



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Diseño hidráulico de la línea de impulsión de agua
fresca para el sistema contra incendios en el proyecto
Chalcobamba, compañía minera Las Bambas**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Robert Alejandro ESPINO GARCIA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Apellido, N. (2022). *Diseño hidráulico de la línea de impulsión de agua fresca para el sistema contra incendios en el proyecto Chalcobamba, compañía minera Las Bambas*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Robert Alejandro Espino Garcia.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47862601
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8875-782X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número de documento de identidad	
URL de ORCID	
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	EMANUEL JESÚS GUZMÁN ZORRILLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40420005
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	GUIDO AMPRICO ROZAS OLIVERA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07209368
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	MARIO GARCÍA PÉREZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	079309010
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.5.1. Energética
Grupo de investigación	
Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Apurímac Provincia: Cotabamba Distrito: Cotabamba Latitud: 75°51'0.8" Longitud: -58°26'2.3"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
(Universidad del PERÚ, Decana de América)
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

XIII CAP DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE LA MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS, MODALIDAD DE
TITULACIÓN M-3 – POR SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Siendo las 15:00 horas del día martes 6 de diciembre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Mg. Ing. EMANUEL JESÚS GUZMÁN ZORRILLA y con la asistencia de los miembros Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA y el Mg. Ing. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación de la Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-3 Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

ROBERT ALEJANDRO ESPINO GARCIA

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller ROBERT ALEJANDRO ESPINO GARCIA, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada “DISEÑO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN DE AGUA FRESCA PARA EL SISTEMA CONTRA INCENDIOS EN EL PROYECTO CHALCOBAMBA, COMPAÑÍA MINERA LAS BAMBAS”.

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Se procedió a promediar la nota final del curso de actualización y la nota de la sustentación para obtener la calificación final.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida por el Bachiller, la misma que fue:

..... **DIECISÉIS 16**

El Presidente del Jurado Mg. Ing. EMANUEL JESÚS GUZMÁN ZORRILLA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller ROBERT ALEJANDRO ESPINO GARCIA Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 16:06 horas del mismo día, se levantó la sesión.

Mg. Ing. EMANUEL JESÚS GUZMÁN ZORRILLA
PRESIDENTE DEL JURADO

Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA
MIEMBRO DEL JURADO

Mg. Ing. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ
MIEMBRO DEL JURADO



UNMSM

Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.12.2022 21:21:34 -05:00

DR. WHUALKUER ENRIQUE LOZANO BARTRA
VICEDECANO ACADÉMICO FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

<https://us06web.zoom.us/j/85041844488?pwd=cVJTOGJBWtNqY25zTHZ5VTIhNDJFZz09>

ID de reunión: 850 4184 4488

Código de acceso: 087083

Grabación archivada en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1y9oNjd79LXfOIrfkS93-s7I9vCsPIoxA/view?usp=share_link

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado (1)
"DISEÑO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN DE AGUA FRESCA PARA EL SISTEMA CONTRA INCENDIOS EN EL PROYECTO CHALCOBAMBA, COMPAÑÍA MINERA LAS BAMBAS"
7. Autor del documento (2)
ALTUNA RIOS ALFREDO ANDRÉ
8. Fecha de recepción del documento 25/11/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 25/11/22
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
7%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
Ver Anexo
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 30/12/22



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092262 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.07.2022 19:58:40 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca

DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

1 Otro (especificar) Informe Profesional Modalidad de Titulación M-4

2 Apellidos y Nombres completos

3 En letras y números

4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

DEDICATORIA

Dedico este trabajo monográfico a mi familia en especial a mis padres, esposa e hijo, que fueron los que siempre estuvieron dándome el apoyo necesario y nunca dudaron de mis habilidades e hicieron posible que logre mis objetivos, gracias por su amor incomparable hacia mi persona.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a dios por brindarme salud a mi persona y toda mi familia, a mis padres por saber guiarme y acompañarme en todo este camino.

A los catedráticos de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Por su apoyo académico y moral en la formación de los futuros profesionales mecánicos de fluidos en el Perú.

A mis compañeros, por brindarme soporte a lo largo de la carrera profesional tanto en lo laboral y en lo personal, por compartir sus experiencias laborales hacia mi persona.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	Resumen.....	8
1	Capítulo I-Generalidades	9
1.1.	Introducción	9
1.2.	Importancia del tema.....	10
1.3.	Identificación del problema.....	11
1.4.	Propuesta de solución.....	11
1.5.	Objetivos	12
1.5.1.	Objetivo General.....	12
1.5.2.	Objetivos Específicos.....	12
2	Capítulo II-Marco Teórico	14
2.1.	Antecedentes	14
2.2.	Bases teóricas fundamentales.....	15
2.2.1.	Ecuación de Bernoulli modificada.....	15
2.2.2.	Ecuación integral de la energía.....	16
2.2.3.	Régimen del flujo y el número de Reynolds.....	17
2.3.	Bases teóricas de ingeniería	18
2.3.1.	Ecuación de Hazem Williams y Colebrook- White.....	18
2.3.2.	Pérdidas por fricción y altura dinámica total ADT.....	21
2.3.3.	Potencia hidráulica.....	22
2.3.4.	Presión de vapor P_v y presión atmosférica P_{atm}	23

2.3.5.	Presión de entrada disponible $NPSH_A$	24
2.4.	Glosario	25
3	Capítulo III-Proceso Metodológico	26
3.1.	Ubicación del proyecto.....	26
3.2.	Estándares y normas.....	27
3.3.	Consideraciones de diseño	28
3.4.	Cálculos de ingeniería	29
3.4.1.	Datos de entrada.....	29
3.4.2.	Escenarios de operación.....	29
3.4.3.	Perfiles	33
3.4.4.	Cálculos hidráulicos del sistema.....	35
4	Capítulo V-Resultados y discusión.....	46
4.1.	Presentación, análisis e interpretación de datos	46
4.2.	Toma de decisiones	49
4.3.	Curva de la bomba.....	50
5	Conclusiones	53
6	Recomendaciones	54
7	Bibliografía	55
8	Anexos.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Trazo de la línea de impulsión y ubicación de tanques.....	12
Figura 2: Línea de energía de ecuación de Bernoulli modificada..	16
Figura 3: Trabajo realizado sobre una línea de flujo.	17
Figura 4: Diagrama de Moody.....	21
Figura 5: Ubicación geográfica del proyecto Chalcobamba, Las Bambas.....	26
Figura 6: Campamento minero Las Bambas.	27
Figura 7: Diagrama de proceso del escenario 01.....	31
Figura 8: Diagrama de proceso del escenario 02 (operación crítica).	32
Figura 9: Perfil del terreno para escenario 01.....	33
Figura 10: Perfil del terreno para escenario 02 (crítico).....	34
Figura 11: Línea de gradiente escenario 02 (crítico) DN 6.	47
Figura 12: Línea de gradiente escenario 02 (crítico) DN 8.	48
Figura 13: Línea de gradiente escenario 02 (crítico) DN 10.	48
Figura 14: Curva de rendimiento de la bomba.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de coeficiente de rugosidad C. Hazem Williams	19
Tabla 2: Valores de rugosidad para tuberías nuevas de acero al carbono.	20
Tabla 3: Propiedades del fluido agua.	29
Tabla 4: Consideraciones hidráulicas del sistema.	29
Tabla 5: Escenarios de operación para el sistema.....	30

Tabla 6: Requerimiento de caudal para escenario 02 (operación crítica).....	35
Tabla 7: Resumen de parámetros hidráulicos de DN 6, DN8 y DN10 escenario crítico. 46	
Tabla 8: Resultados de parámetros hidráulicos DN8 escenario nominal.....	49
Tabla 9: Parámetros hidráulicos tubería de DN8 escenario 02.....	49
Tabla 10 : Resumen de parámetros hidráulicos escenario 02.....	50
Tabla 11: Parámetros hidráulicos de la bomba.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Data sheet de la bomba.	56
Anexo 2: Curvas de la bomba.	57
Anexo 3: Dimensionamiento de la bomba.....	58
Anexo 4: Curvas de Torque y velocidad rpm de la bomba.	59
Anexo 5: Válvula relief. Parámetros hidráulicos.	60
Anexo 6: Composición de la válvula relief.	61
Anexo 7: Coeficientes de pérdida k de la válvula relief.....	62

Palabras claves: Agua, tuberías, transporte, fluido, diseño.

Resumen

Todo proyecto minero por normativa debe de contar con un sistema contra incendio para mitigar lo máximo posible la pérdida de capital y el activo más importante, la vida humana. Para ello, en la presente monografía técnica tuvo como objetivo calcular un sistema de impulsión de tubería desde la presa Chuspiri, en la minera Las Bambas hacia los tanques de sistema contra incendio transportando agua fresca. Ante ello, el transporte del agua fresca debió cumplir los requerimientos del sistema y las normativas correspondiente para su diseño y cálculo de tal manera que desde la presa Chuspiri ubicada a 4,240 msnm pueda ser impulsada el agua fresca al tanque 0211-TKF-0001 ubicado a 4,330 msnm y a 2,210 m de distancia. También el agua fresca debió ser impulsada hacia el tanque 0893-TKF-0090 siendo el más lejano y crítico a 3,300 m de distancia.

Se realizaron los cálculos basados en las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos y se cumplieron los requerimientos de sistema, se resolvió que el diámetro nominal óptimo es de DN8. También se hallaron los parámetros hidráulicos de la bomba para su selección mediante la curva de la bomba.

El presente trabajo monográfico se encuentra en etapa de pre factibilidad de ingeniería y fue evaluado en régimen estable.

Capítulo I-Generalidades

1.1. Introducción

La mecánica de fluidos es el estudio de comportamiento del fluido en sus 2 estados; líquido y gaseoso. Tiene como base la ecuación de Navier-Stokes en honor a Claude-Louis Navier y George Gabriel Stokes (1785) quienes plasman mediante una ecuación del movimiento de un fluido viscoso. De ella derivan el teorema de transporte de Reynolds y el teorema de la divergencia.

La mecánica de fluidos tiene como sus parámetros principales para su estudio, la viscosidad cinemática, viscosidad dinámica, la presión estática o dinámica, la energía potencial, la velocidad, el caudal, el número de Reynolds (agua), número mach (gases), el control de volumen, la conservación de la masa y cantidad de movimiento, entre otros.

Se considera que el fluido tiene diferentes regímenes, puede ser laminar o turbulento (depende de las fuerzas inerciales) y puede ser definido mediante un rango del número de Reynolds. El fluido puede estar en régimen estable o régimen no permanente (la presente monografía tiene alcance para régimen estable). Cabe resaltar que el flujo estable es cuando la cantidad de movimiento se mantiene constante a lo largo del tiempo.

La mecánica de fluidos es aplicada en proyectos de gran envergadura, tanto para el transporte de minerales (pulpas y relaves), para sistema contra incendio (agua recuperada o agua fresca), aire acondicionado y ventilación (aire con refrigerantes o para extracción de aire contaminado).

1.2. Importancia del tema

A lo largo de la historia, el mundo ha ido industrializándose, descubriendo nuevos recursos tanto para la generación de energía o descubrimiento de materia prima para la construcción (metales, minerales, agua) pero ello viene a la par con la mejora continua de la tecnología. Ello conlleva al requerimiento de conocimientos, estudios e inversión de tiempo para lograr resultados que satisfagan lo requerido y así poder optimizar tiempo y dinero que es la fórmula perfecta para generar nuevas tecnologías.

A inicios del centenario 1900 se necesitó transportar diferentes tipos de materias a largas distancias, una de ellas y esencial para la vida del hombre es el agua. Actualmente en las diferentes edificaciones de lugares urbanos se requiere el sistema contra incendios que es vital para prevenir la pérdida del recurso más valioso que se tiene, la vida humana. Pero no sólo en los lugares urbanos, sino que el sistema contra incendio se fue implementando en las unidades mineras, aquí se manejan mayores parámetros de diseño que la zona urbana, es decir mayor diámetro de tubería, mayor presión, mayor caudal etc. Y esto es debido a que las unidades mineras tienen largas distancias entre sus áreas de trabajo.

Para el diseño de sistema contra incendio de gran envergadura se aplica la mecánica de fluidos como base en la ingeniería de pre factibilidad y así poder generar los planos respectivos para la fabricación y montaje de tuberías. Y también hallar la potencia que necesita la bomba para el diseño de sistemas contra incendio.

1.3. Identificación del problema

En los proyectos mineros por normativa se requiere un sistema contra incendios para salvaguardar el bien más preciado, la vida humana. Por defecto también evitar la destrucción de activos en un proyecto o tratar de mitigar las pérdidas lo máximo posible debido a un incendio.

En el proyecto mencionado de la presente monografía técnica (ver figura 1) no contaba con un sistema de impulsión de agua fresca para la línea de sistema contra incendio, sin embargo cuenta con agua fresca ubicado en la presa Chuspiri ubicado a 4,240 msnm, a su vez en el área de chancado ubicado a 4,430 msnm y facilidades ubicado a 4,500 msnm cuenta con los tanques 0211TKF-001 y 0893-TKF0090 respectivamente para el almacenamiento de agua fresca para el uso del sistema contra incendio, por ello, se requirió el suministro de agua de la presa Chuspiri el cual se encuentra a una menor elevación y a gran distancia. Para ello, se necesitó efectuar el diseño de una línea de impulsión de agua de agua fresca desde la presa Chuspiri hacia los tanques mencionados.

1.4. Propuesta de solución

Para lo mencionado en la sección 1.3 se propuso como solución efectuar el diseño de una línea de impulsión de agua fresca desde el tie in de la represa Chuspiri pasando por el tanque de agua fresca 0211-TKF-0001 ubicado en el área de chancado, siguiendo su recorrido final hasta el tanque de agua fresca 0893-TKF-0090 ubicado en el área de facilidades (ver figura 1).

Figura 1: Trazo de la línea de impulsión y ubicación de tanques.

