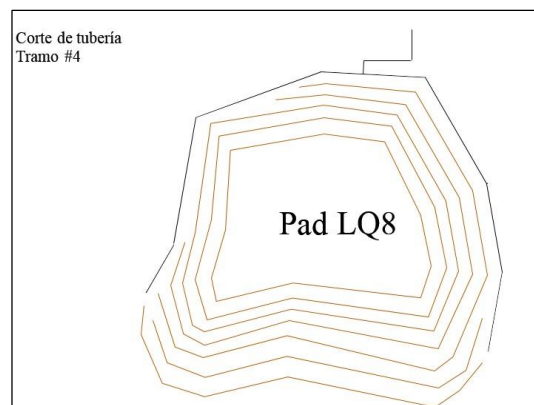
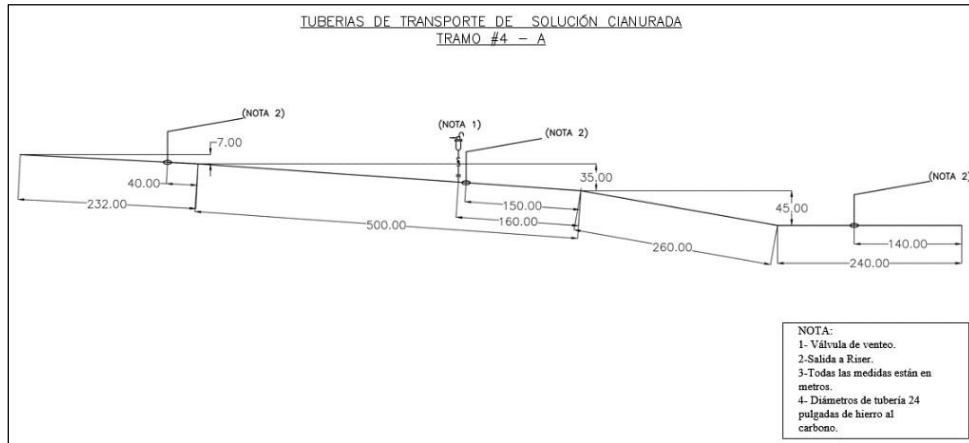


Figura 3.7; Detalle de corte geométrico del tramo #4-B (esta tubería rodea por el lado derecho del Pad). (Fuente: propia)



El tramo #4 – A, rodea al Pad por el lado izquierdo con una longitud 1232 metros de tubería de acero de 18 pulgadas, en ese tramo tenemos unas válvulas de venteo las cuales no generan pérdida porque no hay obstrucción en la tubería, para este tramo hallaremos una velocidad v_a

Como sabemos que $Q_1 = A_a v_a + A_b v_b$

Tenemos los siguientes datos, $A_a = 0.1443 \text{ m}^2$, $D = 0.4287 \text{ m}$ debido a que la pérdida de carga h_a depende de la velocidad v_a respectivamente.

$$K_1 = f_a(1232/0.4287) = 2873.81 f_a$$

$$h_a = (2873.81 * f_a) (v_a^2/2g)$$

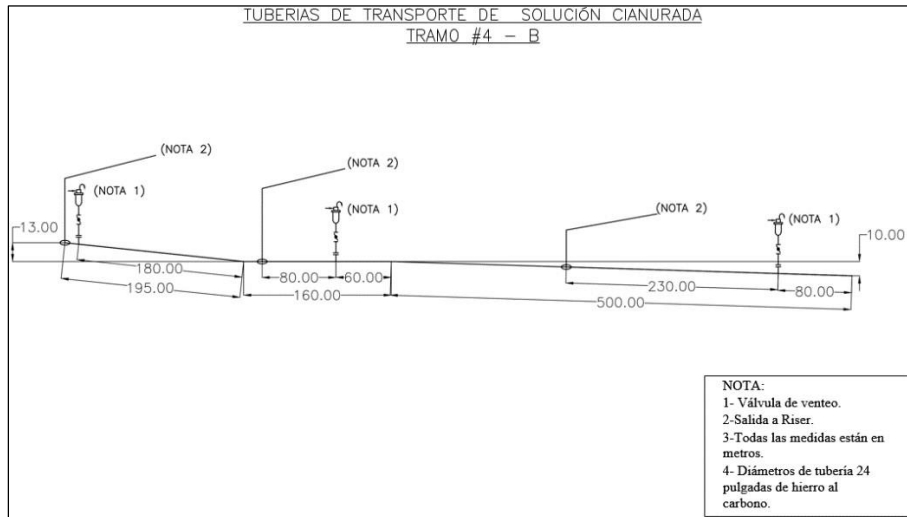
Esta ecuación introduce la incógnita adicional f_a se utilizará un procedimiento iterativo, la rugosidad relativa para el tramo #4 - A auxiliará en la estimación para el primer intento para f_a

$$D/\epsilon = 0.4287/4.6 \times 10^{-5} = 9319.56$$

Del diagrama de Moody se obtiene la estimación lógica para el factor de fricción $f_a = 0.012$ al sustituir este en la ecuación para h_a ;

$$h_a = (2873.81 * 0.012)(v_a^2/2g) = 34.48(v_a^2/2g)$$

Figura 3.8; Detalle de corte geométrico del tramo #4-B (esta tubería rodea por el lado derecho del Pad). (Fuente: propia)



El tramo #4 - B, rodea al Pad por el lado derecho con una longitud 755 metros de tubería de acero de 18 pulgadas, en ese tramo tenemos unas válvulas de venteo las cuales no generan pérdida porque no hay obstrucción en la tubería, para este tramo hallaremos una velocidad v_b

Como sabemos que $Q_1 = A_a v_a + A_b v_b$

De los datos se da, $A_b = 0.1443 \text{ m}^2$, $D = 0.4287 \text{ m}$ debido a que la pérdida de carga h_b depende de la velocidad v_b respectivamente.

$$K_2 = f_b(755/0.4287) = 1761.14 f_b h_b$$

$$= (1761.12 * f_b) (v_b^2/2g)$$

Esta ecuación introduce la incógnita adicional f_b se utilizará un procedimiento iterativo, la rugosidad relativa para el tramo #4 - B auxiliará en la estimación para el primer intento para f_b .

$$D/\epsilon = 0.4287/4.6 \times 10^{-5} = 9319.57$$

Del diagrama de Moody se obtiene la estimación lógica para el factor de fricción $f_b = 0.012$ al sustituir este en la ecuación para h_b ;

$$h_b = (1761.12 * 0.012)(v_b^2/2g) = 21.13(v_b^2/2g)$$

Debido a que $h_a = h_b$ reemplazamos como sigue:

$$h_a = h_b$$

$$34.48(v_a^2/2g) = 21.13(v_b^2/2g)$$

$$v_a = \sqrt{\frac{21.13}{34.48} * \frac{v_b^2}{2g} / 2g}$$

$$v_a = 0.7828 v_b$$

Entonces: $Q_1 = A_a v_a + A_b v_b$ y $v_a = 0.7828 v_b$ reemplazamos como sigue;

$$Q_1 = A_a(0.7828 v_b) + A_b v_b$$

Se resuelve para v_b , y queda:

$$v_b = \frac{Q_{total}}{0.7828 A_a + A_b} = \frac{0.45 \text{ m}^3/\text{s}}{[(0.7828)(0.1443) + 0.1443] \text{ m}^2}$$

$$v_b = 1.7492 \text{ m/s}$$

$$v_a = 0.7828(1.7492) \text{ m/s} = 1.3693 \text{ m/s}$$

Como hicimos estos cálculos con la suposición de un valor para f_a y f_b debe comprobarse la exactitud de esta. Para ambos tramos, se evalúa el número de Reynolds:

$$R_{e_a} = \frac{v_a D_a}{\nu}$$

$$R_{e_a} = \frac{(1.3693)(0.4287)}{1.018 \times 10^{-6}} = 57.66 \times 10^4$$

$$R_{e_b} = \frac{v_b D_b}{\nu}$$

$$R_{e_b} = \frac{(1.7492)(0.4287)}{1.018 \times 10^{-6}} = 73.66 \times 10^4$$

Con este valor y la rugosidad relativa de 9319.56 que se obtuvo antes con el diagrama de Moody, obtiene el nuevo valor de $f_a = 0.01432$ y $f_b = 0.01398$. Debido a que estos son muy diferentes al valor que se supuso, de 0.012 se repiten los cálculos:

$$h_a = (2873.81 * 0.01432)(v_a^2/2g) = 41.1530(v_a^2/2g)$$

$$h_b = (1761.12 * 0.01398)(v_b^2/2g) = 24.6205(v_b^2/2g)$$

Al igualar las pérdidas de carga en las dos ramas queda:

$$h_a = h_b$$

$$41.1530(v_a^2/2g) = 24.6205(v_b^2/2g)$$

Se resuelve para las velocidades y se obtiene,

$$v_a = 0.7735 v_b$$

Esta se sustituye en la ecuación para v_b que se empleó antes, así

$$v_b = \frac{0.45 \text{ m}^3/\text{s}}{[(0.7735)(0.1443) + 0.1443] \text{ m}^2} = 1.7577 \text{ m/s}$$

$$v_a = 0.7735(1.7577) = 1.3596 \text{ m/s}$$

Se vuelve a calcular el número de Reynolds para la los dos tramos.

$$R_{e_a} = \frac{v_a D_a}{\nu}$$

$$R_{e_a} = \frac{(1.3596)(0.4287)}{1.018 \times 10^{-6}} = 5.725 \times 10^5$$

$$R_{e_b} = \frac{v_b D_b}{\nu}$$

$$R_{e_b} = \frac{(1.7577)(0.4287)}{1.018 \times 10^{-6}} = 7.402 \times 10^5$$

No hay cambio significativo en los valores de f_a y f_b . Por lo tanto, los valores calculados de las dos velocidades son correctos. A hora se puede calcular el flujo volumétrico en cada rama, así como la pérdida de carga.

Ahora, calcule los flujos volumétricos Q_a y Q_b

$$Q_a = A_a v_a = 0.1443 \text{ m}^2 (1.3596 \text{ m/s}) = 0.1962 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_b = A_b v_b = 0.1443 \text{ m}^2 (1.7577 \text{ m/s}) = 0.2537 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como $h_{L_{a-b}} = h_a = h_b$ se puede utilizar la ecuación que se da:

$$h_a = 41.1530(v_a^2/2g) = \frac{(41.1530)(1.3596 \text{ m/s})^2}{19.62 \text{ m/s}^2} = 3.88\text{m}$$

$$h_b = 24.6246(v_b^2/2g) = \frac{(24.6246)(1.7577 \text{ m/s})^2}{19.62 \text{ m/s}^2} = 3.88\text{m}$$

A continuación, se hizo la evaluación de las tuberías que rodea al Pad LQ8. Hay 7 derivaciones las cuales son de 6 pulgadas, para esta evaluación se expresarán términos de pérdidas de cargas para cada derivación del sistema. Y se utilizara la técnica de Hardy Cross.

