



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

**Cálculo hidráulico y dimensionamiento para la
protección contra incendios por agua para la Unidad
Minera Mina Justa – Marcobre S.A**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Juan Carlos CACHAY TELLO

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

Cachay, J. (2022). *Cálculo hidráulico y dimensionamiento para la protección contra incendios por agua para la Unidad Minera Mina Justa – Marcobre S.A.* [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	Juan Carlos Cachay Tello
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	42705128
URL de ORCID	--
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	Adolfo Carlos Lozada Pedraza
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09383020
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Wilson Emilio Alvarado Torres
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07642795
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Lozano Pedro Sánchez Cortez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10699870
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	--
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	--
Datos de investigación	
Línea de investigación	Hidráulica
Grupo de investigación	--
Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ica Provincia: Nazca Distrito: San Juan de Marcona Latitud: -15.1698496 Longitud: -75.0752866
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021-2022
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 11:00 a.m. del día jueves 29 de diciembre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Ing. ADOLFO CARLOS LOZADA PEDRAZA y con la asistencia de los miembros MSc. Ing. WILSON EMILIO ALVARADO TORRES y el Dr. Ing. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ, 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:

JUAN CARLOS CACHAY TELLO

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller JUAN CARLOS CACHAY TELLO, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada "CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS POR AGUA PARA LA UNIDAD MINERA MINA JUSTA – MARCOBRE S.A".

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:

CATORCE 14

.....

El Presidente del Jurado Ing. ADOLFO CARLOS LOZADA PEDRAZA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller JUAN CARLOS CACHAY TELLO Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 12 PM del mismo día, se levantó la sesión.

Ing. ADOLFO CARLOS LOZADA PEDRAZA
PRESIDENTE DEL JURADO

MSc. Ing. WILSON EMILIO ALVARADO TORRES
MIEMBRO DEL JURADO

Dr. Ing. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ
MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.12.2022 14:58:58 -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/83958828353?pwd=alUxelg1a1hoSmh5REZxZHlYXN6dz09>

ID de reunión: 839 5882 8353

Código de acceso: 465486

Grabación archivada en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1xG-IngEx3az14guvd_WImE1hukwGsk9D/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⁾
"CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS POR AGUA PARA LA UNIDAD MINERA MINA JUSTA – MARCOBRE S.A"
7. Autor del documento⁽²⁾
JUAN CARLOS CACHAY TELLO
8. Fecha de recepción del documento 30/11/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 1ª/12/22
10. Software utilizado
 - Turnitin(X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entre comillas
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
6%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
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 2 /02 /23



UNMSM

Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.02.2023 15:49:27 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca
DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

-
- 1 Otro (especificar) Monografía Técnica Modalidad de Titulación M-3
Suficiencia Profesional
 - 2 Apellidos y Nombres completos
 - 3 En letras y números
 - 4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

Dedicatoria

A mis padres, que con su trabajo me trajeron hasta este instante.

A mis profesores, por los conocimientos que he recibido durante los años de vida
universitaria.

RESUMEN

El proyecto ha sido desarrollado ante la necesidad de un sistema contra incendios para la unidad minera Mina Justa de la empresa Marcobre S.A., el proyecto se basa en los criterios de estándares nacionales e internacionales de protección contra incendios. Ante un evento de incendio en la etapa de producción, se vería comprometida la vida de los trabajadores en primera instancia, así como la infraestructura y la continuidad de las operaciones. Es por ello que se propone un sistema contra incendios por agua para todas las áreas de producción de la mina, se escogió el agua como agente de extinción por ser el de mayor abundancia y de menor costo. El sistema que se ha diseñado contempla el funcionamiento automático, de respuesta temprana, que reduce la exposición del personal que trabajará en la mina. El sistema contará con dispositivos aprobados que permitirá optimizar el uso de agua en las descargas ante eventos de incendios. Además, el proyecto contempla equipos de ataque de incendios para uso de personal entrenado en repuesta de emergencias.

El resultado será un sistema contra incendios moderno que permitirá al personal de brigada atacar los conatos de incendios que puedan suceder durante la vida útil del proyecto.

Palabras claves: normas, aprobados, incendios, minera, agua.