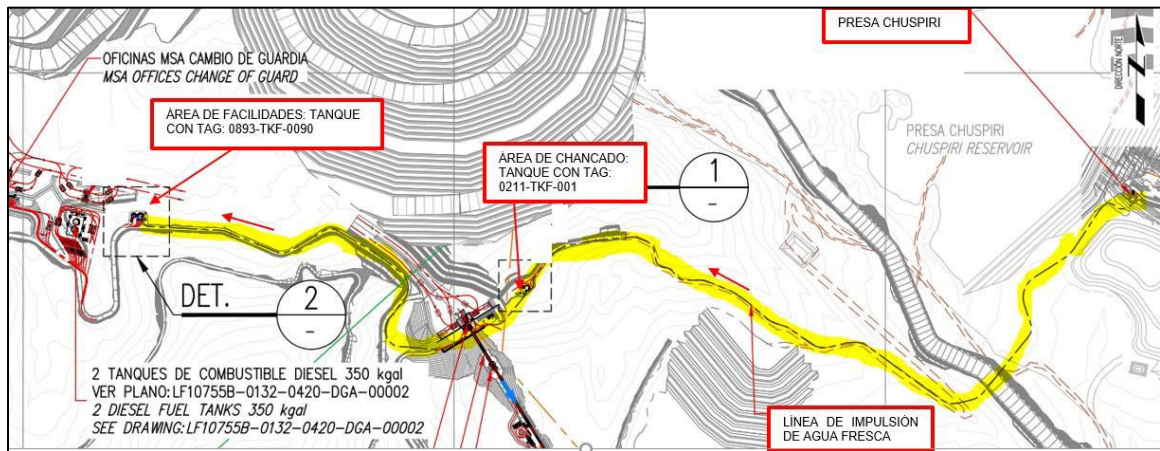


Figura 1: Ubicación de La línea de suministro de agua fresca y tanques. Elaboración de ingeniería conceptual.

Para ello se suministró agua fresca capaz de enviar $120 \text{ m}^3/\text{h}$ (flujo de diseño) hacia los tanques 0893-TKF-0090, 2132-TKF-0095 (operación crítica) ubicados en la zona de combustibles y un flujo de $132.3 \text{ m}^3/\text{h}$ (flujo de diseño) hacia el tanque 0211-TKF-0001 ubicado en la zona de chancado (ver figura 7).

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Efectuar el diseño hidráulico de la línea de impulsión de agua fresca para el sistema contra incendios en el proyecto Chalcobamba, compañía minera Las Bambas.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar el diámetro nominal hidráulicamente óptimo y seleccionar el material de la línea de impulsión de agua fresca para el sistema contra incendios.

- b. Hallar la altura dinámica total del sistema, las pérdidas por fricción, el $NPSH_a$, y la potencia de la bomba tanto para el escenario nominal y para el escenario crítico.
- c. Evaluar la curva de la bomba si es factible su selección para el sistema, contrastando los parámetros hidráulicos del escenario crítico.

Capítulo II-Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Arias Portuguez, Hamilton Domingo (2012), de la Universidad Nacional de Ingeniería, realizó una tesis “Fabricación de módulos con tuberías de aceros al carbono, inoxidable y HDPE para el transporte de diversos fluidos para la Empresa Minera Chinalco”. En ella describió la fabricación de módulos y tuberías con diferentes servicios como agua de proceso, agua cruda, combustible, agua fresca, red de sistema contra incendios, agua de sello, aire de planta, aire de instrumentación, entre otros. La fabricación tiene como destino La Mina Chinalco. También describió sobre el proceso de fabricación de la tubería HDPE y acero al carbono, los ensayos no destructivos que se aplican en la fabricación, proceso de corte y soldadura. Finalmente indicó el proceso de ensamblaje de tubería para la construcción.

Ramírez Montoya, Omar (2017), realizó una investigación “Diseño y construcción de banco hidráulico para determinar las pérdidas de energía en tuberías” de La Universidad Católica de Colombia. En ella realizó un trabajo en laboratorio de hidráulica para analizar las diferentes pérdidas de presión causado por la fricción del fluido con la tubería, por la rugosidad de la tubería y por la velocidad del fluido que son algunas variables que inciden en la interacción del flujo-pared sólida del conducto sección circular.

Franquet Bernis, Josep Maria (2020), realizó un artículo para el Centro Asociado de Tortosa, España. En ella indicó sobre la relación de presión, diámetro y pérdidas de energía por fricción para a un mismo caudal. También indicó que para un mismo caudal a

mayor diámetro de diseño de tubería las pérdidas primarias disminuyen, y por el contrario para un menor diámetro a un mismo caudal, las pérdidas primarias aumentan, pero se requerirá una bomba de mayor capacidad, es decir mayor costo.

Los antecedentes mencionados en la presente sección brindaron conocimientos de ingeniería concernientes a la presente monografía técnica, como el cálculo de diámetro hidráulico en sistema de tuberías, cálculos del factor de fricción en un sistema de tuberías, pérdidas de energía causado por la fricción de las paredes de la tubería con el fluido y la selección de una bomba con respecto a los parámetros hidráulicos como el ADT, NPSHa, potencia y caudal.

2.2. Bases teóricas fundamentales

2.2.1. Ecuación de Bernoulli modificada

La primera ley de la termodinámica, coloquialmente conocida como “Todo lo que entra es igual a todo lo que sale” tiene como resultado el ejemplo claro de la ecuación de Bernoulli modificada, que es el estudio del comportamiento de una partícula en el punto 1 y posterior a ello en el punto 2 (ver figura 2). Aquí se añade energía si la partícula en el punto 1 necesita llegar al punto 2 y sobre pasar la altura dinámica total para que pueda fluir. La altura dinámica total es la suma total de la energía potencial y las pérdidas mayores y menores para que la partícula del punto 1 llegue al punto 2. Para ello se debe de cumplir 3 condiciones dentro del control de volumen:

- Flujo permanente (el caudal se mantiene a lo largo del tiempo).
- Flujo incompresible (la densidad se mantiene constante).
- Sin transferencia de calor.

Bajo esas condiciones mostramos la siguiente ecuación:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \pm \frac{Pot}{\gamma Q} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{1-2} \quad (1)$$

Donde:

v : Velocidad de la partícula.

g : Aceleración de la gravedad.

p : Presión de la partícula.

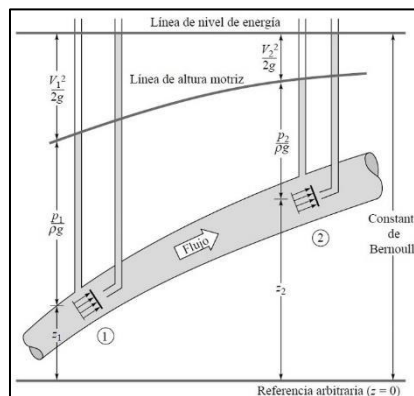
γ : Peso específico.

Pot : Potencia de la bomba.

Q : Caudal volumétrico.

h_{1-2} : Pérdidas por fricción (primarias y secundarias).

Figura 2: Línea de energía de ecuación de Bernoulli modificada..

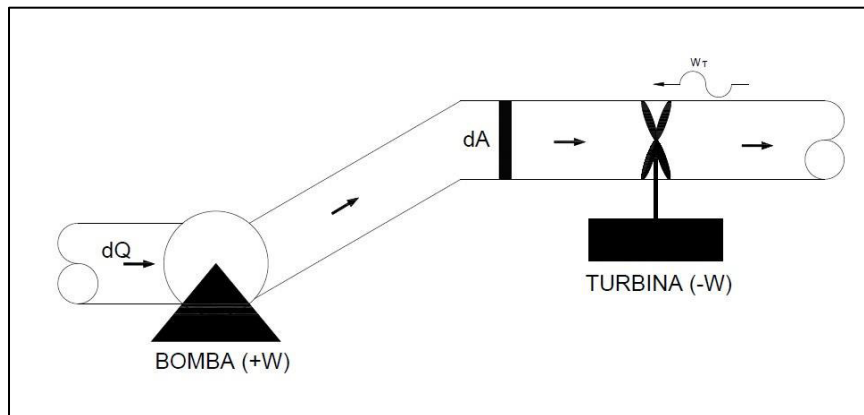


Nota: Adaptado de Frank M. White (2003). *Mecánica de fluidos 5ta edición*.

2.2.2. Ecuación integral de la energía

Para la ecuación integral de la energía se debe de considerar un volumen de control para evaluar el comportamiento de la partícula en una línea de flujo. En ella se considera las pérdidas primarias y secundarias que causan una disminución de energía al ser transportada el flujo. También se considera el trabajo positivo a ella (Bombas) o trabajo que negativos a ella (turbinas, generadores de energía).

Figura 3: Trabajo realizado sobre una línea de flujo.



Nota: Trabajo en una línea de flujo. Elaboración propia.

Por lo tanto, se plantea la ecuación 2 (ecuación integral de la energía):

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{dW_{eje}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\forall C} \rho \left(\frac{v^2}{2} + gZ + u \right) d\forall + \iint_{SC} \rho \left(\frac{v^2}{2} + gZ + h \right) \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2)$$

2.2.3. Régimen del flujo y el número de Reynolds.

En fluidos no newtonianos, en la presente monografía técnica es el agua. Se tiene el régimen de flujo laminar, flujo transitorio y flujo turbulento. Y para considerar el tipo de régimen en que se encuentra el fluido se utiliza el número de Reynolds que es un número adimensional que a través de ciertos intervalos se puede identificar si se encuentran el régimen laminar, transitorio o turbulento:

$$0 < Re < 2000 \quad \text{Régimen Laminar}$$

$$2000 \leq Re < 4000 \quad \text{Régimen Transitorio}$$

$$4000 \leq Re \quad \text{Régimen Turbulento}$$

El número de Reynolds es igual a:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad (3)$$

Donde:

Re : Número de Reynolds (adimensional).

V : Velocidad del fluido $\frac{m}{s}$.

D : Diámetro de la tubería m .

ν : Viscosidad cinemática $\frac{m^2}{s}$.

2.3. Bases teóricas de ingeniería

2.3.1. Ecuación de Hazem Williams y Colebrook- White

En Estados Unidos los ingenieros civiles solían utilizar la ecuación elaborado por Hazem Williams en donde se obviaba el número de Reynolds.

$$V = 1.319 C R_H^{0.63} S^{0.54} \frac{ft}{s} \quad (4)$$

$$\text{Donde: } S = \frac{Q_{gpm}^{1.85}}{1.67 \times C^{1.85} \times R_H^{1.17}} \quad (5)$$

Donde:

S : Pendiente de canal.

V : Velocidad $\frac{ft}{s}$.

R_H : Radio hidráulico ft .

C : Coeficiente de rugosidad.

Tabla 1: Valores de coeficiente de rugosidad *C*. Hazem Williams

Material	Coficiente de Rugosidad (C)
Tubería extremadamente lisa	140
Tubería muy lisa	130
Tubería de concreto	120
Tubería remachada y canal embaldosado	110
Tubería fundida	100
Tubería muy rugosa	60

Nota: Handbook of hydraulic resistance, 4th revised and augment edition. I.E. Idelchik.

La ecuación 6 de Colebrook-White es una ecuación con variable implícita f que se resuelve mediante métodos numéricos. Uno de los métodos más comunes es el de Newton-Raphson.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (6)$$

Donde:

f : Factor de fricción.

Re : Número de Reynolds.

ε : Coeficiente de rugosidad (m).

D : Diámetro de la tubería (m).

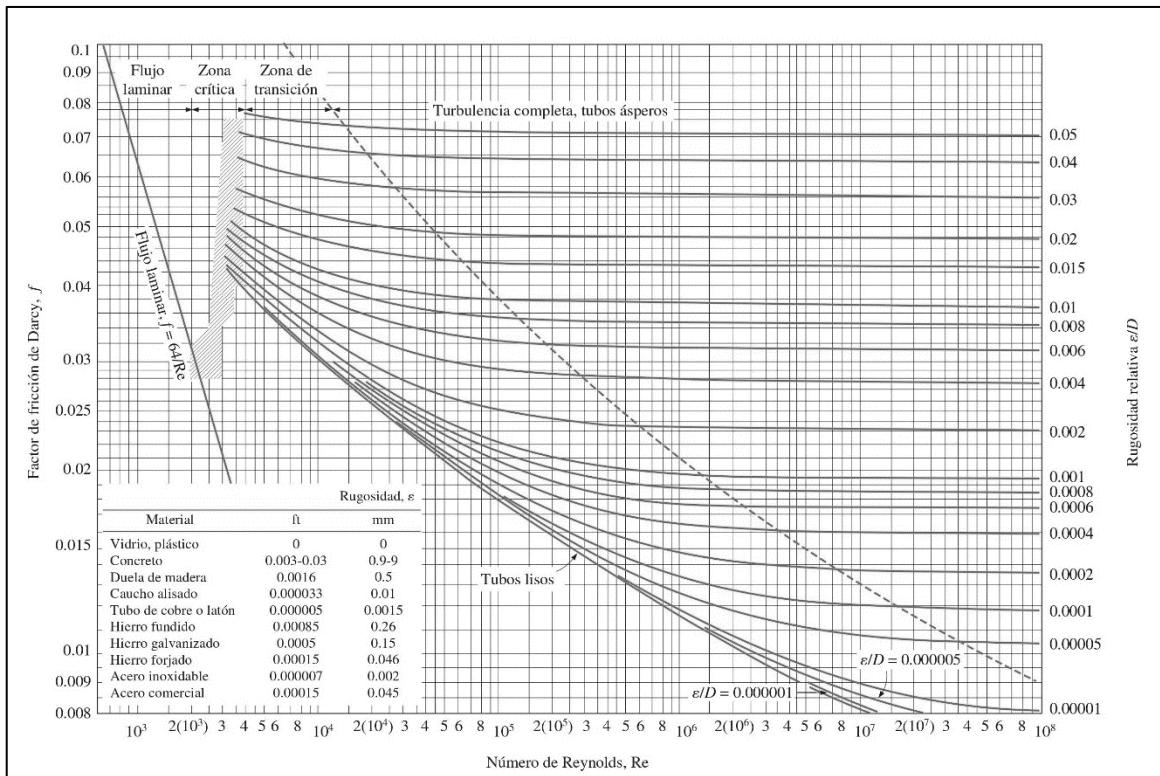
Sin embargo, también se puede hallar el valor del factor de fricción a través del nomograma de Moody (ver figura 4). En la tabla 2 se muestran algunos valores de rugosidad para tuberías nuevas de acero al carbono.