Figura 3.9; Detalle de corte geométrico de derivaciones que ingresan al Pad, para su respectivo riego. (Fuente: propia)

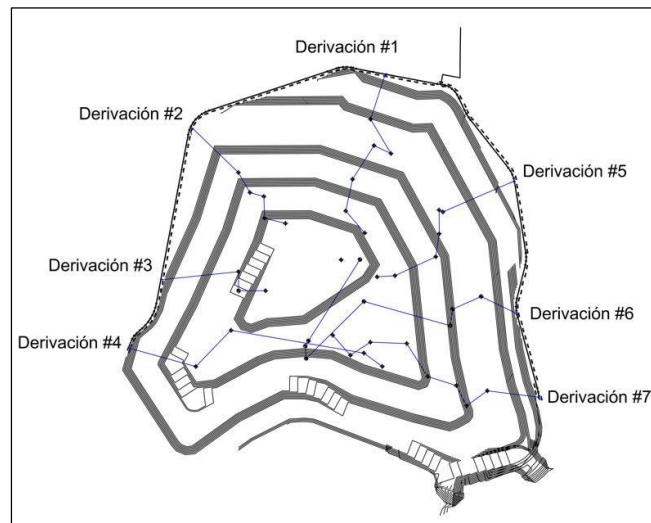
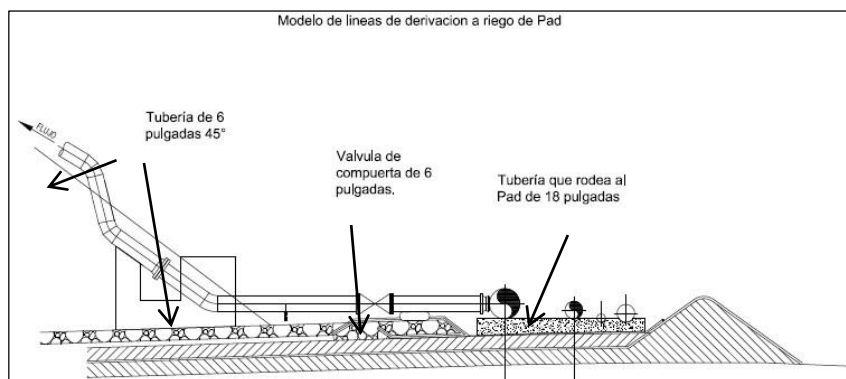


Figura 3.10; Detalle de una derivación que ingresa en la falda del Pad, de diámetros de tuberías y posición de válvulas. (Fuente: propia)

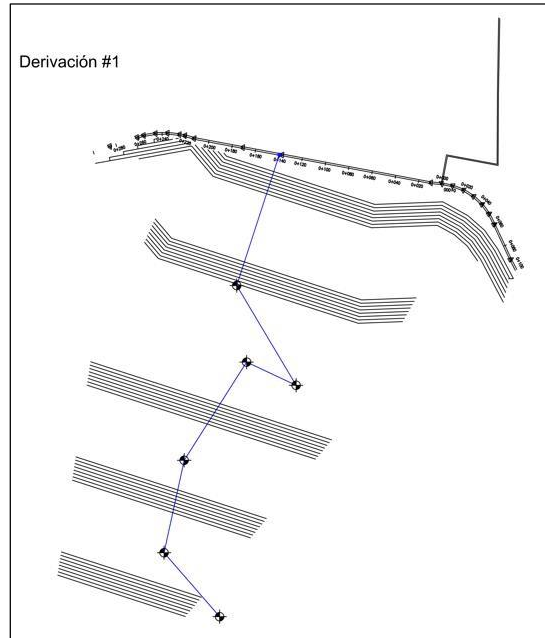


A continuación, el cálculo de la derivación #1

Como primer paso del procedimiento, la pérdida de carga en cada tubería debe expresarse en la forma $h = kQ^2$.

La pérdida de la carga total para esta derivación se debe a una válvula de compuerta con un $k = 8f_T$, 7 codos a 45° con un $k = 16f_T$ y una válvula angular con un $k = 55f_T$

Figura 3.11; Detalle de corte geométrico de la derivación #1. (Fuente: propia)



$$h_1 = (8f_T)(v_1^2/2g) + 7(16f_T)(v_1^2/2g) + (55f_T)(v_1^2/2g) + f_T(L/D)(v_1^2/2g)$$

El factor de fricción f_T para el flujo en la tubería depende del número de Reynolds y por lo tanto del flujo volumétrico. Debido a que este es el objetivo del análisis de la red en este posible momento no es posible determinar dicho valor en forma explícita

La longitud de la tubería es de 508.52 metros, de 6 pulgadas cedula 40 con un diámetro interior de 0.1541 metros y un área de $1.864 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. En la tabla N°3 se encuentra el valor de $f_T = 0.014$ para una tubería de acero de 6 pulgadas con flujo en la zona de turbulencia completa. La solución cianurada a 10°C tiene una viscosidad $\nu = 1.018 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Se introduce el flujo volumétrico Q a la ecuación pues se observa, como antes que,

$$v_{12} = Q_{12}/A_{12}$$

Ahora se sustituyen estos valores en la ecuación para h_a y se simplifica como sea posible.

$$h_1 = [(8f_T) + 7(16f_T) + (55f_T) + f_T(L/D)](v_1^2/2g)$$

$$h_1 = [(8 * 0.014) + 7(16 * 0.014) + (55 * 0.014) + f_T(508.52/0.1541)](v_1^2/2g)$$

$$h_1 = [0.112 + 1.568 + 0.77 + f_T(3299.9)](Q_1^2/2gA^2)$$

$$h_1 = [2.45 + 1998.11(f_T)] \left[\frac{Q_1^2}{2(9.81)(1.864 \times 10^{-2})^2} \right]$$

$$h_1 = [2.45 + 3299.9(f_T)](146.63) Q_1^2$$

También es conveniente expresar el número de Reynolds en términos del flujo volumétrico Q , para calcular el valor de rugosidad relativa D/ϵ .

$$D/\epsilon = 0.1541 \text{ m} / 4.6 \times 10^{-5} \text{ m} = 3350$$

La fórmula para el número de Reynolds debe modificarse así;

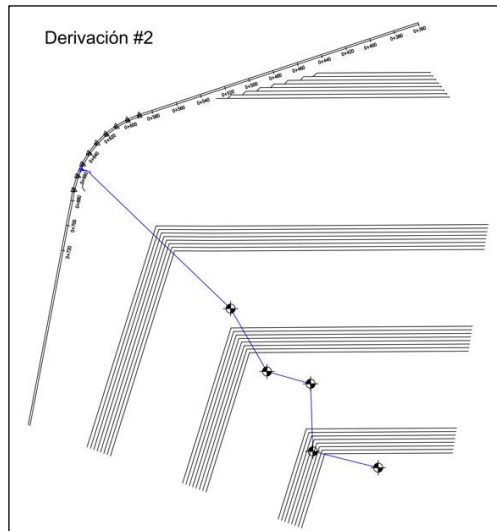
$$R_{e1} = \frac{v_1 D_1}{\nu} = \frac{Q_1 D_1}{A_1 \nu} = \frac{Q_1 (0.1541)}{(1.864 \times 10^{-2})(1.018 \times 10^{-6})}$$

$$R_{e1} = (8.12 \times 10^6) Q_1$$

A continuación, el cálculo de la derivación #2

La pérdida de la carga total para esta derivación se debe a una válvula de compuerta con un $k = 8f_T$, 6 codos a 45° con un $k = 16 f_T$ y una válvula angular con un $k = 55f_T$

Figura 3.12; Detalle de corte geométrico de la derivación #2. (Fuente: propia)



$$h_2 = (8f_T)(v_2^2/2g) + 6(16f_T)(v_2^2/2g) + (55f_T)(v_2^2/2g) + f_T(L/D)(v_2^2/2g)$$

La longitud de la tubería es de 355.17 metros, de 6 pulgadas cedula 40 con un diámetro interior de 0.1541 metros y un área de $1.864 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. En la tabla N°3 se encuentra el valor de $f_T = 0.014$ para una tubería de acero de 6 pulgadas con flujo en la zona de turbulencia completa. La solución cianurada a 10°C tiene una viscosidad $\nu = 1.018 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$h_2 = [(8f_T) + 6(16f_T) + (55f_T) + f_T(L/D)](v_2^2/2g)$$

$$h_2 = [(8 * 0.014) + 6(16 * 0.014) + (55 * 0.014) + f_T(355.17/0.1541)](v_2^2/2g)$$

$$h_2 = [0.112 + 1.344 + 0.77 + f_T(2304.8)](Q_2^2/2gA^2)$$

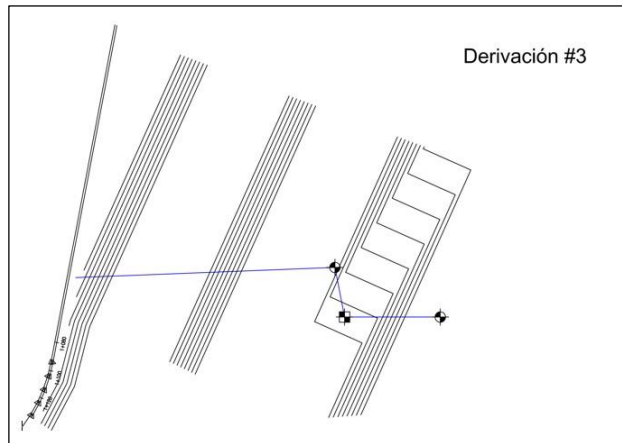
$$h_2 = [2.226 + 1395.56(f_T)] \left[\frac{Q_2^2}{2(9.81)(1.864 \times 10^{-2})^2} \right]$$

$$h_2 = [2.226 + 2304.8(f_T)](146.63) Q_2^2$$

A continuación el cálculo de la derivación #3

La pérdida de la carga total para esta derivación se debe a una válvula de compuerta con un $k = 8f_T$, 4 codos a 45° con un $k = 16 f_T$ y una válvula angular con un $k = 55f_T$

Figura 3.13; Detalle de corte geométrico de la derivación #3. (Fuente: propia)



$$h_3 = (8f_T)(v_3^2/2g) + 4(16f_T)(v_3^2/2g) + (55f_T)(v_3^2/2g) + f_T(L/D)(v_3^2/2g)$$

La longitud de la tubería es de 280.61 metros, de 6 pulgadas cedula 40 con un diámetro interior de 0.1541 metros y un área de $1.864 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. En la tabla N°3 se encuentra el valor de $f_T = 0.014$ para una tubería de acero de 6 pulgadas con flujo en la zona de turbulencia completa. La solución cianurada a 10°C tiene una viscosidad $\nu = 1.018 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$h_3 = [(8f_T) + 4(16f_T) + (55f_T) + f_T(L/D)](v_3^2/2g)$$

$$h_3 = [(8 * 0.014) + 4(16 * 0.014) + (55 * 0.014) + f_T(280.51/0.1541)](v_3^2/2g)$$

$$h_3 = [0.112 + 0.896 + 0.77 + f_T(1820.3)](Q_3^2/2gA^2)$$

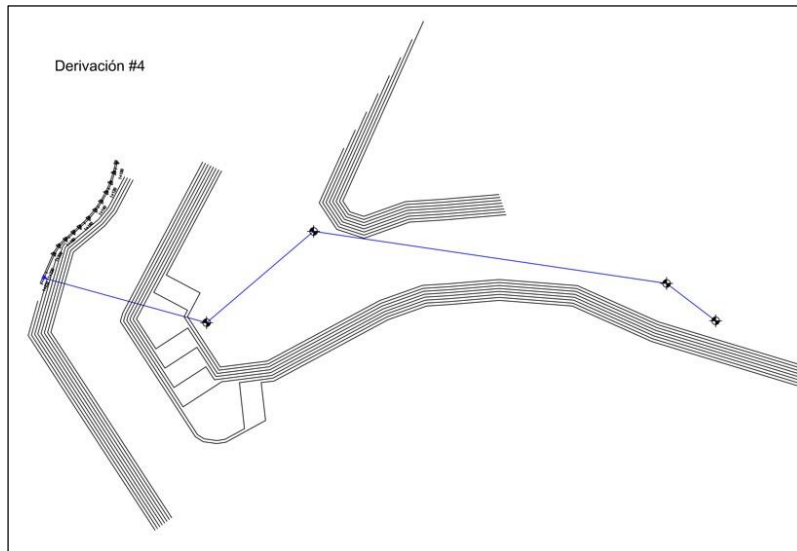
$$h_3 = [1.778 + 1820.3(f_T)] \left[\frac{Q_3^2}{2(9.81)(1.864 \times 10^{-2})^2} \right]$$

$$h_3 = [1.778 + 1820.3(f_T)](146.63) Q_3^2$$

A continuación el cálculo de la derivación #4

La pérdida de la carga total para esta derivación se debe a una válvula de compuerta con un $k = 8f_T$, 5 codos a 45° con un $k = 16 f_T$ y una válvula angular con un $k = 55f_T$.