CONTENIDO

1.	Generalidades.....	8
1.1.	Introducción.....	8
1.2.	Importancia Del Tema	8
1.3.	Solución A Problemas De Conatos De Incendios En Mina Justa	11
1.4.	Objetivos.....	12
1.4.1.	Objetivo General	12
1.4.2.	Objetivos Específicos	12
2.	Fundamento Teórico	13
2.1.	Definición De Fluido	13
2.2.	Transporte De Líquidos En Tuberías.....	13
2.2.1.	Tuberías	13
2.2.2.	Flujo en tuberías	14
2.3.	Conceptos Hidráulicos.....	15
2.3.1.	Caudal.....	15
2.3.2.	Presión.....	15
2.3.3.	Ecuación de la continuidad	16
2.3.4.	La ecuación de Bernoulli.....	17
2.4.	Sistemas Contra Incendios a Base De Agua.....	18
2.4.1.	Definiciones según NFPA.....	19
2.4.2.	Definiciones generales	20
2.4.3.	Definiciones para el proyecto Mina Justa	21
2.4.4.	Componentes del sistema contra incendios a base de agua	22
2.5.	Información Del Proyecto Mina Justa	26
3.	Metodología De Calculo	32
3.1.	Pérdida De Energía Por Fricción	32
3.2.	Perdidas Menores	36
3.3.	Pérdida Total De Un Tramo De Tubería	37
3.4.	Pérdidas Totales En del sistema	38
3.5.	Formula Del Flujo A Través De Un Orificio	38
3.6.	Fórmula Para La Velocidad De Flujo.....	38
4.	Cálculos Hidráulicos De La Red General De Mina Justa Y Resultados	39

4.1.	Cálculos hidráulicos	39
4.1.1.	Parámetros de diseño.....	39
4.1.2.	Criterios para el cálculo hidráulico, determinación de la presión requerida.	41
4.1.3.	Calculo de las longitudes equivalentes.....	43
4.1.4.	Calculo de la perdida de carga por tramo del sistema.....	44
4.1.5.	Cálculo de la mayor demanda de caudal	47
5.	Discusión De Resultados	49
5.1.	Conclusiones y recomendaciones	49
6.	Referencias.....	53
7.	Anexos	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Estadísticas de emergencias atendidas a nivel nacional 2022	19
Tabla 2 Características del lugar donde se desarrolla el proyecto Mina Justa.....	26
Tabla 3 Áreas de la unidad minera Mina Justa y los sistemas de protección considerados.....	30
Tabla 4 Diámetros externos e internos de tuberías de acero.....	35
Tabla 5 Coeficiente C de Hazen-Williams	36
Tabla 6 Longitudes equivalentes de tuberías de acero de cédula 40 para valor de C igual a 120.....	37
Tabla 7 Multiplicador de valores C.....	37
Tabla 8 Requisito mínimo de presión y caudal para salidas de válvulas	41
Tabla 9 Hidrantes más desfavorables de la planta de sulfuros.	41
Tabla 10 Hidrantes más desfavorables de la planta de óxidos – carga de ripios.	41
Tabla 11 Longitudes y accesorios de tramos de tubería	43
Tabla 12 Resumen de pérdidas de carga en el sistema	46
Tabla 13 Incendio por escenarios.....	47
Tabla 14 Incendio en Estanque 3321-ST-302.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Representación transversal de tubería.....	14
Figura 2 Perfiles de velocidades de un flujo desarrollado al interior de una tubería..	15
Figura 3 Sistemas de tuberías, principio de conservación de masa	16
Figura 4 Instalación típica de estación de bombeo contra incendios.....	22
Figura 5 Curva de bomba de 750gpm@135psi	25
Figura 6 Planta de procesos de Sulfuros	28
Figura 7 Planta de Chancado primario de Sulfuros y Óxidos.....	29
Figura 8 Planta de Procesos de Óxidos.....	29
Figura 9 Parte del trazado de tubería de la red contra incendios de la planta de sulfuros.....	42

1. GENERALIDADES

El título de la Monografía es “Cálculo Hidráulico Y Dimensionamiento Para La Protección Contra Incendio Por Agua Para La Unidad Minera Mina Justa – Marcobre S.A.”