Tabla 2: Valores de rugosidad para tuberías nuevas de acero al carbono.

Denominación inch	Diámetro		Presión psi	Rugosidad relativa
	exterior inch	Espesor	permitida a 650 °F	para tubería nueva ϵ
2" Sch 160	2.375	0.344	3890	0.001400
3" Sch 160	3.5	0.438	3495	0.000900
4" Sch 160	4.5	0.531	3387	0.000687
5" Sch 160	5.633	0.625	3284	0.000539
6" Sch 160	6.625	0.719	3215	0.000455
8" Sch 160	8.625	0.906	3173	0.000347
10" Sch 160	10.75	1.125	3211	0.000278
12" Sch 140	12.75	0.844	1927	0.000214
14" Sch 120	14	1.062	2265	0.000199
16" Sch 100	16	1.031	1903	0.000169
20" Sch 10	20	0.250	280	0.000121
24" Sch 160	24	2.344	3083	0.000122
30" Sch 10	30	0.312	254	0.0000804
48 S	48	0.375	195	0.0000499

Nota: Dimensiones basados en ANSI B36.1 y B31.1.

Figura 4: Diagrama de Moody.



Nota: Diagrama de Moody para flujos en sección circular. Fuente: Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones 2da edición. Yunus Cengel y John Cimbala (2012).

2.3.2. Pérdidas por fricción y altura dinámica total ADT.

Para un sistema de tubería de largo alcance se obvian las pérdidas por accesorio ya que son valores mínimos que no afectan al sistema ($h_m=0$), sin embargo, las pérdidas primarias ocasionadas por la fricción de la tubería con el fluido son sensible debido a la gran longitud del sistema.

$$h_f = f \frac{LV^2}{2gD} \quad (7)$$

Donde:

h_f : Pérdidas primarias (m).

- f : Factor de fricción.
- V : Velocidad de flujo (m/s).
- D : Diámetro de la tubería (m).
- g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

La altura dinámica total es un dato de ingreso para la selección de la bomba y así lograr impulsar el agua hasta el alcance requerido. El ADT es la suma total de todas las pérdidas de energía tanto por accesorios, por fricción de tubería y por la diferencia de elevación entre el punto inicial (impulsión) y punto final (descarga). Mayormente en tuberías de larga longitud se obvian las pérdidas por accesorios ya que son relativamente mínimas comparadas con las pérdidas por fricción de tubería y pérdidas por diferencia de elevación.

$$ADT = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) + h_f \quad (8)$$

Donde:

ADT: Altura dinámica total (m).

P: Presión estática en la impulsión y descarga del sistema (m).

Z: Elevación tanto en la impulsión y descarga del sistema (m).

h_f : Pérdidas primarias y pérdidas secundarias (m).

2.3.3. Potencia hidráulica

La potencia consumida de los equipos de bombeo de agua se determinó mediante la siguiente expresión:

$$Pot(hp) = SG \times \frac{Q}{3.6} \times \frac{ADT}{76 \times \eta_b} \times Fs \quad (9)$$

Donde:

Pot : Potencia hp .

SG : Gravedad específica del líquido.

Q : Caudal $\frac{m^3}{s}$.

ADT : Altura dinámica total m .

η_B : Eficiencia de la bomba.

F_S : Factor de seguridad.

2.3.4. Presión de vapor P_v y presión atmosférica P_{atm}

La presión de vapor es el parámetro hidráulico del líquido que indica la presión máxima en la que el fluido líquido pasa al estado gaseoso. La presión de vapor es un parámetro importante para hallar el $NPSH_A$ el cual se menciona en la siguiente sección.

La presión de vapor se puede expresar en función de la temperatura para el agua en estado líquido a través de la siguiente ecuación 10 en metros de columna de agua:

$$P_v(m) = 0.06231 \times e^{\frac{17.23T}{273.3+T}} \quad (10)$$

Donde:

P_v : Presión de vapor del agua (m).

T : Temperatura ($^{\circ}C$).

La presión atmosférica se expresa en función a la elevación en la que se encuentra el sistema y se puede expresar en la ecuación 20 en kilo pascales o en la ecuación 21 en metros de columna de agua:

$$P_{atm}(kPa) = (3.7314 - 0.8417 \times 0.0001 \times Z)^{5.2559} \quad (11)$$

$$P_{atm}(m) = \frac{P_{atm}(kPa) \times 1,000}{\rho \times g} \quad (12)$$

Donde:

P_{atm} : Presión atmosférica (kPa o m).

Z: Elevación (m).

2.3.5. *Presión de entrada disponible $NPSH_A$*

Es el parámetro hidráulico requerido para la selección de la bomba. Indica la presión que requiere la bomba para evitar la cavitación en la succión del sistema.

$$NPSH_A(m) = P_{atm} - P_v + H_s - h_s \quad (13)$$

Donde:

$NPSH_A$: Presión de entrada disponible (m).

P_{atm} : Presión atmosférica (m).

P_v : Presión de vapor (m).

H_s : Altura de succión (m).

h_s : Pérdidas de fricción del tanque hacia la bomba (m).

Cabe mencionar que la norma ANSI/HI 9.61 recomienda que:

$$NPSH_A - NPSH_r \geq 1m \quad (14)$$

Donde el $NPSH_r$ es la presión requerida de la bomba con la cual fue fabricada y es un dato que brinda el vendedor de bombas.

2.4. Glosario

El presente documento, consideró las siguientes definiciones:

- Densidad (ρ): Es la masa por unidad de volumen de una sustancia en $\frac{kg}{m^3}$ para el SI.
- Caudal (Q): Es la cantidad de masa o volumen de un fluido que atraviesa un volumen de control por unidad de tiempo. Su medida es en $\frac{m^3}{h}$ para el SI.
- Número de Reynolds (Re): Es un número adimensional que indica el régimen del flujo de fluido líquido; laminar, transitorio o turbulento.
- Peso específico (γ): Es el peso por unidad de volumen de una sustancia. Su medida es en $\frac{N}{m^3}$ para el SI.
- Presión (p): La presión es una magnitud escalar resultante de los vectores de fuerzas aplicadas a una superficie, esta resultante es ortogonal a la superficie aplicada. Su medida es en $\frac{N}{m^2}$ para el SI.
- Temperatura (T): . La temperatura es producto de la agitación de las partículas de los fluidos tanto en movimiento por la interacción de sus moléculas, o en reposo debido a factores externos o intrínsecos. Su medida es en °C para el SI.
- Viscosidad dinámica μ : Es la resistencia interna que ejercen las moléculas en un fluido en velocidad. Su medida es en $kg / m.s$ para el SI.
- Viscosidad cinemática ν : Es la resistencia que ejerce el fluido a través de sus partículas a realizar desplazamiento. Su medida es en $\frac{m^2}{s}$ para el SI.

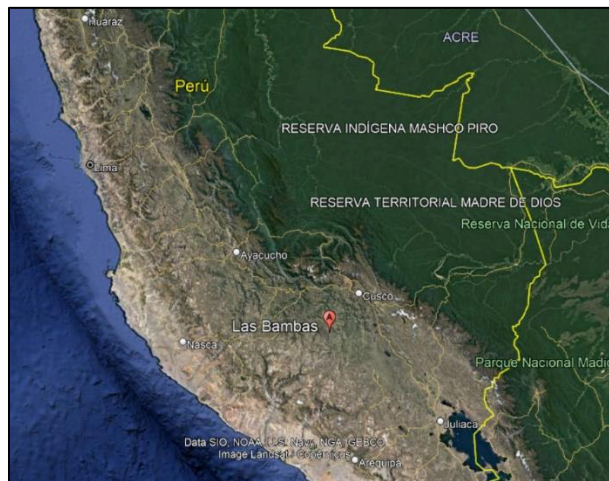
Capítulo III-Proceso Metodológico

3.1. Ubicación del proyecto

Las Bambas es un yacimiento minero que produce concentrado de cobre y molibdeno. Se encuentra situado a más de 4000 msnm, entre los distritos de Challhuahuacho, Tambobamba y Coyllurqui, provincia de Cotabambas y el distrito Progreso, provincia de Grau en la región Apurímac a 72 kilómetros al suroeste de la ciudad de Cusco, Perú. Es una de las operaciones de cobre más grandes del mundo construida en el 2015.

Dentro de los componentes desarrollados para el proyecto Chalcobamba se encontró proyectado el diseño de la línea de impulsión de agua fresca, para el abastecimiento de diversos tanques del sistema contra incendio la cual inicia desde la presa Chuspiri pasando por el área de chancado y culminando en el área de facilidades.

Figura 5: *Ubicación geográfica del proyecto Chalcobamba, Las Bambas.*



Nota: En la figura 5 se muestra la ubicación geográfica de la minera Las Bambas. Coordenadas 14°06' S 72°19' O Fuente: Google Earth.

Figura 6: *Campamento minero Las Bambas.*



Nota: En la figura 6 se muestra la ubicación geográfica de la minera Las Bambas. Fuente: Google Earth.

3.2. Estándares y normas

Se utilizaron las siguientes normas y códigos para el diseño de la línea de impulsión de agua fresca para el sistema contra incendios en la presente monografía técnica:

- ASME B1.20.1 Pipe threads, General purpose.
- ASME B16.9 Factory-Made Wrought Steel Butt welding Fitting
- ASME B16.11 Forged Steel Fitting, Socket-Welding and threaded.
- ASME B16.21 Non metallic Flat Gaskets for Pipe Flanges.
- ASME B16.34 Valve-Flanged, Threaded and Welding End.
- ASME B16.47 Large Diameter Steel Flanges. (NPS 26 THROUGH NPS 60Metric/Inch Standard).

- ASME B18.2.2 Nuts for General Applications: Machine Screw Nuts, Hex, Square, Hex Flange and coupling Nuts (Inch series).
- ASME B31.3 Process Piping.
- ASME B36.19M Stainless Steel Pipe.
- American Petroleum Institute (API).
- Global Practices (GP).
- NFPA 20 / 2019: Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection.
- NFPA 22 / 2018: Standard for Water Tanks for Private Fire Protection.

3.3. Consideraciones de diseño

Se tuvieron las siguientes consideraciones en la presente monografía técnica:

- a. La monografía técnica consideró los cálculos hidráulicos, basados en ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos y con soporte en una hoja cálculo para optimizar el tiempo de resultados.
- b. Se obviaron los aspectos sociales y ambientales ya que la monografía se encuentra en una etapa de pre factibilidad.
- c. La presente monografía técnica se evaluó en régimen estable (la cantidad de movimiento se mantiene constante a lo largo del tiempo).

3.4. Cálculos de ingeniería

3.4.1. Datos de entrada

- Propiedades del fluido:

Tabla 3: *Propiedades del fluido agua.*

Propiedad	Valor
Temperatura de operación	15 °C
Gravedad específica (SG)	1.00
Viscosidad dinámica (μ)	0.114 Kg/m.s

Elaborado a partir de la norma ASME B31.4. Pipelines Transportation Systems for Liquids and Slurries.

- Vida útil del proyecto: 20 años.
- Consideraciones hidráulicas:

Tabla 4: *Consideraciones hidráulicas del sistema.*

Propiedad	CS	HDPE
Tasa de corrosión mm/año	0.2	-
Rugosidad mm	0.05 (nuevo)	0.05 (nuevo)

Elaborado a partir de la norma ASME B31.4. Pipelines Transportation System for Liquids and Slurries.

3.4.2. Escenarios de operación

Los cálculos hidráulicos desarrollados en el presente capítulo consideraron el dimensionamiento del sistema de bombeo del sistema de agua fresca proveniente desde la estación de bombeo de la presa Chuspiri hacia los tanques para el sistema contra incendio mostrados la figura 7 y figura 8.

En la tabla 5 se observa el caudal requerido para los siguientes tanques:

Tabla 5: *Escenarios de operación para el sistema.*

Tanque	Nombre	Volumen de tanque m^3	Tiempo de llenado <i>horas</i>	Caudal de suministro $\frac{m^3}{h}$
0211-TKF-0001	Tanque de agua fresca para			
Escenario 01.	SCI, área de chancado.	1,020	7.7	132.3
Nominal	Longitud de tramo 2,210 m.			
0893-TKF-0090	Tanque de agua fresca para			
Escenario 02.	SCI, área de facilidades.	1,130	9.4	120
Crítico	Longitud de tramo 3,300 m.			

Nota: Elaborado de acuerdo a las medidas de volumen de un tanque comercial para sistemas contra incendio en minería. El caudal es hallado con respecto al tiempo de llenado según sus longitudes correspondientes para cada tramo.

En la figura 7 se muestra el Escenario 01 (01 bomba operando 2132-PPC-0130 y 01 bomba en stand by 2132-PPC-0131) para suministrar agua fresca desde la estación de bombeo Chuspíri hacia el tanque 0211-TKF-0001. Operación nominal.

Figura 7: Diagrama de proceso del escenario 01.

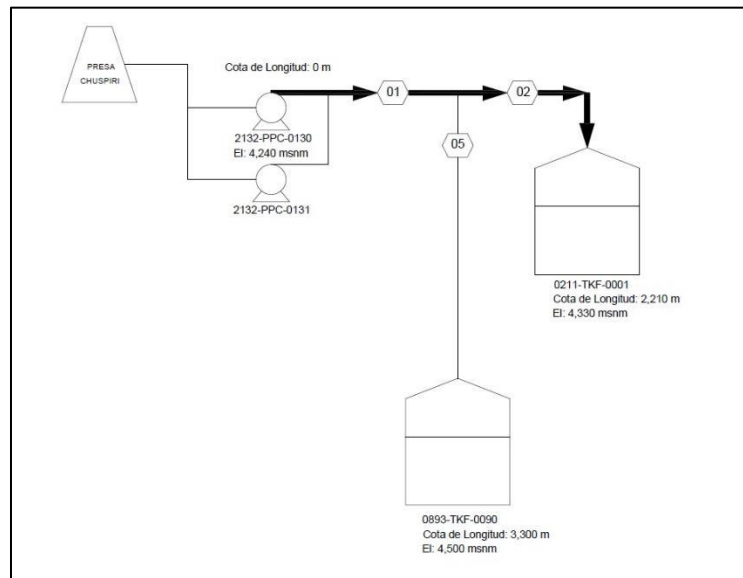


Figura 7: Diagrama de flujo de proceso, 01 bomba operando y caudal de diseño de 132.3 m³/h, para tanque 0211- TKF -0001 – Escenario 01. Elaborado por ingeniería conceptual.