Figura 3.14; Detalle de corte geométrico de la derivación #4. (Fuente: propia)



$$h_4 = (8f_T)(v_4^2/2g) + 5(16f_T)(v_4^2/2g) + (55f_T)(v_4^2/2g) + f_T(L/D)(v_4^2/2g)$$

La longitud de la tubería es de 680.71 metros, de 6 pulgadas cedula 40 con un diámetro interior de 0.1541 metros y un área de $1.864 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. En la tabla N°3 se encuentra el valor de $f_T = 0.014$ para una tubería de acero de 6 pulgadas con flujo en la zona de turbulencia completa. La solución cianurada a 10°C tiene una viscosidad $\nu = 1.018 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$h_4 = [(8f_T) + 5(16f_T) + (55f_T) + f_T(L/D)](v_4^2/2g)$$

$$h_4 = [(8 * 0.014) + 5(16 * 0.014) + (55 * 0.014) + f_T(680.71/0.1541)](v_4^2/2g)$$

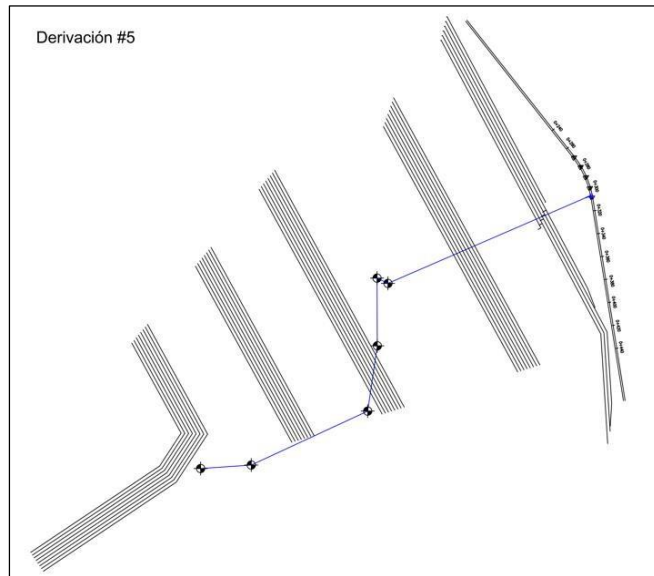
$$h_4 = [0.112 + 1.12 + 0.77 + f_T(4417.3)](Q_4^2/2gA^2)$$

$$h_4 = [2.002 + 4417.3(f_T)] \left[\frac{Q_4^2}{2(9.81)(1.864 \times 10^{-2})^2} \right]$$

$$h_4 = [2.002 + 4417.3(f_T)](146.63) Q_4^2$$

A continuación el cálculo de la derivación #5

La pérdida de la carga total para esta derivación se debe a una válvula de compuerta con un $k = 8f_T$, 7 codos a 45° con un $k = 16 f_T$ y una válvula angular con un $k = 55f_T$ Figura 3.15; Detalle de corte geométrico de la derivación #5. (Fuente: propia)



$$h_5 = (8f_T)(v_5^2/2g) + 7(16f_T)(v_5^2/2g) + (55f_T)(v_5^2/2g) + f_T(L/D)(v_5^2/2g)$$

La longitud de la tubería es de 465.05 metros, de 6 pulgadas cedula 40 con un diámetro interior de 0.1541 metros y un área de $1.864 \times 10^{-2} m^2$. En la tabla N°3 se encuentra el valor de $f_T = 0.014$ para una tubería de acero de 6 pulgadas con flujo en la zona de turbulencia completa. La solución cianurada a $10^\circ C$ tiene una viscosidad $\nu = 1.018 \times 10^{-6} m^2/s$.

$$h_5 = [(8f_T) + 7(16f_T) + (55f_T) + f_T(L/D)](v_5^2/2g)$$

$$h_5 = [(8 * 0.014) + 7(16 * 0.014) + (55 * 0.014) + f_T(465.05/0.1541)](v_5^2/2g)$$

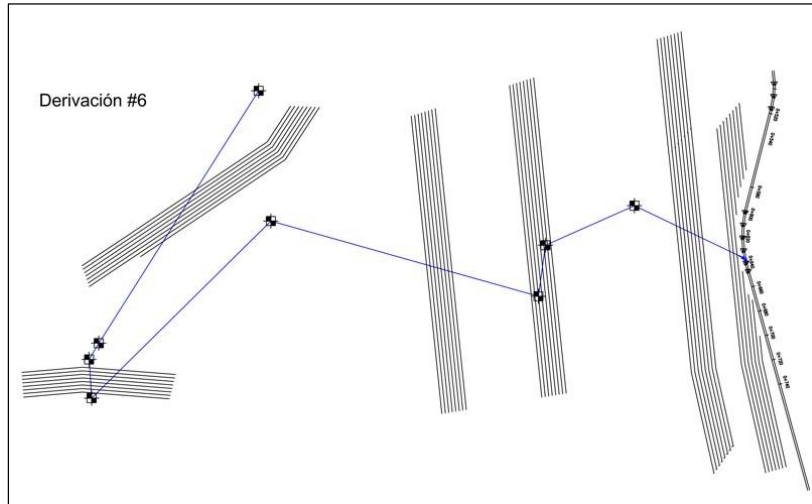
$$h_5 = [0.112 + 1.568 + 0.77 + f_T(3017)](Q_5^2/2gA^2)$$

$$h_5 = [2.45 + 3017(f_T)] \left[\frac{Q_5^2}{2(9.81)(1.864 \times 10^{-2})^2} \right]$$

$$h_5 = [2.45 + 3017(f_T)](146.63) Q_5^2$$

A continuación el cálculo de la derivación #6

La pérdida de la carga total para esta derivación se debe a una válvula de compuerta con un $k = 8f_T$, 9 codos a 45° con un $k = 16 f_T$ y una válvula angular con un $k = 55f_T$ Figura 3.16; Detalle de corte geométrico de la derivación #6. (Fuente: propia)



$$h_6 = (8f_T)(v_6^2/2g) + 9(16f_T)(v_6^2/2g) + (55f_T)(v_6^2/2g) + f_T(L/D)(v_6^2/2g)$$

La longitud de la tubería es de 911.52 metros, de 6 pulgadas cedula 40 con un diámetro interior de 0.1541 metros y un área de $1.864 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. En la tabla N°3 se encuentra el valor de $f_T = 0.014$ para una tubería de acero de 6 pulgadas con flujo en la zona de turbulencia completa. La solución cianurada a 10°C tiene una viscosidad $\nu = 1.018 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$h_6 = [(8f_T) + 9(16f_T) + (55f_T) + f_T(L/D)](v_6^2/2g)$$

$$h_6 = [(8 * 0.014) + 9(16 * 0.014) + (55 * 0.014) + f_T(911.52/0.1541)](v_6^2/2g)$$

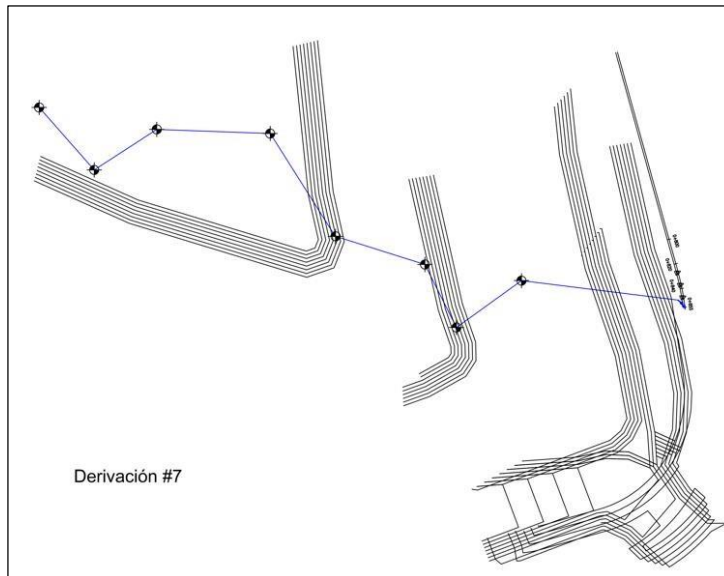
$$h_6 = [0.112 + 2.016 + 0.77 + f_T(5915.12)](Q_6^2/2gA^2)$$

$$h_6 = [2.898 + 5915.12(f_T)] \left[\frac{Q_6^2}{2(9.81)(1.864 \times 10^{-2})^2} \right]$$

$$h_6 = [2.898 + 5915.12(f_T)](146.63) Q_6^2$$

A continuación el cálculo de la derivación #7

La pérdida de la carga total para esta derivación se debe a una válvula de compuerta con un $k = 8f_T$, 9 codos a 45° con un $k = 16 f_T$ y una válvula angular con un $k = 55f_T$ Figura 3.17; Detalle de corte geométrico de la derivación #7. (Fuente: propia)



$$h_7 = (8f_T)(v_7^2/2g) + 9(16f_T)(v_7^2/2g) + (55f_T)(v_7^2/2g) + f_T(L/D)(v_7^2/2g)$$

La longitud de la tubería es de 626.18 metros, de 6 pulgadas cedula 40 con un diámetro interior de 0.1541 metros y un área de $1.864 \times 10^{-2} m^2$. En la tabla N°3 se encuentra el valor de $f_T = 0.014$ para una tubería de acero de 6 pulgadas con flujo en la zona de turbulencia completa. La solución cianurada a $10^\circ C$ tiene una viscosidad $\nu = 1.018 \times 10^{-6} m^2/s$.

$$h_7 = [(8f_T) + 9(16f_T) + (55f_T) + f_T(L/D)](v_7^2/2g)$$

$$h_7 = [(8 * 0.014) + 9(16 * 0.014) + (55 * 0.014) + f_T(626.18/0.1541)](v_7^2/2g)$$

$$h_7 = [0.112 + 2.016 + 0.77 + f_T(4063.5)](Q_7^2/2gA^2)$$

$$h_7 = [2.898 + 4063.5(f_T)] \left[\frac{Q_7^2}{2(9.81)(1.864 \times 10^{-2})^2} \right]$$

$$h_7 = [2.898 + 4063.5(f_T)](146.63) Q_7^2$$

El siguiente paso se estimara el flujo volumétrico para cada derivación ¿Cuál tubería debe tener el flujo volumétrico más elevado y cual el más pequeño?