1.1.Introducción

El proyecto Mina Justa está situado en la región de Ica, a unos 800 metros sobre el nivel del mar, en un lugar desértico a unos 489 kilómetros al sureste de Lima, a 35 kilómetros al suroeste de la sede provincial, Nazca, y a 25 kilómetros del distrito de Marcona.

La zona de producción de la unidad minera está dividida en tres grandes áreas distanciadas geográficamente, estas son: Chancadora Primaria de sulfuros y óxidos, Planta de Sulfuros y Planta de Óxidos. En cada zona se ha identificado áreas de mayor riesgo de incendio y equipos de lucha contra incendios (hidrantes) hidráulicamente más desfavorables para los fines del cálculo hidráulico.

Para el transporte del mineral desde la Chancadora primaria hasta las plantas de Sulfuros y Óxidos se utilizan fajas transportadoras (conveyor), para transportar la materia prima entre los diferentes procesos de tratamiento del mineral dentro de las plantas se utilizan fajas transportadoras y tuberías de polietileno de alta densidad HDPE (piping). Luego este mineral pasa por procesos de chancado, remolienda, filtros, espesadores de relaves, hasta el concentrado de cobre (Planta de Sulfuros). En otro proceso hay etapas de lixiviación y electrobtención para obtención de placas cobre (Planta de Óxidos.)

1.2.Importancia Del Tema

Los incendios son comunes en la vida del ser humano, ya sea por causas naturales o a consecuencia de la misma actividad en los procesos productivos. La ocurrencia de un incendio tiene efectos catastróficos para una comunidad, agrupaciones de viviendas, para edificaciones industriales y comerciales debido al poder destructivo que tiene el fuego. Del

incendio por emanación de gases producto de la combustión se dan los daños ambientales, inhalación de humos, mala reputación de la marca e inactividad de la empresa, en el peor de los casos hay pérdidas de vidas humanas.

Incendio en la refinería La Pampilla REPSOL el 26 de mayo de 2019.

En la madrugada del 26 de mayo del 2019 se registró un incendio de magnitud leve en la Refinería La Pampilla provocado por el sobrecalentamiento de una caldera ubicada en la parte posterior de la refinería, el siniestro se inició alrededor de las 3 de la mañana y pudo ser controlado tres horas después aproximadamente. Se necesitaron cuatro unidades de bomberos para controlar el fuego. Repsol informó que no hubo daños personales y que el siniestro se ubicó lejos de los tanques de almacenamiento de crudo. Las causas del incendio fueron materia de investigación para la aplicación de nuevos protocolos y planes de contingencia.

(Fuente <https://larepublica.pe/sociedad/774573-incendio-en-la-refineria-la-pampilla-se-registro-esta-madrugada/>)

El incendio en el área de la caldera necesito de agentes externos para ser controlado tal como informo La Republica a la zona del siniestro acudieron cuatro compañías de bomberos para controlar el fuego. Esto nos lleva a reflexionar sobre la instalación del sistema contra incendios existente en la planta, esta fue deficiente ante la ocurrencia de un conato de incendio. Ya sea por el mal dimensionamiento del sistema, falta de mantenimiento e incluso por la falta de entrenamiento del personal a cargo el sistema, todos los factores sumaron para que el evento de incendios no pueda ser controlado con recursos propios

Incendio en la faja de la Unidad Minera Marcona Shougang 27 de abril 2018

Un evento de incendio ocurrió en las instalaciones de la Unidad Minera Marcona de la compañía Shougang Hierro Perú, el incendio suscitado en una las fajas de transporte de mineral tuvo como causa del siniestro a la falta de mantenimiento de los mecanismos de la faja. La OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental) realizó una inspección

a las instalaciones de la compañía minera Marcona debido al incendio ocurrido en la madrugada de día 27 de abril de 2018. La inspección del organismo del estado sirvió para determinar las causas y el impacto ambiental generado por el incendio.

Por su parte la empresa Shougang informo que el incendio fue controlado y que no hubo lesiones a personas ni a áreas colindantes.