La Figura 8 muestra el Escenario 02 (01 bomba operando 2132-PPC-0130 y 01 bomba stand by 2132-PPC-0131) para suministrar agua fresca desde la estación de bombeo hacia el tanque 0893-TKF-0090. Operación crítica.

Figura 8: Diagrama de proceso del escenario 02 (operación crítica).

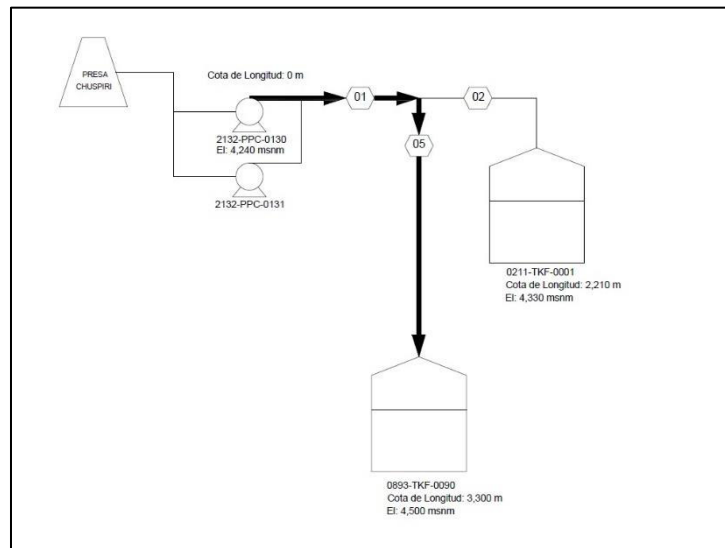
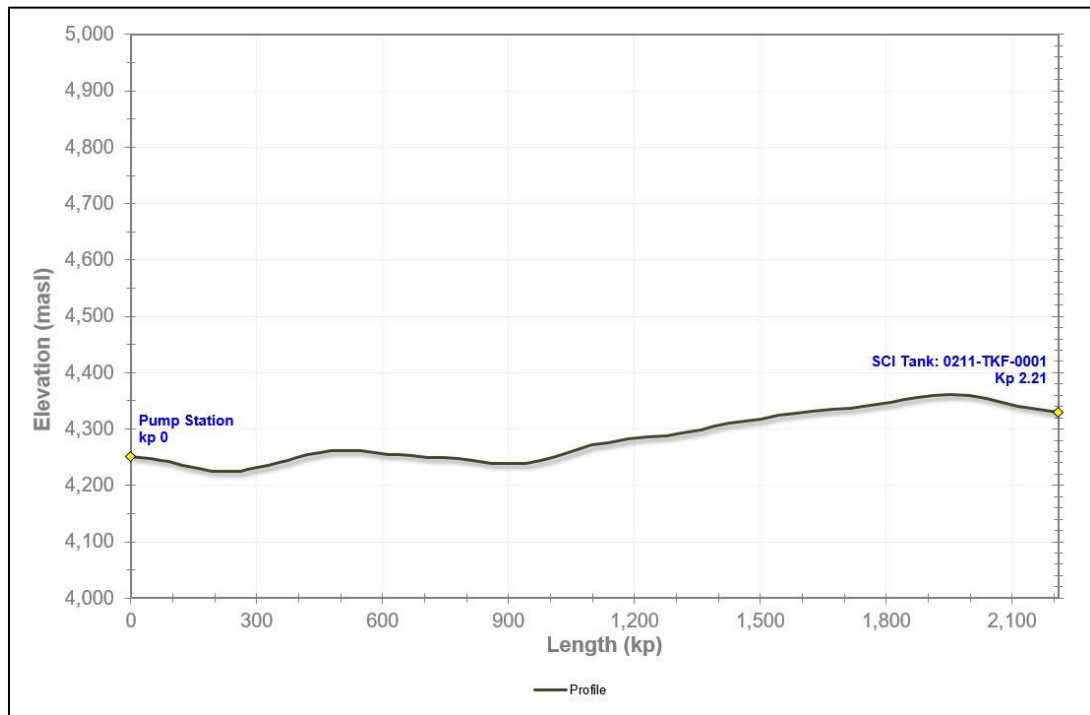


Figura 8: Diagrama de flujo de proceso, 01 bomba operando y caudal de diseño de 120 m³/h, para tanque 0893-TKF-0090, Escenario 02. Operación crítica. Elaborado por ingeniería conceptual.

3.4.3. Perfiles

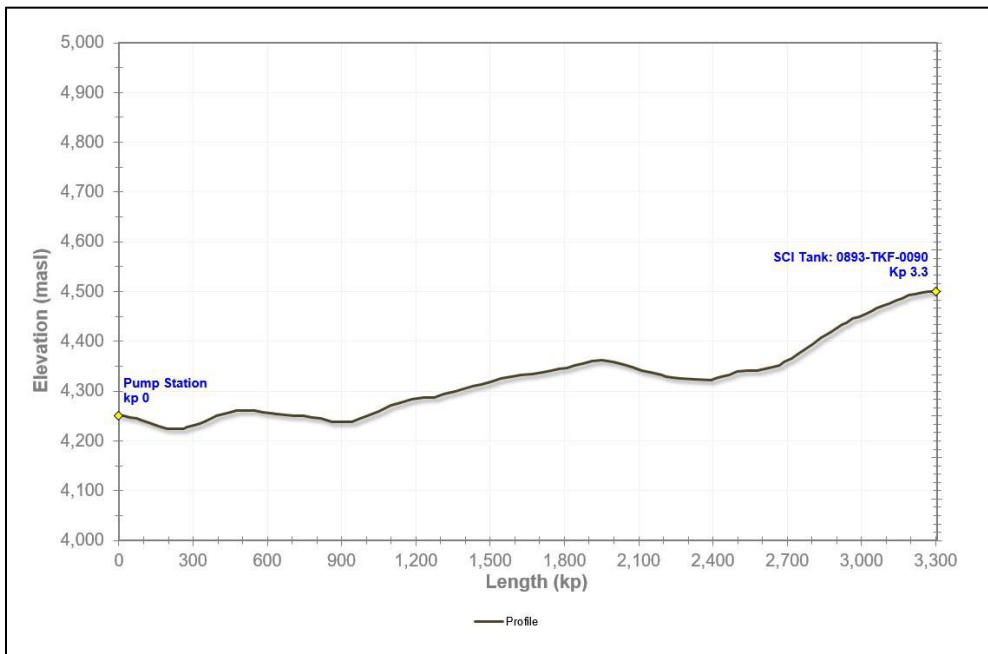
La figura 9 y figura 10 muestran el perfil de transporte de agua fresca desde la estación de bombeo EB (bombas 2132-PPC-0130 y 2132-PPC-0131 stand by) hacia los tanques de agua fresca y contraincendios respectivamente.

Figura 9: Perfil del terreno para escenario 01.



Nota: Elaborado a partir de los datos topográficos extraídos desde google earth el cual se puede trazar el perfil del terreno.

Figura 10: Perfil del terreno para escenario 02 (crítico).



Nota: Elaborado a partir de los datos topográficos extraídos desde el google earth el cual se puede trazar el perfil del terreno.

3.4.4. Cálculos hidráulicos del sistema

A continuación, se realizaron los cálculos para hallar el diámetro hidráulicamente óptimo iterando valores de diámetros para el escenario 02 ya que es el escenario crítico por tener mayor longitud que el escenario 01. También se calcularon las pérdidas por fricción, la altura dinámica total y la potencia requerida para la bomba.

Se consideró el requerimiento de caudal según la tabla 5 y a su vez los tramos considerados según el perfil del terreno según figura 10.

Para el escenario 01 (nominal) sólo se mostraron los resultados en la tabla 8 ya que el proceso del cálculo es similar al escenario 02 (crítico).

Tabla 6: *Requerimiento de caudal para escenario 02 (operación crítica).*

Parámetros	Operación crítica (escenario 02)	
Elevación (msnm)	4,240 - 4,329	4,329- 4,500
Ubicación Longitud (m)	0-1,585 (Tramo 01)	1,585-3,300 (Tramo 02)
Material	CS A53 Gr.B	HDPE PE4710 SDR7.3
Caudal (m3/h)	120	

Nota: Requerimiento de caudal para escenario 02 (operación crítica). Datos de la figura 10 para las longitudes y material. El caudal es estimado en la etapa conceptual del proyecto. El material para tramos no accidentados es de CS A53 Gr. B recomendado por la norma ASME B31.4 Pipeline Transportation System for liquids and slurries y para los tramos agrestes es de HDPE PE4710 SDR7.3 según la norma AWWA M55-2006 1st PE Pipe - Design and Installation.

Diámetro nominal DN 6:

Para tramo 01 se tiene los siguientes datos:

Material: CS A53 Gr. B.

Diámetro exterior (OD): 168.3 mm.

Espesor de tubería (Wt): 9.27 mm.

Diámetro interior (Di): $[OD - (2 \times Wt)] = [168.3 \text{ mm} - 2 \times 9.27 \text{ mm}] = 0.15 \text{ m}$

Longitud de tubería: 1,585 m.

Caudal: 120 m³/h

De la ecuación de la velocidad se obtiene:

$$V = \frac{4 \times Q}{3,600 \times \pi \times D_i^2} = \frac{4 \times 120}{3,600 \times \pi \times 0.15^2} = 1.8923 \frac{m}{s}$$

De la ecuación 3 se obtiene el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \times D_i}{\nu} = \frac{\rho \times V \times D_i}{\mu} = \frac{999.17 \times 1.89 \times 0.15}{0.00114} = 248,323$$

De la ecuación 6 se obtiene el factor de fricción f :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}}\right)$$

Se realizan iteraciones dando valor a f de tal manera que converjan ambos lados de la ecuación 6.

Para $f = 0.5$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $1.41 \neq 4.84$ (no converge).

Para $f = 0.05$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $4.47 \neq 4.83$ (no converge).

Para $f = 0.04187$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $4.886 = 4.838$ (converge).

De la ecuación 7 se obtiene las pérdidas primarias por fricción:

$$h_{\text{Tramo01}} = f \frac{LV^2}{2gD} = \frac{0.04187 \times 1,585 \times 1.89^2}{2 \times 9.81 \times 0.15} = 80.88m$$

De la ecuación 8 se obtiene la altura dinámica total:

$$ADT_{\text{Tramo01}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) + h_f = (4,329 - 4,240) + 80.88 = 169.88m$$

Para tramo 02 se tiene los siguientes datos:

Material: HDPE PE 4710 SDR 7.3.

Diámetro exterior (OD)= 168.3 mm.

Espesor de tubería (Wt)= 23.063 mm.

Diámetro interior (Di): $[OD - (2 \times Wt)] = [168.3 \text{ mm} - 2 \times 23.063 \text{ mm}] = 0.122 \text{ m}$

Longitud de tubería: 1,715 m.

Caudal: 120 m³/h

De la ecuación de la velocidad se obtiene:

$$V = \frac{4 \times Q}{3600 \times \pi \times D_i^2} = \frac{4 \times 120}{3600 \times \pi \times 0.122^2} = 2.8434 \frac{m}{s}$$

De la ecuación 3 se obtiene el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \times D_i}{\nu} = \frac{\rho \times V \times D_i}{\mu} = \frac{999.17 \times 2.84 \times 0.122}{0.00114} = 304,256$$

De la ecuación 6 se obtiene el factor de fricción f :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Se realizan iteraciones dando valor a f de tal manera que converjan ambos lados de la ecuación 6.

Para $f = 0.5$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $1.41 \neq 4.67$ (no converge).

Para $f = 0.05$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $4.47 \neq 4.66$ (no converge).

Para $f = 0.04499$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $4.71 = 4.66$ (converge).

De la ecuación 7 se obtiene las pérdidas por fricción h_l :

$$h_{l_{Tramo02}} = f \frac{LV^2}{2gD} = \frac{0.04499 \times 1,715 \times 2.84^2}{2 \times 9.81 \times 0.12} = 260.25m$$

De la ecuación 8 se obtiene la altura dinámica total:

$$ADT_{Tramo02} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) + h_f = (4,500 - 4,329) + 260.25 = 431.25m$$

Total de pérdidas por fricción y altura dinámica total para DN 6:

$$h_f = h_{l_{Tramo01}} + h_{l_{Tramo02}} = 80.88 + 260.25 = 341.13m$$

$$ADT = ADT_{Tramo01} + ADT_{Tramo02} = 169.88 + 431.25 = 601.14m$$

Cálculo de la potencia del sistema para DN 6:

De la ecuación 9 se obtiene la potencia en hp del sistema:

$$Pot(hp) = SG \times \frac{Q}{3.6} \times \frac{ADT}{76 \times \eta_b} \times Fs = 1 \times \frac{120}{3.6} \times \frac{601.14}{76 \times 0.652} \times 1.1 = 444.82hp$$

$$Pot = 444.82hp$$

Diámetro nominal DN 8:

Para tramo 01 se tiene los siguientes datos:

Material: CS A53 Gr. B.

Diámetro exterior (OD): 219.1 mm.

Espesor de tubería (Wt): 8.18 mm.

Diámetro interior (Di): $[OD - (2 \times Wt)] = [219.1 \text{ mm} - 2 \times 8.18 \text{ mm}] = 0.203 \text{ m}$

Longitud de tubería: 1,585 m.