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_a = 0.1962 m^3/s$$

$$Q_5 + Q_6 + Q_7 = Q_b = 0.2537 m^3/s$$

Se manejaran las suposiciones iniciales;

$$Q_1 = 0.073 \text{ m}^3/\text{s}, Q_2 = 0.056 \text{ m}^3/\text{s}, Q_3 = 0.046 \text{ m}^3/\text{s}, Q_4 = 0.021 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_5 = 0.15 \text{ m}^3/\text{s}, Q_6 = 0.09 \text{ m}^3/\text{s}, Q_7 = 0.0137 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para realizar el siguiente paso necesitamos valores de fricción en cada tubería, con los valores supuestos para los flujos volumétricos se calculan los números de Reynolds y después los valores de fricción.

$$D/\epsilon = 0.1541/4.6 \times 10^{-5} = 3350$$

$$R_{e1} = (8.12 \times 10^6)Q_1 = (8.12 \times 10^6)(0.073 \text{ m}^3/\text{s}) = 592760$$

$$R_{e2} = (8.12 \times 10^6)Q_2 = (8.12 \times 10^6)(0.056 \text{ m}^3/\text{s}) = 454720$$

$$R_{e3} = (8.12 \times 10^6)Q_3 = (8.12 \times 10^6)(0.046 \text{ m}^3/\text{s}) = 373520$$

$$R_{e4} = (8.12 \times 10^6)Q_4 = (8.12 \times 10^6)(0.021 \text{ m}^3/\text{s}) = 170520$$

$$R_{e5} = (8.12 \times 10^6)Q_5 = (8.12 \times 10^6)(0.15 \text{ m}^3/\text{s}) = 1218000$$

$$R_{e6} = (8.12 \times 10^6)Q_6 = (8.12 \times 10^6)(0.09 \text{ m}^3/\text{s}) = 730800$$

$$R_{e7} = (8.12 \times 10^6)Q_7 = (8.12 \times 10^6)(0.0137 \text{ m}^3/\text{s}) = 111244$$

A hora utilizaremos la siguiente ecuación para calcular el factor de fricción de cada tubería:

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

$$f_1 = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(3350)} + \frac{5.74}{(592760)^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0162$$

En la forma similar, se calcula $f_2 = 0.0165$, $f_3 = 0.0167$, $f_4 = 0.0181$, $f_5 = 0.0156$, $f_6 = 0.016$, $f_7 = 0.0192$

A hora calcular $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$ sustituya los factores de fricción y suponga valores de Q en las ecuaciones siguientes:

$$h_1 = [2.45 + 3299.9(f_T)](146.63)Q_1^2 = k_1Q_1^2 \quad h_1 = [2.45 + 3299.9(0.0162)](146.63)Q_1^2 = 6744.51Q_1^2$$

Por lo tanto $k_1 = 6744.51$. Al terminar el cálculo se obtiene:

$$h_1 = 6744.51(0.073)^2 = 35.94 \text{ m}$$

Para la derivación #2

$$h_2 = [2.226 + 2304.8(f_T)](146.63)Q_2^2 = k_2Q_2^2 \quad h_2 = [2.226 + 2304.8(0.0165)](146.63)Q_2^2 = 5902.62Q_2^2 \quad h_2 = 5902.62(0.056)^2 = 18.51 \text{ m}$$

Para la derivación #3

$$h_3 = [1.778 + 1820.3(f_T)](146.63)Q_3^2 = k_3Q_3^2 \quad h_3 = [1.778 + 1820.3(0.0167)](146.63)Q_3^2 = 4718.11Q_3^2 \quad h_3 = 4718.11(0.046)^2 = 9.98 \text{ m}$$

Para la derivación #4

$$h_4 = [2.002 + 4417.3(f_T)](146.63)Q_4^2 = k_4Q_4^2 \quad h_4 = [2.002 + 4417.3(0.0181)](146.63)Q_4^2 = 12017Q_4^2 \quad h_4 = 12017(0.021)^2 = 5.3 \text{ m}$$

Para la derivación #5

$$h_5 = [2.45 + 3017(f_T)](146.63)Q_5^2 = k_5Q_5^2 \quad h_5 =$$

$$[2.45 + 3017(0.0156)](146.63)Q_5^2 = 7260.4Q_5^2 \quad h_5$$

$$= 7260.4(0.15)^2 = 163.4 \text{ m}$$

Para la derivación #6

$$h_6 = [2.898 + 5915.12(f_T)](146.63)Q_6^2 = k_6Q_6^2$$

$$h_6 = [2.898 + 5915.12(0.016)](146.63)Q_6^2 = 14302Q_6^2$$

$$h_6 = 14302(0.09)^2 = 115.85 \text{ m}$$

Para la derivación #7

$$h_7 = [2.898 + 4063.5(f_T)](146.63)Q_7^2 = k_7Q_7^2 \quad h_7 =$$

$$[2.898 + 4063.5(0.0192)](146.63)Q_7^2 = 11865Q_7^2$$

$$h_7 = 11865(0.0137)^2 = 2.22 \text{ m}$$

Proceder alrededor de cada circuito para sumar algebraicamente todos los valores de h con la convección de signos.

Para circuito 1,

$$\Sigma h_1 = h_1 - h_2 = 35.94 - 18.51 = 17.43$$

Para circuito 2,

$$\Sigma h_2 = h_2 - h_3 = 18.51 - 9.98 = 8.53$$

Para el circuito 3,

$$\Sigma h_3 = h_3 - h_4 = 9.98 - 5.3 = 4.68$$

Para el circuito 4,

$$\Sigma h_4 = h_5 - h_6 = 163.4 - 115.85 = 47.55$$

Para el circuito 5,

$$\Sigma h_5 = h_6 - h_7 = 115.85 - 2.22 = 113.63$$

Los valores correctos para las tres tuberías son:

$$2k_1Q_1 = (2)(6744.51)(0.073) = 984.7$$

$$2k_2Q_2 = (2)(5902.62)(0.056) = 661.1$$

$$2k_3Q_3 = (2)(4718.11)(0.046) = 434.1$$

$$2k_4Q_4 = (2)(12017)(0.021) = 504.7$$

$$2k_5Q_5 = (2)(7260.4)(0.15) = 2178.12$$

$$2k_6Q_6 = (2)(14302)(0.09) = 2574.36$$

$$2k_7Q_7 = (2)(11865)(0.0137) = 325.1$$

Para el circuito 1,

$$\Sigma(2kQ)_1 = 984.7 + 661.1 = 1645.8$$

Para el circuito 2,

$$\Sigma(2kQ)_2 = 661.1 + 434.1 = 1095.2$$

Para el circuito 3,

$$\Sigma(2kQ)_3 = 434.1 + 504.7 = 938.8$$

Para el circuito 4,

$$\Sigma(2kQ)_4 = 2178.12 + 2574.36 = 4752.48$$

Para el circuito 5,

$$\Sigma(2kQ)_5 = 2574.36 + 325.101 = 2899.461$$

A hora calcular el ajuste para las tasa de flujo ΔQ en cada circuito,

$$\Delta Q_1 = \frac{\Sigma h_1}{\Sigma(2kQ)_1} = \frac{17.43}{1645.8} = 0.012$$

$$\Delta Q_2 = \frac{\Sigma h_2}{\Sigma(2kQ)_2} = \frac{8.53}{1095.2} = 0.0078$$

$$\Delta Q_3 = \frac{\Sigma h_3}{\Sigma(2kQ)_3} = \frac{4.68}{938.8} = 0.005$$

$$\Delta Q_4 = \frac{\Sigma h_4}{\Sigma(2kQ)_4} = \frac{47.55}{4752.48} = 0.01$$

$$\Delta Q_5 = \frac{\Sigma h_5}{\Sigma(2kQ)_5} = \frac{113.63}{2899.46} = 0.039$$

Los valores de ΔQ son estimaciones del error en los valores que se supuso originalmente para Q . Se calcula el nuevo valor para Q .

$$Q'_2 = Q_2 - \Delta Q_1 = 0.056 - 0.012 = 0.044 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_3 = Q_3 - \Delta Q_2 = 0.046 - 0.0078 = 0.0382 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_4 = Q_4 - \Delta Q_3 = 0.021 - 0.005 = 0.016 \text{ m}^3/\text{s}$$

A hora calcule el nuevo valor para Q'_1 . Recuerde que la tubería forma parte de los tres circuitos. Por lo tanto Q_1 aumenta su valor absoluto en una cantidad igual a la suma de ΔQ_1 y ΔQ_2 . Es decir,

$$Q'_1 = 0.073 + \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3$$

$$Q'_1 = 0.073 + 0.012 + 0.0078 + 0.005 = 0.0978 \text{ m}^3/\text{s}$$

Recuerde que la suma de los valores absolutos de los flujos volumétricos en las cuatro tuberías deben ser igual a $Q_a = 0.1962 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_a = 0.1962 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$0.0978 + 0.044 + 0.0382 + 0.016 = Q_a = 0.196 \text{ m}^3/\text{s}$$

A continuación los siguientes valores para Q .

$$Q'_7 = Q_7 - \Delta Q_4 = 0.0137 - 0.01 = 0.0037 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_6 = Q_6 - \Delta Q_5 = 0.09 - 0.039 = 0.051 \text{ m}^3/\text{s}$$

A hora calcule el nuevo valor para Q'_5 . Recuerde que la tubería forma parte de los dos circuitos. Por lo tanto Q_5 aumenta su valor absoluto en una cantidad igual a la suma de ΔQ_4 y ΔQ_5 . Es decir,

$$Q'_5 = 0.15 + \Delta Q_4 + \Delta Q_5$$

$$Q'_5 = 0.15 + 0.01 + 0.039 = 0.199 m^3/s$$

Recuerde que la suma de los valores absolutos de los flujos volumétricos en las tres tuberías deben ser igual a $Q_b = 0.2537 m^3/s$.

$$Q_5 + Q_6 + Q_7 = Q_b = 0.2537 m^3/s$$

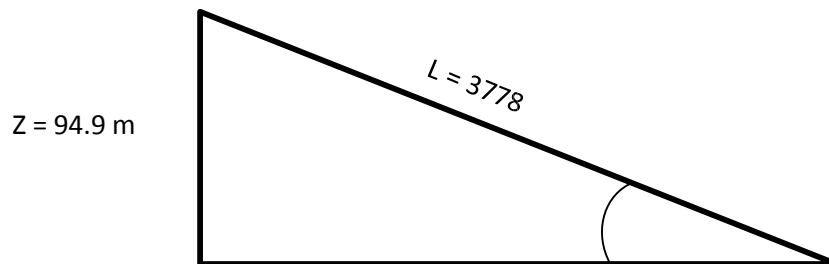
$$0.199 + 0.051 + 0.0037 = Q_b = 0.2537 m^3/s$$

3.2 Seleccionar la bomba para el sistema de Bombeo de soluciones cianuradas.

Valor de diseño de flujo volumétrico para bañar el Pad.

$$\text{Caudal } (Q) = 1600 m^3/h$$

Determinación de cotas geodésicas.