(Fuente <https://mineriaperu.com/2019/06/ica-incendio-en-la-mineria-marcona-de-shougang-hierro-peru/>)

En el caso del incendio ocurrido en las instalaciones de Shougang el siniestro fue controlado con recursos de la propia compañía incluyendo el personal de respuestas a emergencias, sin embargo, la faja y la estructura que la sostiene quedaron obsoletos debido a los daños generados por el fuego. De haber tenido instalados sistemas automáticos de respuesta temprana es probable que el incendio se haya podido controlar sin que causara mayores daños y se asegure la continuidad de las operaciones.

Mina Esperanza sufre incendio al interior de yacimiento (Chile) el 18 de mayo de 2020.

En la tarde del lunes 1 de mayo del 2020 se registra un incendio al interior de la mina Esperanza, el resultado deja dos personas lesionas por inhalación de gases. La causa del incendio fue una falla en un equipo compresor, la situación fue controlada por los trabajadores y la compañía de bomberos.

(Fuente <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2020/05/mina-esperanza-sufrio-incendio-al-interior-del-yacimiento>)

Durante la etapa de estudio de riesgos se debe considerar todas las áreas que tengan el potencial de desarrollar un incendio por cualquier tipo de falla de los equipos y por el tipo de actividad que se ejecuta en dichas áreas, de acuerdo con los resultados del estudio se consideran los equipos portátiles o sistemas fijos de lucha contra incendios.

Para el caso de la unidad Minera Mina Justa, un incendio en progreso en una faja transportadora, tubería, pozas mezcladoras o tanques de almacenamiento de sustancias inflamables no solo afectaría a estas sino también a la superestructura sobre la cual está instalada. También se vería comprometido el personal que labora en el área y finalmente el proceso tendría que detenerse hasta reparar la estructura.

1.3.Solución A Problemas De Conatos De Incendios En Mina Justa

El sistema contra incendios se diseña en base al análisis de riesgo de incendios, teniendo en cuenta el costo de una parada de planta por incendios versus el costo de implementar un sistema para el servicio de lucha contra incendios.

En planta de Sulfuros y Chancadora Primaria, el mayor riesgo de incendio entre los procesos se encontró en el transporte de mineral a través de las fajas en las etapas de chancado secundario y terciario, el movimiento con carga en las fajas produce calor por rozamiento con los polines, poleas y rodillos de transporte de la faja transportadora. También se encontró que en el transporte de material a través de tuberías hay incremento de calor en las superficie interna de la tubería de HDPE por rozamiento con el material granulado. Otras posibles causas de incendios en fajas transportadoras sería una falla en el mecanismo de rotación y transporte de la cabeza de faja, una traba de la faja haría que se concentrase el rozamiento en un solo punto.

En la planta de Óxidos, se encontró que el mayor riesgo de incendios está en el área de Extracción de Solventes, aquí se realiza el proceso utilizando el ácido sulfúrico como aditivo para separación del mineral, entre las estructuras que se reconocen están las tuberías de HDPE para transportar el ácido, los mezcladores – sedimentadores (SETTLER) en el proceso de lixiviación, los propios tanques de almacenamiento del ácido sulfúrico.

Se propone diseñar sistemas de enfriamiento, chorros maestros, redes de hidrantes y sistemas de agua-espuma de alta y baja expansión para control y extinción de incendios en el

zona de Extracción de Solventes ubicada en Planta de Óxidos, área de mayor demanda de caudal y presión.

1.4.Objetivos

El alcance de la presente monografía técnica es dimensionar la red general de protección contra fuegos a base de agua, es decir, lograr el cálculo de la reserva de agua mínima necesaria, el tamaño nominal de la bomba para el suministro de caudal y presión y dimensionar los materiales a utilizar en las tuberías matrices que abastecerán las tres grandes áreas de la unidad minera Mina Justa.

1.4.1. Objetivo General

Realizar los cálculos hidráulicos para el dimensionamiento de la red contra fuegos a base de agua para el proyecto mina Justa con el fin de lograr un grado razonable de protección a los inmuebles y la vida, basándose en estándares internacionales NFPA (National Fire Protection Association) y RNE (Reglamento Nacional de construcción). La protección que estos sistemas brindan está en estrecha relación con los sistemas de evacuación, detección y alarma contra incendios.

1.4.2. Objetivos Específicos

Proyectar un sistema confiable de seguridad contra fuegos, empleando sistemas de extinción por de agua.