Caudal: 120 m³/h

De la ecuación de la velocidad se obtiene:

$$V = \frac{4 \times Q}{3,600 \times \pi \times D_i^2} = \frac{4 \times 120}{3,600 \times \pi \times 0.203^2} = 1.03 \frac{m}{s}$$

De la ecuación 3 se obtiene el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \times D_i}{\nu} = \frac{\rho \times V \times D_i}{\mu} = \frac{999.17 \times 1.03 \times 0.203}{0.00114} = 183,432$$

De la ecuación 6 se obtiene el factor de fricción f :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}}\right)$$

Se realizan iteraciones dando valor a f de tal manera que converjan ambos lados de la ecuación 6.

Para $f = 0.2$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $2.23 \neq 5.10$ (no converge).

Para $f = 0.1$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $3.16 \neq 5.09$ (no converge).

Para $f = 0.0378$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $5.139 = 5.088$ (converge).

De la ecuación 7 se obtiene las pérdidas primarias por fricción:

$$h_{l_{\text{tramo01}}} = f \frac{LV^2}{2gD} = \frac{0.0378 \times 1,585 \times 1.03^2}{2 \times 9.81 \times 0.203} = 16.08 \text{ m}$$

De la ecuación 8 se obtiene la altura dinámica total:

$$ADT_{Tramo01} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) + h_f = (4,329 - 4,240) + 16.08 = 105.08m$$

Para tramo 02 se tiene los siguientes datos:

Material: HDPE PE 4710 SDR 7.3.

Diámetro exterior (OD)= 219.1 mm.

Espesor de tubería (Wt)= 30.023 mm.

Diámetro interior (Di): $[OD - (2 \times Wt)] = [219.1 \text{ mm} - 2 \times 30.023 \text{ mm}] = 0.159 \text{ m}$

Longitud de tubería: 1,715 m.

Caudal: 120 m³/h

De la ecuación de la velocidad se obtiene:

$$V = \frac{4 \times Q}{3600 \times \pi \times D_i^2} = \frac{4 \times 120}{3600 \times \pi \times 0.159^2} = 1.677 \frac{m}{s}$$

De la ecuación 3 se obtiene el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \times D_i}{\nu} = \frac{\rho \times V \times D_i}{\mu} = \frac{999.17 \times 1.677 \times 0.159}{0.00114} = 233,708$$

De la ecuación 6 se obtiene el factor de fricción f :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}}\right)$$

Se realizan iteraciones dando valor a f de tal manera que converjan ambos lados de la ecuación 6.

Para $f = 0.2$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $7.07 \neq 4.88$ (no converge).

Para $f = 0.1$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $10.00 \neq 4.87$ (no converge).

Para $f = 0.04102$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $4.93=4.88$ (converge).

De la ecuación 7 se obtiene las pérdidas por fricción h_f :

$$h_{f_{Tramo02}} = f \frac{LV^2}{2gD} = \frac{0.04102 \times 1,715 \times 2.84^2}{2 \times 9.81 \times 0.159} = 63.44m$$

De la ecuación 8 se obtiene la altura dinámica total:

$$ADT_{Tramo02} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) + h_f = (4,500 - 4,329) + 63.44 = 234.44m$$

Pérdidas por fricción y altura dinámica total para DN 8:

$$h_f = h_{f_{Tramo01}} + h_{f_{Tramo02}} = 16.08 + 63.44 = 79.53m$$

$$ADT = ADT_{Tramo01} + ADT_{Tramo02} = 105.08 + 234.44 = 339.53m$$

Cálculo de la potencia del sistema para DN 8:

De la ecuación 9 se obtiene la potencia en hp del sistema:

$$Pot(hp) = SG \times \frac{Q}{3.6} \times \frac{ADT}{76 \times \eta_b} \times Fs = 1 \times \frac{120}{3.6} \times \frac{339.53}{76 \times 0.652} \times 1.1 = 251.24hp$$

$$Pot = 251.24hp$$

Diámetro nominal DN 10:

Para tramo 01 se tiene los siguientes datos:

Material: CS A53 Gr. B.

Diámetro exterior (OD): 273 mm.

Espesor de tubería (Wt): 7.11 mm.

Diámetro interior (Di): $[OD - (2 \times Wt)] = [273 \text{ mm} - 2 \times 7.11 \text{ mm}] = 0.259 \text{ m}$

Longitud de tubería: 1,585 m.

Caudal: 120 m³/h

De la ecuación de la velocidad se obtiene:

$$V = \frac{4 \times Q}{3,600 \times \pi \times D_i^2} = \frac{4 \times 120}{3,600 \times \pi \times 0.259^2} = 0.633 \frac{m}{s}$$

De la ecuación 3 se obtiene el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \times D_i}{\nu} = \frac{\rho \times V \times D_i}{\mu} = \frac{999.17 \times 0.633 \times 0.259}{0.00114} = 143,709$$

De la ecuación 6 se obtiene el factor de fricción f :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}}\right)$$

Se realizan iteraciones dando valor a f de tal manera que converjan ambos lados de la ecuación 6.

Para $f = 0.5$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $1.41 \neq 5.31$ (no converge).

Para $f = 0.2$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $2.23 \neq 5.30$ (no converge).

Para $f = 0.03512$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $5.33 = 5.28$ (converge).

De la ecuación 7 se obtiene las pérdidas primarias por fricción:

$$h_{\text{Tramo01}} = f \frac{LV^2}{2gD} = \frac{0.03512 \times 1,585 \times 0.633^2}{2 \times 9.81 \times 0.259} = 4.74m$$

De la ecuación 8 se obtiene la altura dinámica total:

$$ADT_{\text{Tramo01}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) + h_f = (4,329 - 4,240) + 4.74 = 93.74m$$

Para tramo 02 se tiene los siguientes datos:

Material: HDPE PE 4710 SDR 7.3.

Diámetro exterior (OD)= 273 mm.

Espesor de tubería (Wt)= 37.41 mm.

Diámetro interior (Di): $[OD - (2 \times Wt)] = [273 \text{ mm} - 2 \times 37.41 \text{ mm}] = 0.198 \text{ m}$

Longitud de tubería: 1,715 m.

Caudal: 120 m³/h

De la ecuación de la velocidad se obtiene:

$$V = \frac{4 \times Q}{3600 \times \pi \times D_i^2} = \frac{4 \times 120}{3600 \times \pi \times 0.198^2} = 1.08 \frac{m}{s}$$

De la ecuación 3 se obtiene el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \times D_i}{\nu} = \frac{\rho \times V \times D_i}{\mu} = \frac{999.17 \times 1.08 \times 0.198}{0.00114} = 187,575$$

De la ecuación 6 se obtiene el factor de fricción f :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}}\right)$$

Se realizan iteraciones dando valor a f de tal manera que converjan ambos lados de la ecuación 6.

Para $f = 0.5$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $1.41 \neq 5.08$ (no converge).

Para $f = 0.2$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $2.23 \neq 5.08$ (no converge).

Para $f = 0.03814$ reemplazando en la ecuación 16, se obtiene $5.06 = 5.06$ (converge).

De la ecuación 7 se obtiene las pérdidas por fricción h_l :

$$h_{l_{Tramo02}} = f \frac{LV^2}{2gD} = \frac{0.03814 \times 1,715 \times 1.08^2}{2 \times 9.81 \times 0.198} = 19.64m$$

De la ecuación 8 se obtiene la altura dinámica total:

$$ADT_{Tramo02} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) + h_f = (4,500 - 4,329) + 19.64 = 190.64m$$

Pérdidas por fricción y altura dinámica total para DN 10:

$$h_f = h_{l_{Tramo01}} + h_{l_{Tramo02}} = 4.40 + 19.64 = 24.05m$$

$$ADT = ADT_{Tramo01} + ADT_{Tramo02} = 93.40 + 190.64 = 284.05m$$

Cálculo de la potencia del sistema para DN 10:

De la ecuación 9 se obtiene la potencia en hp del sistema:

$$Pot(hp) = SG \times \frac{Q}{3.6} \times \frac{ADT}{76 \times \eta_b} \times Fs = 1 \times \frac{120}{3.6} \times \frac{284.05}{76 \times 0.652} \times 1.1 = 210.18hp$$

$$Pot = 210.18hp$$

Cálculo de la presión de vapor y presión atmosférica en el sistema:

De la ecuación 10 se obtiene la presión de vapor del agua considerando 15 °C de temperatura indicado en la tabla 3:

$$P_v(m) = 0.06231 \times e^{\frac{17.23T}{273.3+T}} = 0.06231 \times e^{\frac{17.23 \times 15}{273.3+15}} = 0.15m$$
$$P_v = 0.15m$$

De la ecuación 11 y 12 se obtiene la presión atmosférica expresado en kPa o metros de columna de agua respectivamente. Se considera una elevación $z=4,457$ msnm indicado en la tabla 6.

$$P_{atm}(kPa) = (3.7314 - 0.8417 \times 0.0001 \times Z)^{5.2559} = (3.7314 - 0.8417 \times 0.0001 \times 4,457)^{5.2559} = 59.36$$
$$P_{atm} = 59.36kPa$$

$$P_{atm}(m) = \frac{59.36 \times 1,000}{998.7 \times 9.81} = 6.06m$$
$$P_{atm} = 6.06m$$

Cálculo del NPSH_A en el sistema

De la ecuación 13 se obtiene el NPSH_A para el sistema de impulsión para la bomba. Se considera los parámetros hallados:

$$P_v = 0.15m$$

$$P_{atm} = 6.06m$$

La altura de succión H_s en la presente monografía se consideró 0.8 m para los cálculos ya que es un valor utilizado en los proyectos semejantes al presente estudio.

Las pérdidas por fricción h_s de la tubería desde el tanque hacia la bomba se consideró un 5% de longitud. Se propone una tubería de 10 m de longitud, es decir $h_s=0.5m$

$$NPSH_A(m) = P_{atm} - P_v + H_s - h_s = 6.06 - 0.15 + 0.8 - 0.5 = 6.21m$$

$$NPSH_A = 6.21m$$

Capítulo V-Resultados y discusión

4.1. Presentación, análisis e interpretación de datos

Se tiene la tabla 7 que resume los parámetros hidráulicos para el DN6, DN8 y DN10 hallados en la sección 3.4.4 escenario 02 (crítico):

Tabla 7: Resumen de parámetros hidráulicos de DN 6, DN8 y DN10 escenario crítico.

Parámetros	DN 6	DN 8	DN 10
hf (m)	341.13	79.53	24.05
TDH (m)	601.14	339.53	284.05
V tramo 01 CS (m/s)	1.89	1.03	0.63
V tramo 02 HDPE (m/s)	2.84	1.68	1.08
Potencia (hp)	444.82	251.24	210.18

Nota: Elaborado a partir de los cálculos en la sección 3.4.4.

Para la tubería de impulsión de DN6 se presentan 341.13 metros de columna de agua de pérdida de fricción h_f que viene a ser mayor que la de DN8 y DN10. Ello es debido a que mientras menor sea el diámetro de la tubería el fluido tiene más fricción con las paredes de la tubería. Por lo tanto, para DN8 se obtiene un valor de 79.53 metros de columna de agua y para DN10 se obtiene 24.05 metros de columna de agua.

La altura dinámica total para la tubería de impulsión de DN6 se obtiene el mayor valor de 601.14 metros de columna de agua, es decir se necesita mayor energía para que funcione el sistema por lo tanto será de mayor hp o sea el más costoso, mientras para el DN8 se obtiene un valor de 339.53 metros de columna de agua y para el DN10 se obtiene

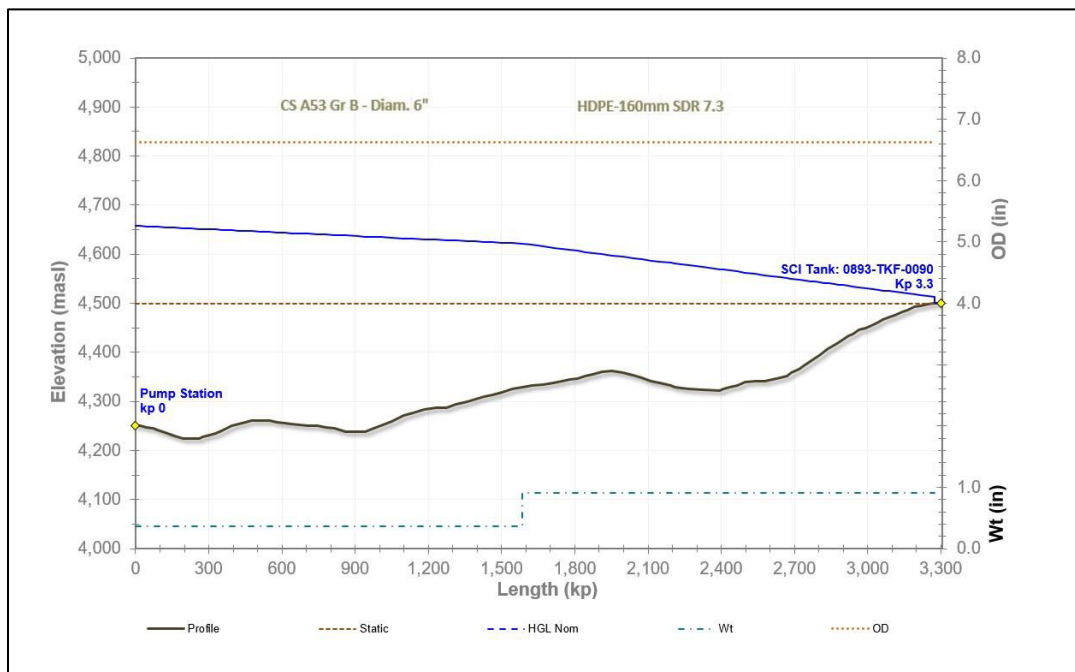
un valor de 284.05. El sistema de tubería de impulsión de DN10 con respecto al costo de instalación es más costoso que el sistema de impulsión de DN8.

Con respecto a las velocidades para un sistema de impulsión de tubería para agua fresca, se consideró como criterio de diseño que las velocidades deben ser mayor a 1 m/s y menores a 4 m/s. De ello se observaron que las velocidades para el sistema de DN8 es de 1.03 m/s para el tramo 01 y 1.68 m/s para el tramo 02.