Composición de solución cianurada.

Para el proceso de lixiviación del material molido se usara una solución de cianuro de sodio, que contiene 2.35 kg de cianuro por cada tonelada de agua, para hallar la densidad y la viscosidad de esta solución cianurada se compararon unidades:

Agua; 1 tonelada = $1 m^3 = 1000 dm^3 = 1000$ litros

NaCN; 2.35 kg = 2350 gramos.

Por medio de estos datos se mezcló 1 litro de agua y 2.35 gramos de NaCN, para lo cual se utilizó, una probeta de 1000 mililitros y una balanza de 2.5 kilogramos. El resultado de la solución fue:

1002.35 gramos, para hallar la densidad se utilizó la siguiente formula:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1.00235kg}{0.001m^3} = 1002.35 \frac{kg}{m^3}$$

La viscosidad se midió con un instrumento el cual nos dio el resultado de 1.02 centipoise (viscosidad dinámica). La conversión al sistema internacional es por la siguiente relación 1000 cP es igual 1 Pa-s, por regla de tres simple se obtiene la conversión al sistema internacional (SI).

$$viscosidad\ dinámica\ (\eta) = \frac{1.02\ cP * 1Pa \cdot s}{1000\ cP} = 1.02 \times 10^{-3}\ Pa \cdot s$$

Para los cálculos necesitaremos encontrar la viscosidad cinemática la misma que resulta dividiendo la viscosidad dinámica entre la densidad, a continuación:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{1.02 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}}{1002.35 \frac{kg}{m^3}} = 1.018 \times 10^{-6} m^2/s$$

A continuación se calcula el peso específico del fluido, antes se debe encontrar la masa para poder calcular el peso específico, esta se da de la siguiente forma:

$$w = m * g = 1.00235\ kg * 9.81\ m/s^2 = 9.8331\ kg * \frac{m}{s^2} = 9.8331\ N$$

$$\gamma = \frac{w}{V} = \frac{9.8331\ N}{0.001\ m^3} = 9833.1\ N/m^3 = 9.8331\ KN/m^3$$

Válvulas y accesorios.

Válvula o accesorio	Coefficiente de resistencia K	Cantidad
Válvula de pie con filtro de 8 pulgadas (actuador ascendente).	420 f_T	2
Válvula de compuerta de 24 pulgadas.	8 f_T	2

Codos estándar, de 90° radio largo de 24 pulgadas.	$20 f_T$	5
Conexión estándar en T de 24 pulgadas (paso directo).	$20 f_T$	2
Codo estándar a 45° de 24 pulgadas.	$16 f_T$	5
Caudalímetro electromagnético 24 pulgadas.	No hay obstáculos en la tubería por lo tanto no hay pérdida de presión	1
Válvula de retención y cierre progresivo de 8 pulgadas.	$15.7 f_T$	4
Válvula con dispositivo anti-cavitación de 24 pulgadas.	$106 f_T$	1

Análisis del rendimiento del sistema.

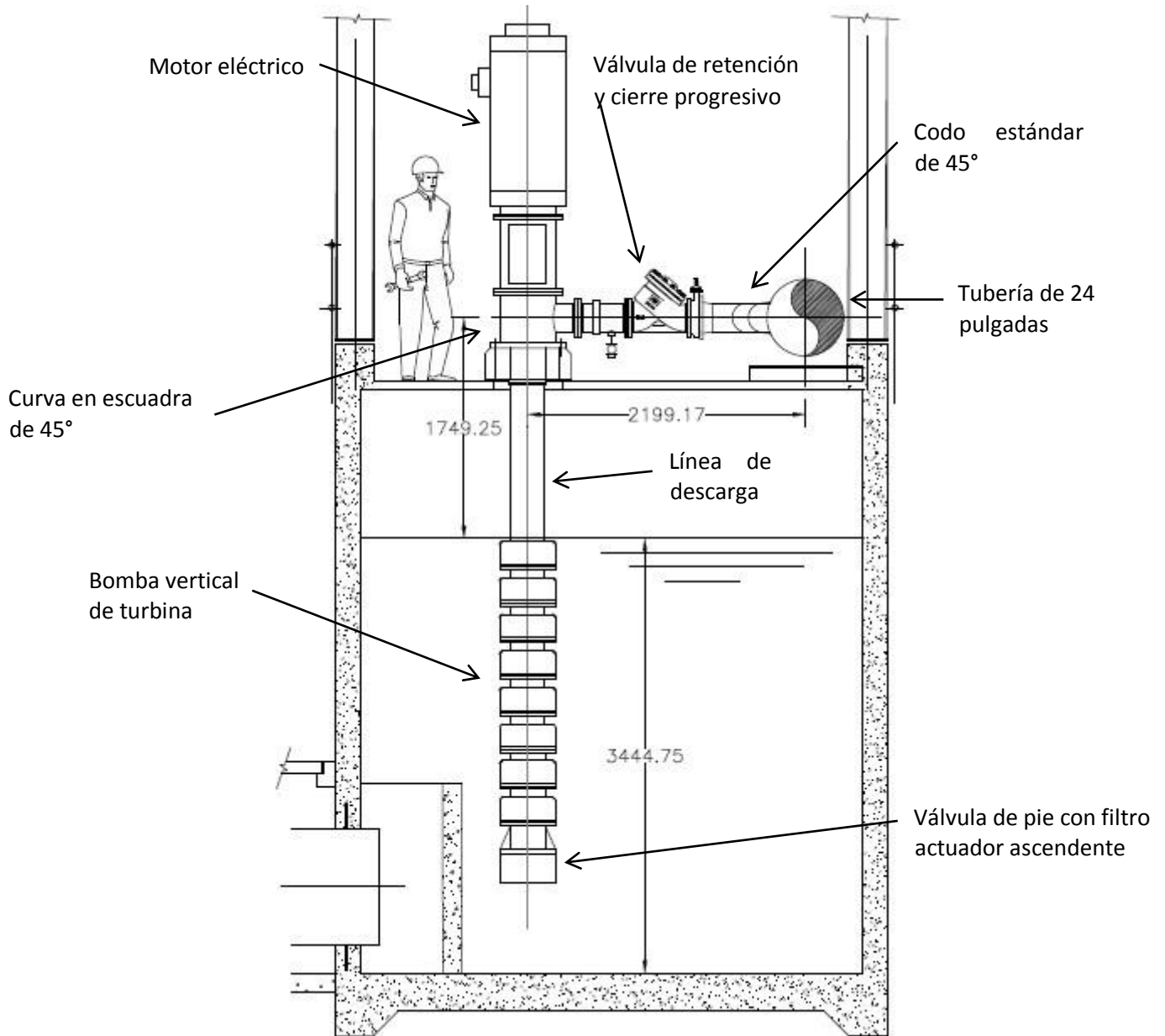
Primero se hará el análisis de una sola bomba, hasta antes del ingreso de la línea de 24 pulgadas, para lo siguiente se utiliza la superficie del depósito y los puntos de referencia se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

La carga total es:

$$h_A = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 - z_1 + h_L + \frac{v_2^2}{2g}$$

Figura 3.18; Bomba de Turbina Vertical (fuente propia)



Para la solución cianurada a 15°C, $\rho = 1002.35 \text{ kg/m}^3$ y

$$\eta = 1.02 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$R_e = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{(3.48)(0.2027)(1002.35)}{1.02 \times 10^{-3}} = 6.932 \times 10^5$$

Como el flujo es turbulento, el valor de f debe evaluarse a partir del diagrama de Moody

(Anexo Hoja 02). Para la tubería de acero, $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}m$

$$D/\epsilon = 0.2027/(4.6 \times 10^{-5}) = 4934.8$$

$$R_e = 6.932 \times 10^5$$

Por lo tanto, $f = 0.015$

A continuación cálculos de pérdida de energía:

$$h_1 = (0.014)(420)(0.62) = 3.65 \text{ m}$$

$$h_2 = (0.015) \left(\frac{1.689}{0.2027} \right) (0.62) = 0.08 \text{ m}$$

$$h_3 = (0.015)(15)(0.62) = 0.14 \text{ m}$$

$$h_4 = (0.014)(55)(0.62) = 0.48 \text{ m } h_5$$

$$= (0.014)(16)(0.62) = 0.14 \text{ m } h_6 =$$

$$1.0(0.62) = 0.62 \text{ m}$$

A hora determinamos la pérdida total h_L

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 \quad h_L = 3.65 +$$

$$0.08 + 0.14 + 0.48 + 0.14 + 0.62 = 5.11 \text{ m}$$

Hasta aquí hemos calculado las pérdidas de la bomba.

Características del fluido en la línea de descarga de 24 pulgadas.

$$Q_T = 1620 \frac{m^3}{h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.45 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este caudal total ingresara a una tubería de 24 pulgadas la cual transportara la solución cianurada hasta la falda del Pad.

PASO 1:

Fluido solución cianurada a 15°C (mezcla de agua con cianuro de sodio)

$Q = 1620m^3/h$, mínimo.

Fuente de depósito inferior; $P = 0$ psig; elevación = 3.44 metros sobre la bomba.

Destino intemperie superior; $P = 0$ psig; elevación 94.9 metros

PASO 2:

Solución cianurada a 15°C ; $\gamma = 9.8331\text{KN}/\text{m}^3$; $\nu = 1.018 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$; $P_{vp} = 1.2367\text{KPa}$; $h_{vp} = 0.1258 \text{m}$

PASO 3:

La longitud en la línea de descarga es 3778 m.

La línea de descarga ésta constituida por tubería de acero soldado de 24 pulgadas cedula 40; $D = 0.5747 \text{m}$, $A = 0.2594 \text{m}^2$

Por último paso se calcula las pérdidas de energía por la fricción en toda la tubería tanto las mismas que están en serie como en paralelo, pérdidas menores por válvulas y accesorios.

En el tramo # 1 tenemos un total de:

$$h_{Ltotal} = 2.31 \text{ m}$$

En el tramo # 2 tenemos un total de:

$$h_{Ltotal} = 3.49 \text{ m}$$

En el tramo # 3 tenemos un total de:

$$h_{Ltotal} = 3.51 \text{ m}$$

En el tramo # 4 - A y # 4 - B, están en paralelo por lo tanto son iguales

$$h_{Ltotal} = 3.88 \text{ m}$$

Las derivaciones de riego al Pad.

$$h_{Ltotal} = 358.93 \text{ m}$$

A este valor de h_A se le llama carga total sobre la bomba. Algunos fabricantes de bombas se refieren a él como la carga dinámica total (TDH).

$$h_{LTOTAL} = 5.11m + 2.31 + 3.49m + 3.54m + 3.88m + 358.93m = 377.26m$$

A hora calculemos h_A de la ecuación general de la energía se llega a:

$$h_A = (z_2 - z_1) + h_{LTOTAL}$$

$$h_A = 94.9 + 377.23 = 472.16 m$$

Potencia del sistema de bombeo de soluciones cianuradas.