Para los hp requeridos en cada sistema, mientras mayor es la altura dinámica total mayor es el requerimiento de energía para el sistema. Se observó que se requiere mayor hp en DN6 y menor hp en DN10. Sin embargo, en el sistema de impulsión de tubería de DN10 los materiales son de mayor costo.

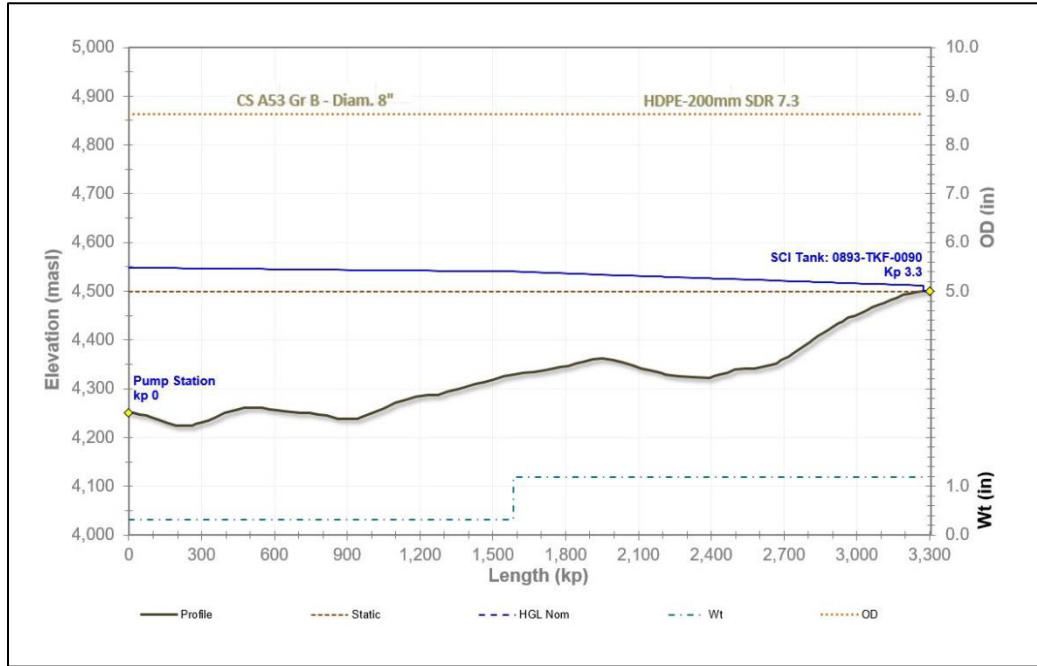
A continuación, La figura 11, figura 12 y figura 10 muestran las líneas de gradiente hidráulico hallados para los diámetros DN6, DN8 y DN10 respectivamente.

Figura 11: Línea de gradiente escenario 02 (crítico) DN 6.



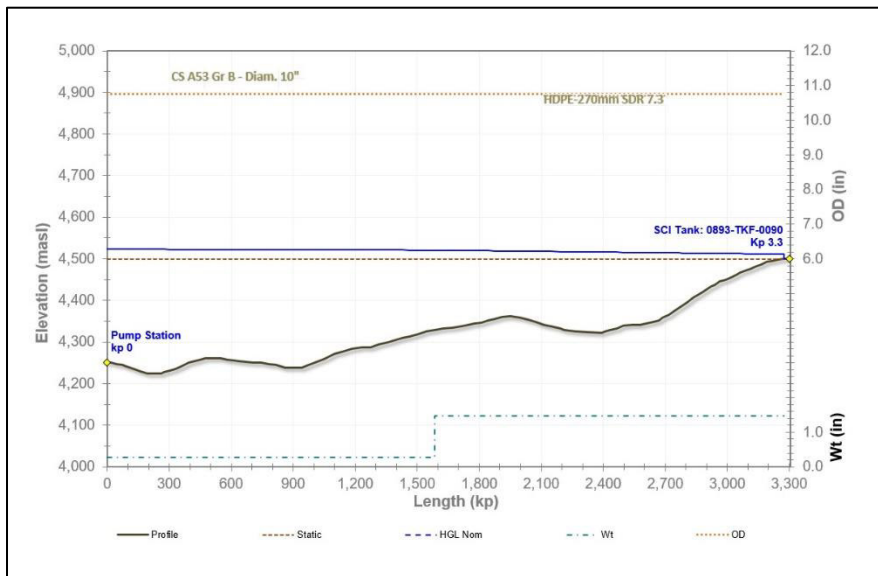
Nota: Elaborado a partir de los datos topográficos extraídos desde el google earth para el perfil del terreno (figura 10) y los cálculos de la sección 3.4.4 para DN 6.

Figura 12: Línea de gradiente escenario 02 (crítico) DN 8.



Nota: Elaborado a partir de los datos topográficos extraído desde el google earth para el perfil del terreno (figura 10) y los cálculos de la sección 3.4.4 para DN 8.

Figura 13: Línea de gradiente escenario 02 (crítico) DN 10.



Nota: Elaborado a partir de los datos topográficos extraídos desde el google earth para el perfil del terreno (figura 10) y los cálculos de la sección 3.4.4 para DN 10.

En la tabla 8 se presentan los resultados de los parámetros hidráulicos para el sistema de impulsión del escenario 01 (nominal).

Tabla 8: Resultados de parámetros hidráulicos DN8 escenario nominal.

Parámetros	DN 8
hf (m)	44.27
TDH (m)	134.27
V tramo 01 CS (m/s)	1.14
V tramo 02 HDPE (m/s)	1.85
Potencia (hp)	109.54

Nota: Elaborado a partir de los cálculos en la sección 3.4.4.

4.2. Toma de decisiones

Por lo descrito en la sección predecesora 4.1, se resolvió seleccionar para el sistema de impulsión de tubería de agua fresca un DN8, siendo el óptimo hidráulicamente. A continuación, en la tabla 9 muestra los parámetros hidráulicos incluyendo el NPSH_a hallado en la sección 3.4.4.

Tabla 9: Parámetros hidráulicos tubería de DN8 escenario 02.

Parámetros	DN 8
hf (m)	79.53
TDH (m)	339.53

V tramo 01 CS (m/s)	1.03
V tramo 02 HDPE (m/s)	1.68
Potencia (hp)	251.24
NPSHa (m)	6.21

Nota: Elaborado a partir de los cálculos en la sección 3.4.4.

En la figura 12 se muestra la gráfica de gradiente hidráulico y el perfil del terreno para el sistema de tubería tramo 01 CS A53 Gr B DN8 y para el tramo 02 HDPE 200mm (DN8) SDR7.3.

Tabla 10 : Resumen de parámetros hidráulicos escenario 02.

Parámetros	Operación Crítico	
Ubicación (m)	0-1,585	1,585 – 3,300
Material	CS A53 Gr B. 8" STD	HDPE, 8" PE4710 SDR 7.3
OD (in)	8.625	8.625
wt (in)	0.322	1.182
Caudal ($\frac{m^3}{h}$)	120	120
Velocidad promedio $\frac{m}{s}$	1.03	1.68

Nota: Elaborado a partir de los cálculos de la sección 3.4.4 y el material de la tubería se mencionó en la tabla 6.

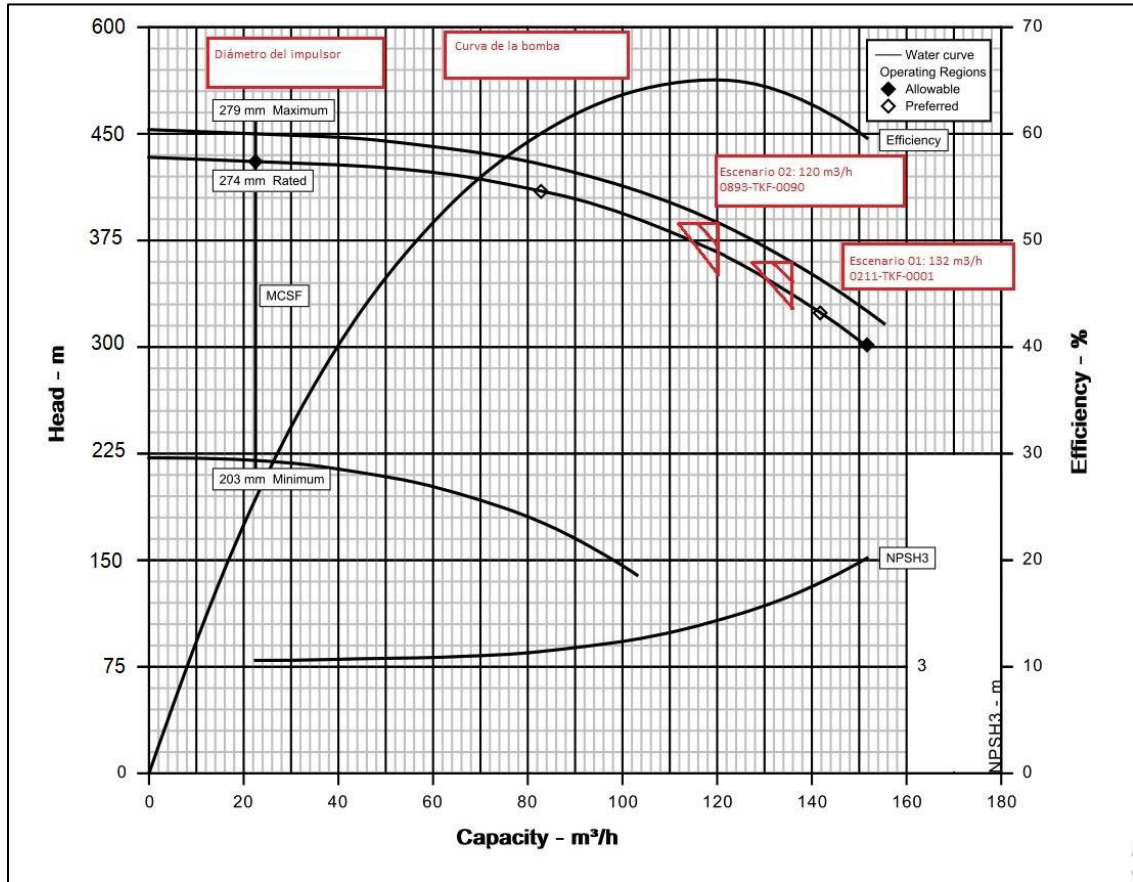
4.3. Curva de la bomba

Las características generales de los equipos de bombeo se muestran a continuación:

- Tipo: Bomba Axialmente Partida

- Cantidad: 02 und.
- Operación: Paralelo (01 operativa y 01 en stand-by).

Figura 14: Curva de rendimiento de la bomba.



Nota: La curva de la bomba es emitida por el vendedor.

La selección de la curva de la bomba cubrió las condiciones mostradas en la tabla 8 y tabla 9; para cumplir con el suministro de agua fresca hacia los tanques con TAG 0211-TKF-0001 con caudal 132.3 m³/h, tanques 0893-TKF-0090 con caudal 120 m³/h.

Tabla 11: *Parámetros hidráulicos de la bomba.*

Parámetro	0893-TKF-0090	0211-TKF-0001
Caudal total ($\frac{m^3}{h}$):	120.00	132.30 ¹
ADT (<i>m</i>)	339.53	134.27
Eficiencia (%)	65.20	64.40
Potencia (<i>hp</i>)	251.24	109.54
NPSHr (<i>m</i>)	4.20	4.20
NPSHa ² (<i>m</i>):	6.21	6.21

1. Caudal requerido de acuerdo con las características de la curva de la bomba.

2. Este NPSHa consideró la presión positiva en la succión de la bomba desde la presa, pérdida de carga en el filtro.

Nota: Elaborado a partir de los cálculos de la sección 3.4.4.

Conclusiones

1. A través de los cálculos realizados en la sección 3.4.4 para el escenario 02 (crítico) se concluyó que el diámetro óptimo hidráulico para el sistema de impulsión de agua fresca para el sistema contra incendio es de DN8. Se realizó el comparativo de parámetros hidráulicos como la velocidad, pérdidas por fricción, altura dinámica total y potencia requerida en el sistema (tabla 7), resolviendo que la tubería de DN8 es la óptima para su selección. A su vez el material para la construcción del sistema es de CS A53 Gr B. 8" STD y HDPE, 8" PE4710 SDR 7.3.
2. En la sección 3.4.4 se realizaron los cálculos de los parámetros hidráulicos de DN8 para la selección de la bomba. En ella se calcularon la potencia requerida de la bomba 251.24 hp (escenario crítico) y 109.54 hp (escenario nominal), las pérdidas por fricción 79.53 m. (escenario crítico) y 44.27 m. (escenario nominal), la altura dinámica total 339.53 m. (escenario crítico) y 134.27 m (escenario nominal). El $NPSH_a$ fue de 6.21 metros para el sistema. Los valores se mostraron en la tabla 7 para el escenario 02 (operación crítica) y en tabla 8 para el escenario 01 (operación nominal).
3. De la figura 14, curva de la bomba, se concluyó que los resultados de los parámetros hidráulicos del sistema mencionado en el punto 1 y punto 2, se encuentran dentro de la curva de la bomba, por lo cual es factible seleccionar la bomba axialmente partida mencionado en la sección 4.3.
4. De lo mencionado en el punto 1, punto 2 y punto 3. La presente monografía técnica se derivó como un documento entregable para la siguiente etapa de ingeniería de factibilidad e ingeniería básica para su construcción.

Recomendaciones

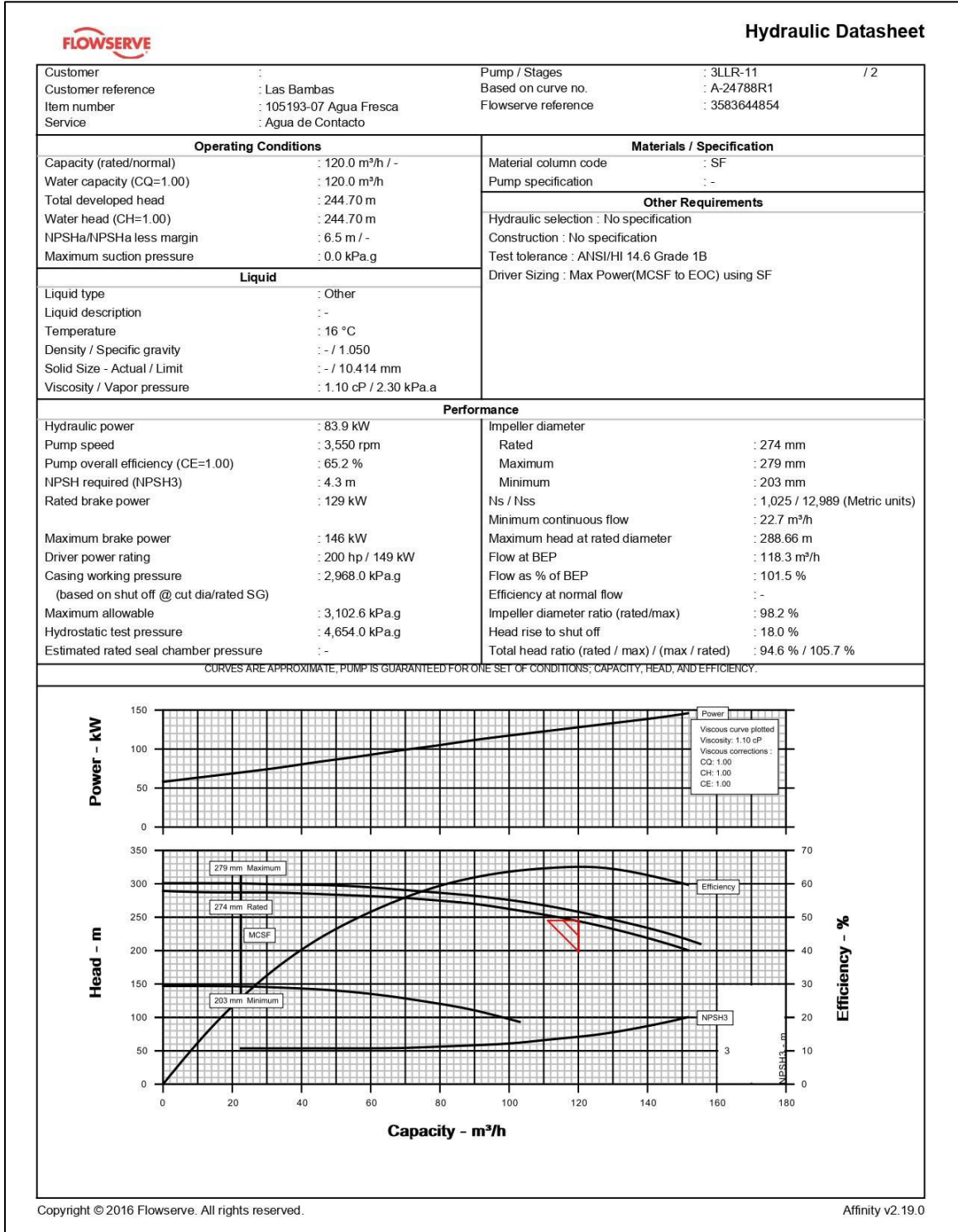
1. Utilizar una hoja de cálculo Excel para optimizar resultados y realizar las iteraciones pertinentes.
2. Resolver a través del método numérico Newton Rhapsion para el valor del coeficiente de fricción f de la ecuación colebrook White. El factor de fricción es fundamental para hallar las pérdidas por fricción debido a la gran longitud del sistema de tubería.
3. Utilizar mayor o igual a la clase 300 para las uniones mecánicas o bridas para la tubería de acero al carbono de acuerdo con lo indicado en el código ASME B16.5, aplicables para el escenario 01 y escenario 02.
4. Al seleccionar una bomba, el punto de operación se encuentre a la izquierda del BEP debido a que, en el tiempo, este tiende a moverse a la derecha provocando problemas de sobrecarga del motor y NPSH elevado.

Bibliografía

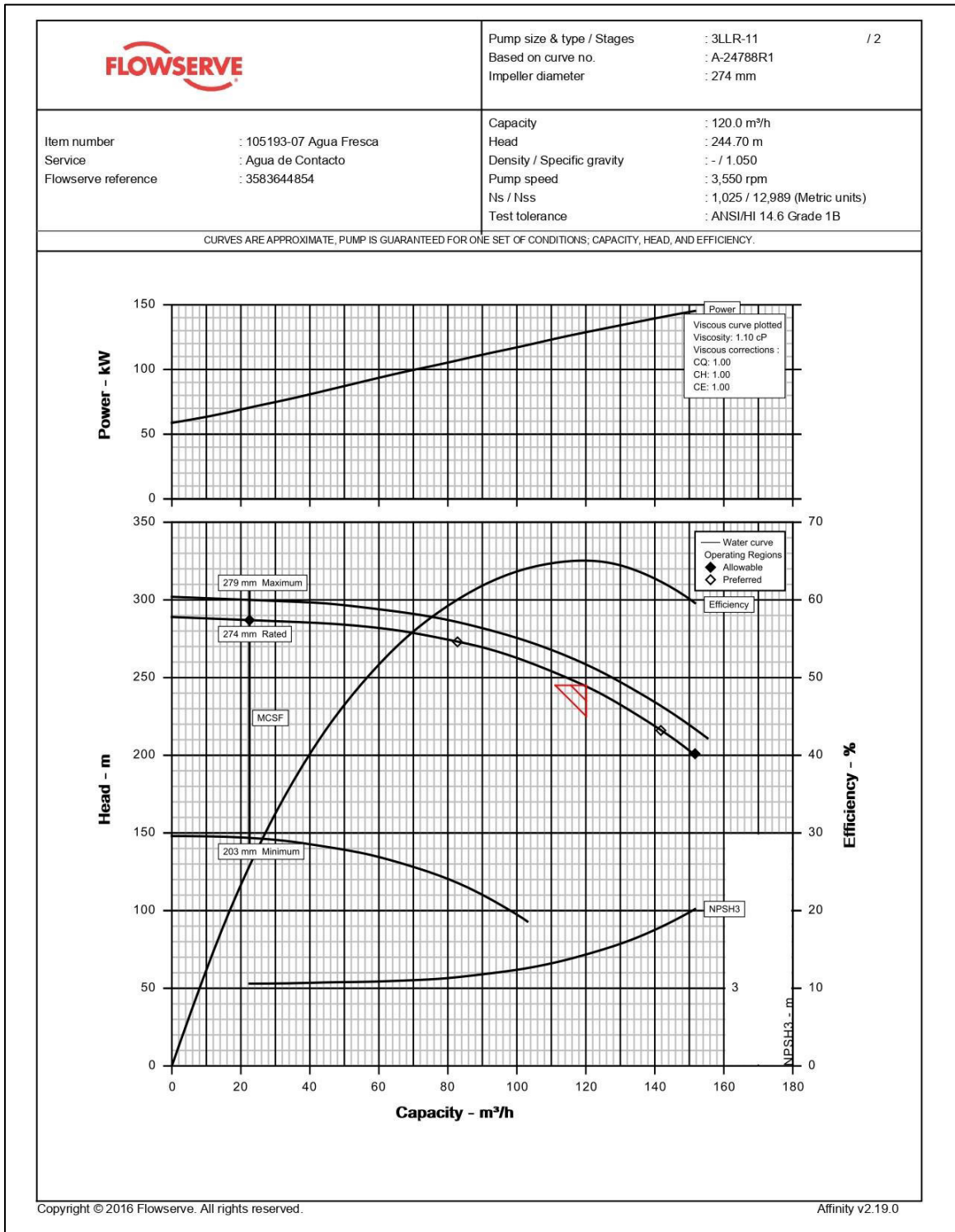
- Documento N° 25635-220-3DR-P30-00001 “Design Criteria for Piping”. Las Bambas Project, octubre 2013 – Perú.
- Documento N° 25635-220-3DR-P30-00003 “Design Criteria for Water Pipelines”. Las Bambas Project, mayo 2011 – Perú.
- Documento N° 25635-220-3PS-P000-00011 “Especificación Técnica para Aislación Térmica de Cañerías”, Las Bambas, mayo 2018.
- Documento N° 25635-220-3PS-EH00-00001 “Technical Specification for Heat Tracing”, Las Bambas, mayo 2018.
- Documento N° 103436-2133-RPT-0602 “Memoria de Cálculo del Sistema Contra Incendio”. Ingeniería de detalle de Facilidades del Trucking Option de Chalcobamba. Las bambas, marzo 2018.
- Crane (2010). Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipes. Technical Paper No. 410 - Metric Edition.
- Colebrook, C. F., White, C. M. (1937). Experiments with Fluid Friction in Roughened Pipes. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences 161 (906). (pp. 367-381).
- Plastic Pipe Institute. (2014). Handbook of PE Pipe, 2nd Edition.
- Plastic Pipe Institute. (2018). PEX Pipe Design Manual (MRS-Based) for Water, Oil, Gas & Industrial Applications, 1st Edition
- Fundamentals. (2017). ASHRAE Handbook Series.

Anexos.

Anexo 1: Data sheet de la bomba.



Anexo 2: Curvas de la bomba.



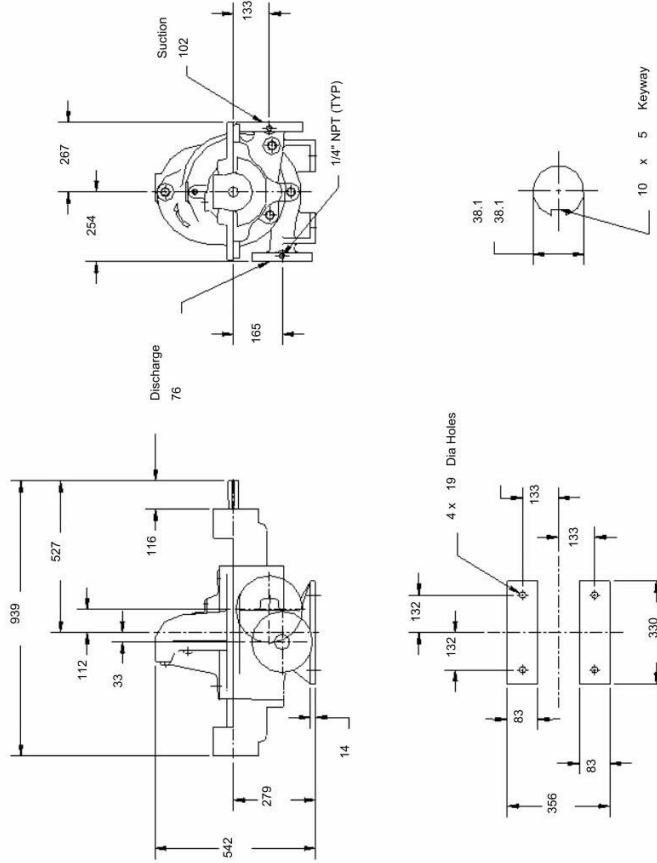
Anexo 3: Dimensionamiento de la bomba.

Full Page GA Drawing



- NOTES:
1. CONSULT INSTRUCTION BOOK BEFORE INSTALLING PUMP.
 2. Pipe laps are NPT standard.
 3. All bolt holes in flanges straddle vertical centerline.
 4. Allow 0.25" (6mm) for variation of nozzle faces, centerline height, foundation holes, and other nominal dimensions.
 5. Foundation bolts and piping should not be set rigidly until receipt of equipment.
 6. Allow 0.75" (19mm) under baseplate for adjustment and grouting.
 7. Recheck alignment after unit reaches operating temperature.
 8. Driver dimensions shown are approximate. Refer to certified driver drawing for exact dimensions.
 9. Piping and foundation are the responsibility of others.

Pump ATEX Marking - II 3G Ex h IIA T1 Gb Ta -20 °C to 40 °C

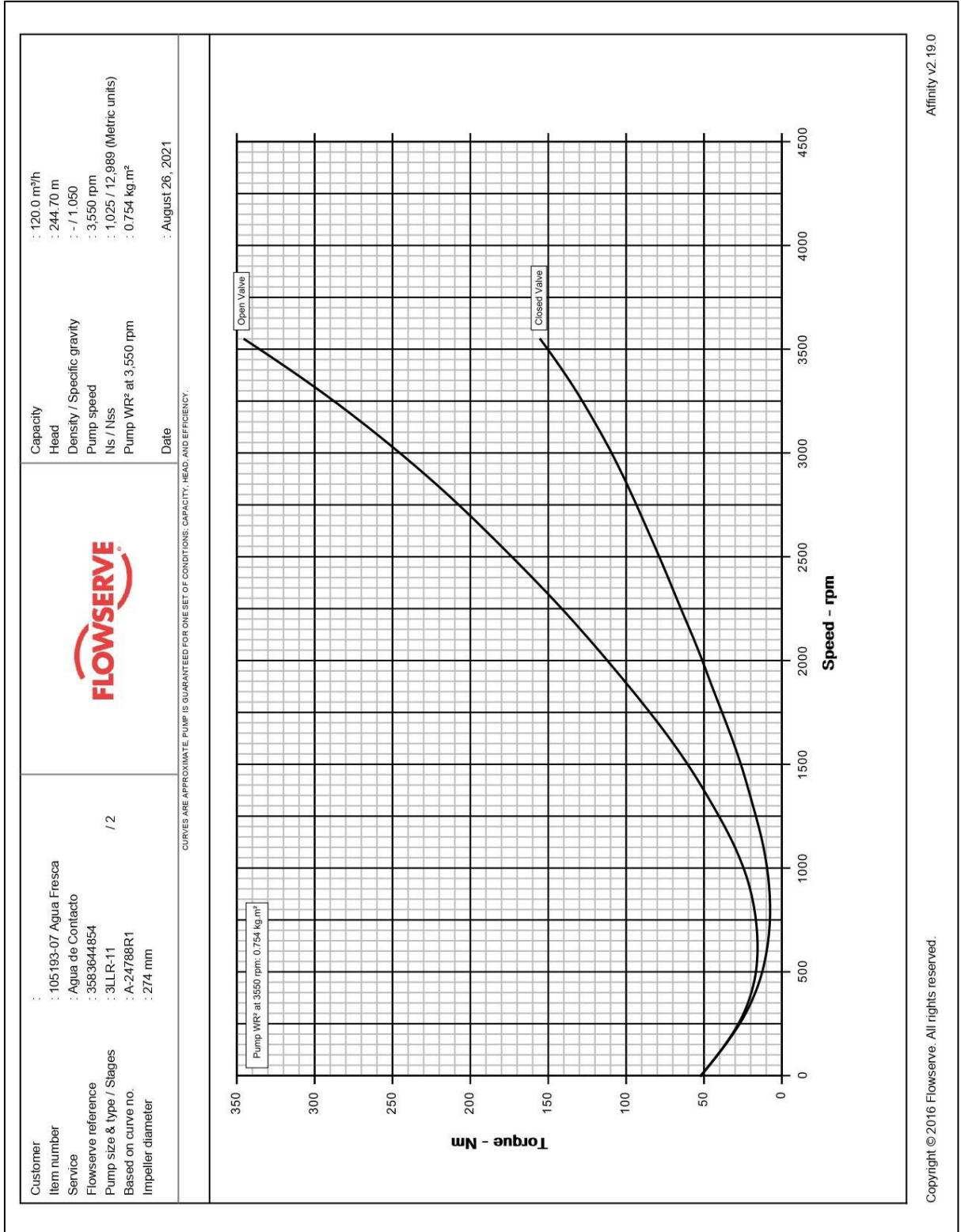


DIMENSION CERTIFIED FOR CONSTRUCTION WHEN PROPERLY ENDORSED REFER TO FACTORY FOR ANY (*) DIMENSION

Customer	: 105193-07 Agua Fresca	Pump size & type	: 3LLR-11
Item number	: Agua de Contacto	Pump speed / Stages	: 3,550 rpm / 2
Service	: 3583644854	Flow / Head	: 120.0 m ³ /h / 244.70 m
Customer PO #		Driver power / Frame	: 200 hp / 149 kW / -
Flowserve reference		Volts / Phase / Hz	: 190 / -1 / 60 Hz
Drawing number		Seal flush plan	
Date		Seal type	
Certified by / Date			