La potencia del sistema de bombeo se calcula como sigue:

$$P_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q$$

$$P_A = 472.13 \frac{N \cdot m}{N} \times 9833.1 \frac{N}{m^3} \times 0.45 \frac{m^3}{s} = 2089125.42 \frac{N \cdot m}{s}$$

Como $1.0 W = 1.0 N \cdot m/s$, este resultado se expresa en watts como sigue:

$$P_A = 2089.13 KW$$

En caballos de fuerza (hp) $0.75 KW$ es igual a 1 HP, el factor de conversión resulta.

$$P_A = 2785.51 HP$$

Se seleccionó una bomba de marca FLOWERVE que tiene una potencia según placa de 500.1 HP la misma que funciona a una velocidad de 1780 rpm y una altura de bombeo 95 m. Se eligió esta marca por ser muy común en los procesos mineros.

Eficiencia de la bomba hidráulica.

$$e_M = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia de entrada a la bomba}} = \frac{P_A}{P_I}$$

$$e_M = \frac{464.25}{500} = 0.92 \%$$

3.3 Evaluar el sistema vigente y su funcionamiento óptimo.

Se calcula por separado:

La carga de presión en los puntos de entrada y salida es cero por que están a la atmosfera.

$$\frac{P_2 - P_1}{\cancel{\gamma}}$$

Calculo de la $NPSH_A$

En primer lugar encontrar la carga de presión estática h_{sp} :

$$P_{abs} = 61.7kPa - 0 = 61.7kPa$$

Sabemos que;

$$h_{sp} = \frac{P_{abs}}{\gamma}$$

$$h_{sp} = \frac{61700 \text{ N/m}^2}{9833.1 \text{ N/m}^3} = 6.27 \text{ m}$$

Ahora, con base en la elevación del tanque, tenemos.

$$h_s = 3.44 \text{ m}$$

Se tiene la pérdida total en la línea de succión;

$$h_f = 1.657 \text{ m}$$

Por último la carga de presión de vapor es:

$$h_{vp} = 0.1258 \text{ m}$$

Al combinar estos términos queda;

$$NPSH_A = h_{sp} + h_s - h_f - h_{vp}$$

$$NPSH_A = 6.27m + 3.44 \text{ m} - 1.657 \text{ m} - 0.1258 \text{ m} = 7.93 \text{ m}$$

Calculamos la $NPSH_R$ máxima permisible para la bomba,

$$NPSH_A > 1.10NPSH_R$$

Al reordenar, obtenemos

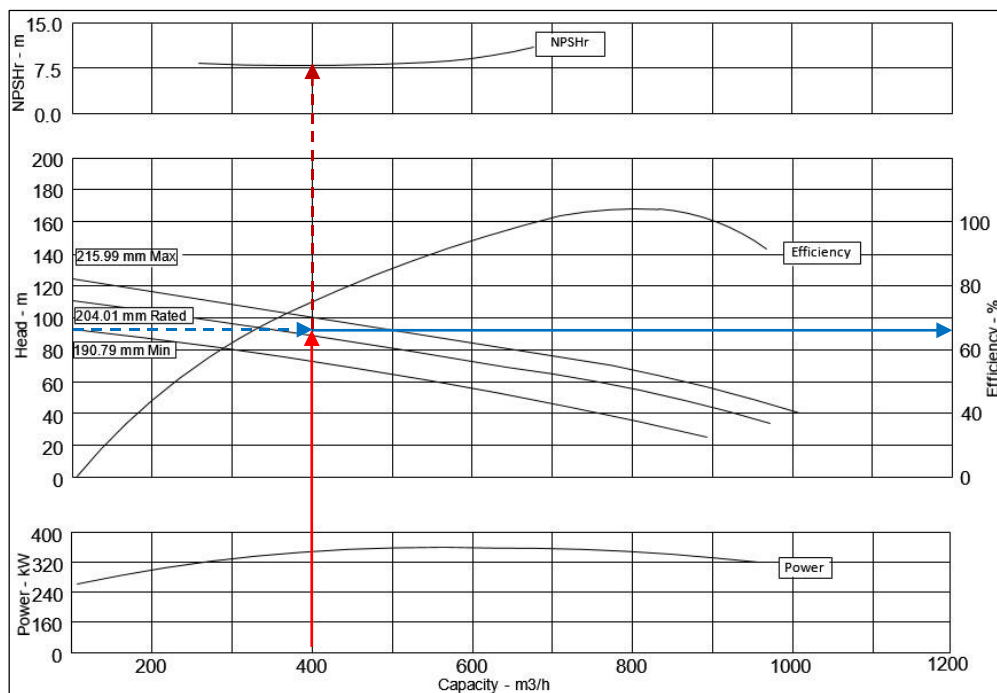
$$NPSH_R < \frac{NPSH_A}{1.10} = \frac{7.93}{1.10} = 7.21 \text{ m}$$

La bomba que trabajara para este sistema será.

Bomba: hoja de datos de rendimiento.

Condiciones de funcionamiento	
Flujo nominal	400.6 m ³ / h
Cabeza nominal	95.0 m
NPSH disponible, nominal	Amplio
Rendimiento	
Velocidad	1780 rpm
Diámetro del impulsor, nominal	215.01 mm
Diámetro del impulsor, máximo	204.89 mm
Diámetro del impulsor, mínimo	190.79 mm
Eficiencia	79.4 %
NPSH requerido / margen requerido	7.21 m

Figura 3.19; grafica compuesta para del rendimiento de una bomba de turbina vertical.



3.4 Evaluar los costos originados en el estudio y su recuperación factible.

Análisis técnico económico.

En esta sesión se describe el cálculo de costo de fabricación, para poder obtener el VAN y el TIR de la Evaluación del sistema de soluciones cianuradas del Pad LQ8 para la planta Columnas de Carbón en Minera Yanacocha.

El costo de fabricación está constituido por la suma de costos que incluyen el valor total de mano de obra o personal necesario para el montaje y puesta en marcha del proyecto, valor total de equipos y herramientas las que serán utilizadas por el personal técnico e ingeniería y valor total de material de aplicación/consumo este será necesario para su construcción, proceso en el transporte de la solución cianurada y un funcionamiento eficiente.

Cuadro 3.1 – Composición de Costos

MANO DE OBRA (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)					
ITEM	PUESTO DE TRABAJO	N personas	Canto H-H	Valor H/h	Valor Total
1	SUPERVISOR ELECTRICO, MECANICO Y PREV. DE SEG.	4	960	US\$ 17.42	US\$ 66,892.80
2	TEC. ELECTRICISTA	2	960	US\$ 8.53	US\$ 16,377.60
3	OPERARIO ELECTRICISTA	6	960	US\$ 7.96	US\$ 45,849.60
4	OFICIAL ELECTRICISTA	6	960	US\$ 6.89	US\$ 39,686.40
5	TEC. SOLDADOR	2	864	US\$ 14.42	US\$ 24,917.76
6	OPERARIO SOLDADOR	8	864	US\$ 12.30	US\$ 85,017.60
7	OFICIAL SOLDADOR	8	864	US\$ 10.20	US\$ 70,502.40
8	AYUDANTE	6	960	US\$ 5.96	US\$ 34,329.60
9	CADISTA	2	576	US\$ 8.71	US\$ 10,033.92
VALOR TOTAL DE LA MANO DE OBRA SER EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)					USD 393,607.68 POR EL
ITEM	DESCRIPCION	N herra.	H-Mal	C.UNITARIO	V.TOTAL
1	Maquina de Soldar	8	864.00	US\$ 0.45	US\$ 3,110.40
2	Pinza Amperimetrica Marca Fluke	6	960.00	US\$ 0.18	US\$ 1,036.80
3	Kid de Herramientas Básicas	6	960.00	US\$ 0.98	US\$ 5,644.80
4	Taladro manual eléctrico 3/4"	3	921.00	US\$ 0.35	US\$ 967.05
5	Pistola generadora de calor	3	921.00	US\$ 0.15	US\$ 414.45
6	Andamios 2 cuerpos	10	748.00	US\$ 10.00	US\$ 74,800.00
7	Dobladora de Tubo Marca Super Ego	2	729.00	US\$ 1.50	US\$ 2,187.00
8	Tripode Marca ngid	2	729.00	US\$ 0.50	US\$ 729.00
9	Extension 220vac incluye chupones x 100mts	8	729.00	US\$ 0.46	US\$ 2,682.72
VALOR TOTAL DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS MATERIAL DE APLICACIÓN / CONSUMO (A SER DEFINIDO POR YANACOCHA)					USD 91,572.22 EFINIDO
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	C.UNITARIO	V.TOTAL

1	cable vulcanizado 9x14	UND.	250	US\$ 7.00	US\$ 1,750.00
2	Termocontraibles	GLB	250	US\$ 10.00	US\$ 2,500.00
3	Cinta aislante SUPER 33M de acabado MARCA 3M	UND.	20	US\$ 5.30	US\$ 106.00
4	Cinta aislante 23M vulcanizante MARCA 3M	UND.	20	US\$ 15.45	US\$ 309.00
5	Canal funistrut de 4 x 4 cm	UND.	15	US\$ 17.50	US\$ 262.50
6	soldadura cellocor	KG	230	US\$ 16.21	US\$ 3,728.30
7	soldadura super sito	KG	260	US\$ 28.34	US\$ 7,368.40
8	Disco de corte 4"	UND.	300	US\$ 6.49	US\$ 1,947.00
9	Disco de desbaste 4"	UND.	300	US\$ 7.16	US\$ 2,148.00
10	Tubo conduit rigido EMC de 3/4 "	UND.	150	US\$ 19.50	US\$ 2,925.00
11	Cable Belden 1030A E34972-M 1 PAR SHIELD #16	M	300	US\$ 1.95	US\$ 585.00
12	Conector recto ST , Straight , Dim: 3/4 "	UND.	25	US\$ 1.95	US\$ 48.75
13	Tubo flexible de 3/4 " , neoprene	M	20	US\$ 2.60	US\$ 52.00
14	Tuberia de acero 24"	M	2546	US\$ 645.05	US\$ 1,642,297.30
15	Tuberia de acero 18"	M	2087	US\$ 596.14	US\$ 1,244,144.18
16	Tuberia de acero 6"	M	3827	US\$ 450.91	US\$ 1,725,632.57
17	Motor marca US MOTORS 500 HP	UND.	4	US\$ 94,521.03	US\$ 378,084.12
18	Bomba de turbina vertical 500 HP	UND.	4	US\$ 51,201.88	US\$ 204,807.52
19	Valvula de retencion marca BERMAND	UND.	4	US\$ 12,899.74	US\$ 51,598.96
20	Valvula con dispositivo anti cavitacion marca BERMAND	UND.	1	US\$ 18,691.09	US\$ 18,691.09
21	Micelaneos	GLB	150	US\$ 70.00	US\$ 10,500.00
DOCUMENTOS DE REFERENCIA (A SER DEFIN				USD 5,299,485.69 IDO	
POR YANACOCHA)					
1	Matriz de Riesgo				
2	Planos de construccion (ultima revision)				
3	ATS, PETAR y CHET LIS (de equipos y/o herramientas)				
4	Permisos y documentos firmados por Yanacochoa.				
COMPOSICION DE COST IS					
ITEM	DESCRIPCION			PORCENTUAL	USD

1	MANO DE OBRA (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)	7%	US\$ 393,807.68
2	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)	2%	US\$ 91,572.22
3	MATERIAL DE APLICACIÓN / CONSUMO (A SER DEFINIDO POR YANACOCHA)	92%	US\$ 5,299,485.69
4	GASTOS GENERALES	8%	US\$ 462,773.25
5	UTILIDAD	9%	US\$ 520,619.90
VALOR TOTAL SIN IGV		USD 6,768,058.74	

Costos Indirectos.