Copyright © 2016 Flowserve. All rights reserved. Affinity v2.19.0

Anexo 4: Curvas de Torque y velocidad rpm de la bomba.



Anexo 5: Válvula relief. Parámetros hidráulicos.



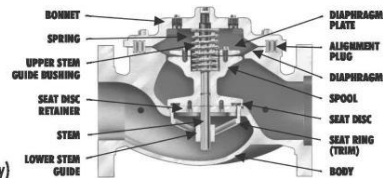
Pressure Relief Valve Series 108

SPECIFICATIONS

VALVE BODY & BONNET	DUCTILE IRON	CAST STEEL	STAINLESS STEEL
Material Specifications	ASTM A536/65-45-12 (epoxy coated)	ASTM A216/WCB (epoxy coated)	ASTM A351/CF8M
END CONNECTIONS			
Flange Standard (also available in metric)	ANSI B16.42		ANSI B16.5
Flange Class	150# 300#	150# 300#	150# 300#
Flange Face	Flat Raised	Raised Raised	Raised Raised
Maximum Working Pressure	250 psi 640 psi	285 psi 740 psi	285 psi 740 psi
Screwed Working Pressure:	ANSI B1.20.1 640 psi	Grooved End Working Pressure: 300 psi	
INTERNALS			
Stem	STAINLESS STEEL		
Spring	STAINLESS STEEL		
Spool	DUCTILE IRON (epoxy coated) / OPTIONAL - STAINLESS STEEL		STAINLESS STEEL
Seat Disc Retainer	DUCTILE IRON (epoxy coated) (10" & LARGER) STAINLESS STEEL (8" & SMALLER / OPTIONAL - ALL SIZES)		STAINLESS STEEL
Diaphragm Plate	DUCTILE IRON (epoxy coated) / OPTIONAL - STAINLESS STEEL		STAINLESS STEEL
Seat Ring (Trim)	LOW-LEAD BRONZE OR STAINLESS STEEL		STN. STL. ASTM A351/CF8M
Upper Stem Bushing	BRONZE OR TEFLON®		TEFLON®
Lower Stem Bushing	NOT APPLICABLE FOR LOW-LEAD BRONZE SEAT RINGS / TEFLON® FOR STN.STL. SEAT RINGS		
ELASTOMER PARTS (Rubber)			
Diaphragm/Seat Disc/O-Rings	EPDM / OPTIONAL - VITON®		
Operating Temperature (Consult factory when temperatures approach low or high temperature allowances.)	32°F to 230°F		
COATINGS			
EPOXY COATING			
ELECTRICAL SOLENOIDS			
Bodies	BRASS / OPTIONAL - STAINLESS STEEL		
Enclosures	WATER TIGHT, NEMA 1, 3, 4, & 4X		
Power	AC, 60HZ - 24, 120, 240, 480 VOLTS	AC, 50HZ - In 110 VOLT MULTIPLES	DC, 6, 12, 24, 240 VOLTS
Operation	ENERGIZE TO OPEN (NORMALLY CLOSED)		DE-ENERGIZE TO OPEN (NORMALLY OPEN)
CONTROL PILOTS			
Bodies	LOW-LEAD BRONZE	STN. STL./ASTM A351/CF8M	
Internal	STAINLESS STEEL	STAINLESS STEEL	
CONTROL CIRCUITS			
Tubing	COPPER	STAINLESS STEEL	
Fittings	LOW-LEAD BRASS	STAINLESS STEEL	

Special Service Valve Materials: Duplex Stainless Steel, Super Duplex Stainless Steel (Contact factory)

TEFLON® is a registered trademark of DuPont.



Globe Flanged Sizes

1.25"	1.5"	2"	2.5"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	400mm	450mm*	500mm*	600mm

*CONSULT FACTORY



Angle Flanged Sizes

1.25"	1.5"	2"	2.5"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	16"
32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	400mm



Globe/Angle Screwed Sizes

1.25"	1.5"	2"	2.5"	3"
32mm	40mm	50mm	65mm	80mm



Globe/Angle Grooved Sizes

1.5"	2"	2.5"	3"	4"	6"
32mm	50mm	65mm	80mm	100mm	150mm*


*GLOBE ONLY

TOLL FREE 1.888.628.8258 • phone: (918)627.1942 • fax: (918)622.8916 • 7400 East 42nd Place, Tulsa, OK 74145
email: sales@controlvalves.com • website: www.controlvalves.com

Global performance. Personal touch.

Anexo 6: Composición de la válvula relief.

Pressure Relief Valve Series 108

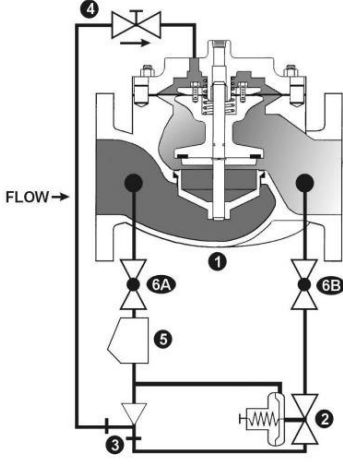


VALVE OPERATION

- ▶ Relief Valve - Closed under normal operating pressures. Valve opens when pressure rises to the set point. Valve will close when system pressure drops below set point.
- ▶ Bypass Pressure Control Valve - Opens and modulates to maintain the required pressure.
- ▶ Backpressure / Sustaining Valve- Open under normal conditions and closes as upstream pressure falls below set point.

The Model 108-2 consists of the following components, arranged as shown on the schematic diagram:

- 1.) **Model 65 Basic Control Valve**, a hydraulically-operated, diaphragm-actuated, globe or angle valve which closes with an elastomer-on-metal seal.
- 2.) **Model 1330 Pressure Relief Pilot**, a two-way, normally-closed pilot valve which senses upstream pressure under its diaphragm and balances it against an adjustable spring load. An increase in upstream pressure tends to make the pilot open.
- 3.) **Model 126 Ejector**, a simple "tee" fitting with a fixed orifice in its inlet port. It provides the proper pressure to the diaphragm chamber of the main valve depending on the position of the pressure relief pilot.
- 4.) **Model 141-3 Flow Control Valve**, a needle-type valve which provides adjustable, restricted flow in one direction, and free flow in the opposite direction. On the 108-2, the flow control valve is connected as a **closing speed control**.
- 5.) **Model 159 Y-Strainer** (standard on water service valves) or **Model 123 Inline Strainer** (standard on fuel service valves). The strainer protects the pilot system from solid contaminants in the line fluid.
- 6A / 6B.) **Two Model 141-4 Ball Valves** (standard on water service valves, optional on fuel service valves), useful for isolating the pilot system for maintenance or troubleshooting.



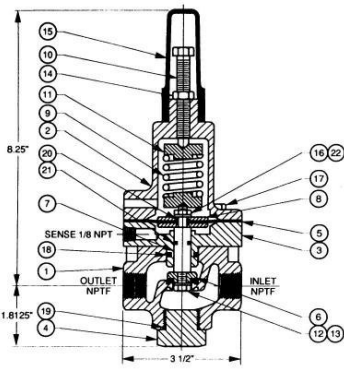
PILOT

1330
2400

- ▶ Accurate sensing of inlet pressure.
- ▶ Simple, single adjustment.
- ▶ All parts replaceable while mounted on valve.
- ▶ Rubber-to-metal seat for positive shut-off.

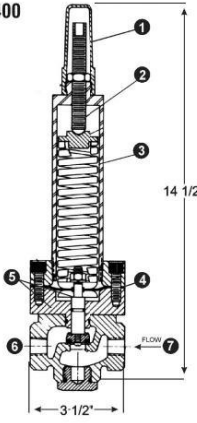
- ▶ Large area diaphragm for quick, precise throttling.
- ▶ Visual indication of diaphragm condition.
- ▶ Bronze and stainless steel construction.

1330



Pilot Materials
Low-Lead Bronze
Stainless Steel
Spring Ranges
5-30, 20-80, 20-200, 100-300 psi

2400



Pilot Materials
Stainless Steel
Spring Ranges
200-750 psi

The Model 1330/2400 Pressure Sustaining Pilot controls the amount of pressure in the upper chamber of the Main valve(s). (Hence, the degree of opening or closing of the Main valve). The upstream pressure increases, the pilot begins to open, decreasing the amount of pressure in the upper chamber of the main valve allowing it to open a proportionate amount, in order to maintain a constant inlet pressure. As the upstream pressure decreases, the pilot begins to close, allowing the pressure in the upper chamber of the main valve to increase causing it to close. This is a constant modulating action compensating for any change in upstream pressure.

MODEL 1330 / 2400 Pressure Relief Pilot

1. Adjusting Screw Cover
2. Adjusting Screw
3. Spring
4. Diaphragm
5. Pressure Sense
6. Pilot Outlet
7. Pilot Inlet

TOLL FREE 1.888.628.8258 • phone: (918)627.1942 • fax: (918)622.8916 • 7400 East 42nd Place, Tulsa, Oklahoma 74145
 email: sales@controlvalves.com • website: www.controlvalves.com

Global performance. Personal touch.

61

Anexo 7: Coeficientes de pérdida k de la válvula relief.



Pressure Relief Valve Series 108

SIZING CONSIDERATIONS

For the most comprehensive procedure in sizing Series 108 control valves, it is best to use our ValveMaster software or the guidelines shown here in conjunction with the Performance Charts in the Engineering Section of the OCV catalog.

SURGE RELIEF

Size is determined by the amount of flow required to lower the inlet pressure. This relief flow can be difficult to determine, so a general guideline is to use 60% of the rated pump flow. The 108 Series valve is capable of intermittent flows up to 45 ft. per second. Relief valve sizes are typically 50-60% of the mainline size.

BYPASS PRESSURE CONTROL

Bypass pressure control valves are sized based on maximum flow and pressure drop across the valve. The maximum flow through the valve is the pump flow at the desired set point (from the pump curve) minus the minimum system flow. The pressure drop across the valve is the set point minus the pressure at the valve discharge (typically pump suction or storage tank head). Determine the valve's operating Cv using the maximum flow and pressure drop from the formula:

$$C_v = \frac{Q_{max}}{\sqrt{\frac{DP}{sg}}}$$

PRESSURE SUSTAINING

Sustaining valves are typically main line size. However, maximum velocity through the valve should not exceed 25 ft/sec.

where Qmax = maximum flow rate, gallons per minute
 DP = pressure drop, psi
 sg = liquid specific gravity (water = 1.00)

From the chart below, pick the smallest valve that has at least the Cv determined above, and where the velocity does not exceed 25 ft/sec.

Flow chart for full port valve

Valve Size	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	6	8	10	12	14	16	24
GLOBE Cv	23	27	47	68	120	200	450	760	1,250	1,940	2,200	2,850	6900
ANGLE Cv	30	35	65	87	160	270	550	1,000	1,600	2,400	—	4,000	—
FLOW @ 25 ft/sec	115	160	260	375	575	1,000	2,250	3,900	6,125	8,750	10,600	13,750	31,250
FLOW @ 45 ft/sec	210	280	460	650	1,000	1,800	4,000	7,000	11,000	16,000	19,000	25,000	56,000

CAVITATION CONCERNS

Many surge relief, and some bypass pressure control valves are, by their application, subject to pressure differentials that may induce cavitation. When these conditions exist, it may be only on an intermittent basis, causing minimum concern for valve deterioration. This complex phenomenon cannot be predicted by charts, which index only inlet and outlet pressures. The easiest way to predict cavitation is to let us do the calculation.

Simply fax, e-mail or call us and we will provide a graphical analysis and a solution.

- Provide us:
- APPLICATION (e.g., surge relief, bypass pressure control)
 - VALVE SIZE
 - PRESSURE-INLET and OUTLET
 - FLOW RANGE-Minimum and Maximum
 - FLUID TYPE
 - FLUID VAPOR PRESSURE (if other than water)

TOLL FREE 1.888.628.8258 • phone: (918)627.1942 • fax: (918)622.8916 • 7400 East 42nd Place, Tulsa, Oklahoma 74145
 email: sales@controlvalves.com • website: www.controlvalves.com

Global performance. Personal touch.