El costo Indirecto o llamado también costo de fabricación comprende al costo de los materiales indirectos, mano de obra indirecta y todos los gastos incurridos en el taller que no puede ser cargado al equipo de construcción.

Cuadro 3.2 – Descripción de costos indirectos.

COSTOS EN PIEZAS Y REPUESTOS (Cpr)		
ITEN	Equipo / accesorio	Dolares/año
1	Valvula de retencion marca BERMAND	US\$ 12,899.74
2	Valvula con dispositivo anti cavitación marca BERMAND	US\$ 18,691.09
3	Caudalimetro electromagnetico marca HIDROMAG	US\$ 28,778.16
4	Accesorios electricos y mecanicos	US\$ 2,800.35
5	Mano de obra externa	US\$ 10,550.99
	Sub Total	USD 73,720.33
SUELDOS Y SALARIOS DE OPERADORES EN SALA DE CONTROL (Css)		
ITEN	Recursos	Dolares/año
1	Numero de personal operativo	2/dia
2	Sueldo unitario promedio	US\$ 1,400.00
3	Numero de aguinaldos	2/año
	Sub Total	USD 39,200.00
BENEFICIOS ECONOMICOS (Btotal)		
ITEN	Descripción	Dolares/año
1	Beneficio en reduccion del consumo de energia electrica Industrial	US\$ 5,865,545.00
2	Beneficio en reduccion del consumo de Cianura de Sodio y otros	US\$ 1,287,892.00
	Beneficio Total	USD 7,153,437.00
ITEN	COSTOS EN PIEZAS Y REPUESTOS	US\$ 73,720.33
1	SUELDOS Y SALARIOS EN SALA DE OPERADORES	US\$ 39,200.00
2	BENEFICIOS ECONOMICOS	US\$ 7,153,437.00
3	BENEFICIO UTIL = Btotal - (Css + Cpr)	USD 7,040,516.67

Calculo del VAN y el TIR.

Para calcular el VAN y la TIR se utilizó las formulas 1.39 y 1.40, utilizando Excel.

Cuadro 3.3 – Calculo de VAN y la TIR.

De acuerdo a la AISC recomienda que la soldadura de penetración completa cumpliendo todo el estándar de control de calidad de soldadura. Dice en la tabla AISC J2.5 que la resistencia nominal está dada por en metal base (ósea calcular la resistencia de las placas de metal)

Aplicando las especificaciones AISC determinamos la resistencia de diseño LRFD y la resistencia admisible ASD de la conexión con soldadura de penetración completa La tubería se eligió utilizando el catálogo Tubos y Accesorios en Acero al Carbono Soldados y S/S este catálogo tiene las normas DIN y ASTM. Se describen las propiedades siguientes de las tablas en páginas 25 y 29:

Tubos soldados DIN 2458 T Extremos lisos o ranurados

Material St-37.0 (ver pág. 29)

Tablas de dimensiones, pesos, momento inercia, módulo re					
Diámetro exterior d mm	Espesor s mm	Peso Kg/m	Momento inercia I cm ⁴	Módulo resistente W cm ³	Radio de giro i cm
609,6 (24")	5	74,5	43397	1424	21,4
	5,6	83,4	48461	1590	21,4
	7,1	106	60988	2001	21,3
	8	118	68414	2245	21,3
	8,8	130	74959	2459	21,2
	10	148	84676	2778	21,2
	11	163	92684	3041	21,2
	12,5	185	104544	3430	21,1
	14,2	209	117766	3864	21,1
	16	233	131514	4315	21,0
	17,5	255	142777	4684	20,9

Propiedades mecánicas de los tubos, a temperatura ambiente DIN 1626 - DIN 1629

Tipo de acero DIN	Límite elástico Reh N/mm ² mínimo para espesores de pared en mm.			Resistencia a la rotura, Rm N/mm ²	Alargamiento de rotura % mín.	
	≤16	>16≤40	>40≤65(3)		Longitudinal	Transversal
St. 37.0	235	225	215	350(2) a 480	25	23
St. 44.0	275(1)	265(1)	255(1)	420(2) a 550	21	19
St. 52.0	355	345	335	500(2) a 650	21	19

(1) Tubos fabricados en frío y estado recocido NBK se admiten valores de límite elástico inferiores en 20 N/mm².

(2) Tubos fabricados en frío y estado recocido NBK se admiten valores de resistencia a la rotura mínimos inferiores en 10 N/mm².

(3) Espesores superiores a 40 mm. sólo para tubos sin soldadura.

Solución: Para la tubería de conexión.

Fluencia en la sección bruta

$$F_Y = 350 \text{ N/mm}^2 = 350 \text{ MPa}$$

Resistencia de diseño LRFD

$$\phi R_n = (0.90 * 350) = 315 \text{ MPa}$$

Resistencia admisible ASD

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{350}{1.67} = 209.58 \text{ MPa}$$

Fractura en la sección neta:

$$F_u = 480 \text{ N/mm}^2 = 480 \text{ MPa}$$

Resistencia de diseño LRFD

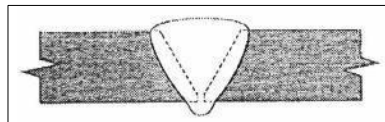
$$\phi R_n = (0.90 * 480) = 432 \text{ MPa}$$

Resistencia admisible ASD

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{480}{1.67} = 287.43 \text{ MPa}$$

La presión que se genera en la tubería es de 61.7 kPa . El cordón de soldadura fabricado con el control de calidad tiene una Fluencia en la sección bruta de 209.58 MPa y una Fractura en la sección neta de 287.43 MPa , por lo tanto la tubería que transporta la solución cianurada está totalmente sobre dimensionado y esto quiere decir que trabajara normalmente.

La resistencia de soldadura a tope o penetración según AISC



Detalle de soportes de tuberías (bloque de concreto)

Para la resistencia de bloque tenemos que evaluar el peso de la tubería. Sabiendo las características de la tubería en la tabla antes presentada tenemos los datos siguientes:

Diámetro exterior: 609.6 mm

Espesor: 17.5 mm

En primer lugar encontraremos el diámetro exterior calculándolo de la siguiente manera:

$$D_i = D_e - (\text{espesor} * 2)$$

$$D_i = 609.6 - (17.5 * 2)$$

$$D_i = 574.6$$

Ahora aplicaremos la siguiente fórmula que nos ayudara a encontrar el peso de la tubería de 3 metros de longitud.

$$\text{diámetro}(mm) * \text{diámetro}(mm) * 0.0062(\text{const. de densidad}) * \text{longitud}(m)$$

$$DE = 609.6 * 609.6 * 0.0062 * 3 = 6911.99 \text{ kg}$$

$$DI = 574.6 * 574.6 * 0.0062 * 3 = 6141.07 \text{ kg}$$

El peso total de la tubería se evalúa de la siguiente manera:

$$P_t = P_{DE} - P_{DI}$$

$$P_t = 6911.99 - 6141.07 = 770.92 \text{ kg}$$

Por medio del libro de Flujo de fluidos CRANE se obtuvo el peso del agua en $259.5 \text{ kg/m de tubería}$, a esto se le suma el peso de la tubería 255 kg/m tenemos un peso total de $514.5 \text{ kg/m de tubería}$ con este resultado se da a conocer que la carga de la columna en el soporte será superior.



IV. DISCUSIÓN.

1) Con respecto al objetivo planteado identificar el tipo y longitud de tubería del sistema de bombeo de soluciones cianuradas, los resultados obtenidos muestran que la longitud en la línea de descarga es 3778 m, con las características de tubería de acero soldado de 24 pulgadas cedula 40; con un diámetro interior 0.5747 m y un flujo de área de 0.2594 m^2 , con la ayuda del el catálogo; “Tubos y accesorios en acero al carbono soldados y s/s, 3° edición; Abril 2009 nos dice que cumple con el estándar de calidad, pero también la tesis de título “Programas para el cálculo de tuberías y bombas centrifugas en procesos de refinación” nos da una idea de utilizar un programa de ingeniería para el

cálculo de tuberías y bombas centrifugas el cual nos da una variedad de parámetros en los sistemas de bombeos.

2) Respecto al objetivo planteado seleccionar la bomba para el sistema de bombeo de soluciones cianuradas, los resultados muestran que la potencia de fluido es $P_A = 2785.51 \text{ HP}$, asimismo se tiene que el fluido es bombeado por 6 bombas de turbina vertical, las que trabajan en paralelo, el valor dado en este cálculo de sistema de bombeo nos dice que la potencia de una bomba es 464.25 HP (348.19 KW) con una eficiencia de es 0.79 puesto que el libro de Redes Industriales de Tubería Bombas para agua, Ventiladores y Compresores; del autor Antoni Luszczewski en la página 144 nos da una relación para las bombas de agua de 0.6 a 0.95 por lo tanto esto quiere decir que está en el rango permisible.

3) Al evaluar el sistema vigente y su funcionamiento óptimo este se comparó con una hoja de datos de una bomba ya trabajando en una planta de la mismas características (Anexo Hoja 01) nos indica que la potencia y eficiencia son válidos y que se puede encontrar una bomba con estas características en el mercado industrial en comparación con la tesis “diseño de un sistema de automatización industrial para el sistema de bombeo industrial de aguas acidas” nos manifiesta que podemos desarrollar un programa que permita controlar el proceso de bombeo.

4) Comparando con la tesis llamada “Factibilidad técnico Económica del diseño de un banco de pruebas para bombas deo-hidraulicas de hasta 350 bar y 145 ltrs/m” muestra los costos iniciales y un periodo de retorno de inversión aplicando una tasa de 20%, esto les da una ganancia favorable, nuestra evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas fue evaluada con la tasa mínima de 10% y también presenta ganancias significativas esto quiere decir que el resultado es positivo y el proyecto es viable. Como modelo en cálculos de costos la tesis “control de un sistema de bombeo y cloración de agua” tenemos una información confidencial en el caso que se desee automatizar el sistema.

V. CONCLUSIONES.

1. La longitud total del Sistema de bombeo de soluciones cianuradas del Pad LQ8 de acuerdo al mapa topográfico tiene una línea de descarga es 3778 m la cual está formada por los tres primeros tramos de una tubería de acero soldado St-37.0, de 24 pulgadas y el cuarto tramo es un ramal de dos tuberías de 18 pulgadas. Para realizar el análisis de cálculo de la longitud total de la tubería se estimaron cuatro tramos. El tramo #1 tiene una longitud de 620 metros de tubería de acero en este se encontraron un total de pérdidas $h_L = 3.62 \text{ m}$, El tramo #2 tiene una longitud de 926 metros de tubería de acero las pérdidas de cálculo total fueron $h_L = 3.49 \text{ m}$. El tramo #3 tiene una longitud de 1000 metros de tubería de acero según el cálculo resulto un total de pérdidas $h_L = 3.51 \text{ m}$. Por último tenemos Sistema de dos tuberías en paralelo que

riegan el Pad, el primer tramo #4 – A tiene una longitud 1232 metros de tubería de acero y el tramo #4 – B, tiene una longitud 755 metros de tubería de acero como es un sistema en paralelo las pérdidas son iguales $h_a = h_b = 3.88 \text{ m}$.

2. Para el bombeo de solución cianurada se determinó 6 bombas de turbina vertical que trabajaran en paralelo y son de marca FLOWSERVE, estas bombas tienen las características en placa de 501 HP, altura nominal de bombeo de 95 m, una velocidad de 1780 rpm y una eficiencia nominal de 87.77 %.
3. Las condiciones de funcionamiento dieron como resultado en carga de succión neta positiva disponible $NPSH_A = 7.93 \text{ m}$ y una carga de succión neta requerida $NPSH_R = 7.21 \text{ m}$.
4. El Sistema de bombeo de soluciones cianuradas tendrá una ganancia en un periodo de 10 años de USD 36,492,868.40 dólares americanos.

VI. RECOMENDACIONES.

- 1) Utilizando la potencia máxima de las bombas según sus condiciones de funcionamiento, se podría elevar el fluido a su cabeza máxima 112 m lo que indica que se puede concentrar más mineral en el PAD.
- 2) La bomba de turbina vertical FLOWSERVE es eficiente para este sistema de bombeo y se adapta al lugar de trabajo.
- 3) Para el cálculo de tuberías se utilizó el libro de FLUJO DE FLUIDOS EN VALVULAS ACCESORIOS Y TUBERIAS – CRANE en la tabla B-11 Flujo de agua en tubería de acero de cedula 40, pág. B - 16.
- 4) Se sugiere hacer un estudio económico del proyecto en el transporte de solución cianurada.
- 5) Plantear un sistema de monitoreo automático en puntos estratégicos del sistema de bombeo (evitar un posible bloqueo en el proceso).

- 6) Sugerir una vez puesta en marcha el sistema de bombeo de soluciones cianuradas hacer un plan de mantenimiento.
- 7) Hacer un estudio sobre la variación de la concentración del mineral y de la solución cianurada.
- 8) Se recomienda también poder utilizar una bomba de la marca HIDROSTAL ya que están diseñadas para operar en pozos profundos, cisternas o encapsuladas, también cuentan con un sistema de lubricación con aceite o por agua.
- 9) Para un sistema de bombeo se propone la marca GOULDS PUNPS, en su gama de bombas brinda ventajas en instalación y facilidad de mantenimiento/reducción de tiempos de inactividad, pueden trabajar con cargas hasta 3500 pies (1060 m).
- 10) Se da a entender que el catálogo “Tubos y accesorios en acero al carbono soldados y s/s” tiene diversidad de tuberías y accesorios, soldados y sin soldar y que se pueden utilizar en diferentes modos industriales.

VII. REFERENCIAS.

LIBROS;

- [1] Mott Robert L – Mecánica de Fluidos; Sexta Edición; Edit. Prentice Hall Hispanoamérica S.A.; México 2006 – 644pag.
- [2] Viejo Zubicaray Manuel – Bombas: Teoría Diseño y Aplicaciones; México; Editorial Limusa, 2004 – 240pag.
- [3] Mataix Claudio; Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas; Segunda Edición; Ediciones del Castillo S.A. 1993 – 660pag.
- [4] Antonio Luszczewski; Primera Edición; Edit. Reverté Ediciones S.A. de C.V. 1999; Redes Industriales de Tuberías Bombas para Agua, Ventiladores y Compresores.
- [5] CRANE; impreso en Febrero de 1999; imprenta OFGLOMA S.A. de C.V.; Flujo de fluidos en válvulas y accesorios y tuberías.

- [6] Çengel, Yunus A. Fluid mechanics : fundamentals and applications / Yunus A. Çengel, John M. Cimbala.—1st ed.; 1. Fluid dynamics. I. Cimbala, John M. II. Title. III. Series.; TA357.C43 2006.

TESIS;

- [1] Gallegos Alvares Lazaro – Programa para el cálculo de tuberías y bombas centrifugas en procesos de refrigeración, Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca, 2011 - 269pag.
- [2] Factibilidad Técnico – Económica para la implementación de un Sistema de Bombeo en el Centro Poblado de Buenavista del Distrito de Chao – Virú; Universidad Cesar Vallejo – Trujillo, año 2012.
- [3] Rildo Gamarra Ventocilla (2012), “Control De Un Sistema De Bombeo y Cloración De Agua”. Universidad Tecnológica del Perú. Perú

CATALAGOS;

- [1] Tubos y accesorios en acero al carbono soldados y s/s, Turbasol S.A. – GRUPO HASTINIK, 3ra edición Abril 2009.
- [2] Soluciones integrales con válvulas de control automático, 800.942..6326 (R-10/2013)

PAGINAS WED;

- [1] <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html> “Ingemecánica; -Tutorial - N° 100 características del acero”
- [2] <http://www.abinsur.pe/es/calculadora-de-pesos-03-abinsur.php?url=16> — “Abinsur; tabla de conversión del acero”
- [3] http://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjABahUKEwip6oD2-LbIAhWDWz4KHSScA0k&url=http%3A%2F%2Fbiblioteca.usac.edu.gt%2Ftesis%2F08%2F08_0580_M.pdf&usq=AFQjCNFUd4bYCzxIkArJBruoJ3_75GO6w&sig2=KFGvILSufDDMpxUbBW11lg&bvm=bv.104819420,d.cWw “Tesis, Champet Pérez Edgar Rolando (2009), “optimización del sistema de bombeo de agua potable del Hospital General San Juan de Dios”. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala”.
- [4] <http://www.usmotors.com/Our-Products/Verticals.aspx> US MOTORS página de catálogos generales de motores.

- [5] <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/subpaginas/Piping/dimensionado%20de%20bombas.htm>, Tutorial de dimensionamiento de bombas centrifugas.
- [6] http://www.prosaicsteel.com/a106_gr_b_carbon_steel_seamless_pipes.html, Tablas y características de tuberías.
- [7] http://es.slideshare.net/cucha_/tcnicas-e-instrumentos-para-elaborar-el-proyecto-detesis, Zapatas aisladas para tuberías.

ANEXOS.



FOTO 01, Bomba de turbina vertical y acoplamiento válvula de retención y cierre progresivo.



FOTO 02, Planta de tratamiento de Agua Columna de Carbón – Cajamarca.



FOTO 03, Posa de operaciones – Solución cianurada.



FOTO 04, montaje de válvula de retención y cierre progresivo.



FOTO 05, Válvula con dispositivo anti cavitación montada en tubería de 24" vista de dirección al Pad LQ8.

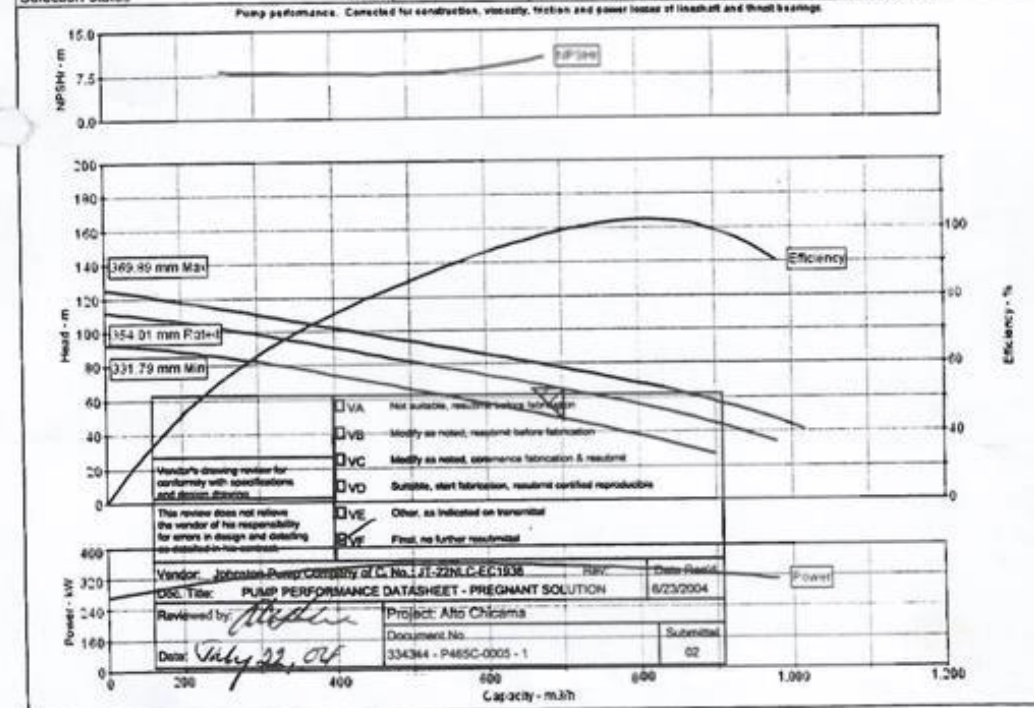


FOTO 06, montaje de válvula de venteo en tubería de 24".

Hoja 01, Datos de una bomba parecida.

Pump Performance Datasheet

Customer	: SNC-Lavalin Engineers & Constructors	Quote number	: RSC-6554 Rev.3
Customer reference	: Alto Chicama	Pump size	: 22NLC
Item number	: 0430-465-006A&B	Stages	: 2
Service	: Pregnant Solution	Based on curve number	: JT-22NLC-EC1938
Quantity of pumps	: 2	Date last saved	: 22 Jun 2004
Operating Conditions		Liquid	
Flow, rated	: 400.6 m ³ /h	Liquid type	: Water
Head, rated	: 95.0 m	Additional liquid description	:
Suction pressure, rated / max	: 0.00 / 0.00 bar.g	Solids diameter, max	: 0.00 mm
NPSH available, rated	: Ample	Temperature, max	: 20.00 deg C
Site & Utility Data		Fluid density, rated / max	: 0.998 / 0.998 kg/dm ³
Frequency	: 60 Hz	Viscosity, rated	: 1.01 cSt
Performance		Material	
Speed	: 1,780 rpm	Material requested	: Cast Iron Bowl (Coated), Cast Iron Impeller
Impeller diameter, rated	: 204.01 mm	Material selected	: Cast Iron Bowl (Coated), Cast Iron Impeller
Impeller diameter, maximum	: 215.89 mm	Pressure Data	
Impeller diameter, minimum	: 190.79 mm	Maximum working pressure	: 10.96 bar.g
Efficiency (bowl / pump)	: 79.44 / - %	Working pressure limit	: 15.86 bar.g
NPSH required / margin required	: 7.64 / 0.91 m	Suction pressure limit	: 10.34 bar.g
Ns / Nss	: 4,316 / 12,561 US units	Hydrostatic test pressure	: 24.13 bar.g
MCSF	: 305 m ³ /h	Driver & Power Data	
Head, maximum, rated diameter	: 112 m	Driver sizing specification	: Rated power
Head rise to shutoff	: 72.23 %	Margin over specification	: 0.00 %
Flow, best eff. point (BEP)	: 650.0 m ³ /h	Service factor	: 1.15
Flow ratio (rated / BEP)	: 84.77 %	Power, hydraulic	: 291 kW
Diameter ratio (rated / max)	: 95.71 %	Power (bowl / pump)	: 344 / -
Head ratio (rated dia / max dia)	: 84.11 %	Power, maximum, rated diameter	: 354 kW
Viscous coefficients (CQ / CH / CE)	: 1.00 / 1.00 / 1.00	Minimum recommended driver rating	: 375 kW / 501hp
Selection status	: Acceptable		



Hoja 02, Diagrama de Moody.