Determinar la capacidad de la bomba estacionaria contra incendios.

Calcular la reserva mínima para abastecer la demanda de agua del riesgo más severo.

Especificar las características de los equipos y accesorios que se utilizarán para implementar el sistema contra incendio.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Primero se va desarrollar conceptos básicos de mecánica de fluidos, hidráulica, transporte de líquidos en tuberías, pérdidas de carga y conceptos sobre protección contra incendios mencionando las normas nacionales e internacionales que rigen esta especialidad.

2.1. Definición De Fluido

La primera definición de materia impartida por nuestros maestros es que materia es aquello que ocupa un lugar en el espacio.

Para White (2004) en su publicación Mecánica de Fluidos, la materia solo tiene dos estados: sólido y fluido. La diferencia entre ambos estados es principalmente en la reacción de ambos a un esfuerzo tangencial o cortante. Los sólidos resisten al corte; los fluidos, no.

De esa manera un fluido tomara la forma del recipiente que lo contiene sin presentar mayor resistencia.

De manera macroscópica vemos a los fluidos como un medio continuo, sin espacios vacíos, sin ocuparnos de su comportamiento molecular.

2.2. Transporte De Líquidos En Tuberías

En la antigüedad se utilizaban canales, acueductos y ductos con formas definidas para bastecer de agua a las principales capitales, por mucho tiempo se ha utilizado la piedra y concreto rudimentario como material para las estructuras de abastecimiento de agua. En la actualidad existe mucha variedad de medios de transporte de agua siendo las tuberías el principal medio para el abastecimiento masivo de agua.

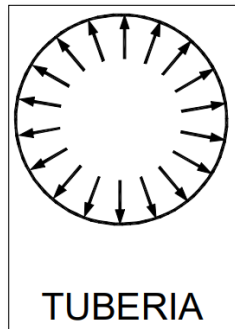
Para los fines de la monografía, definamos los conceptos de tubería y flujo en tuberías.

2.2.1. Tuberías

Para el autor Rocha (1975) las tuberías son estructuras con formar transversales circulares cerradas, en esta estructura el fluido está confinado. El fluido está ejerciendo presión sobre la pared de la tubería como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Representación transversal de tubería.



Fuente: adaptado de Rocha A. (1975)

2.2.2. *Flujo en conductos circulares*

Son fluidos en movimiento que están encerrados por superficies sólidas.

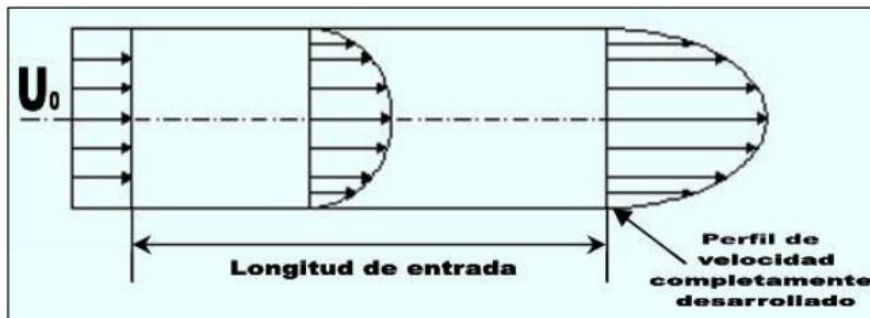
Para los autores Cengel y Cimbala (2006) cuando el fluido se desplaza a través de un conducto que está completamente lleno de fluido, se habla de flujo de tubería.

Las partículas del líquido al interior de la tubería se mueven con un régimen de fluido. Otros autores como Potter y Wiggert (2002) consideran un fluido uniforme entra en un tubo circular.

Se considera como un flujo que entra en una tubería de sección transversal circular, donde el flujo a la entrada de la tubería es uniforme y su velocidad, U_0 , es constante. Debido a la viscosidad y rozamiento en las superficie interna de la tubería, la velocidad es nula y se forma una capa límite, esta capa hace que las partículas de las capas circundantes cambien de posición se frenen gradualmente, la velocidad resultante hacia el centro del flujo crea una gradiente de velocidad tal como sea muestra en la Figura 2.

Figura 2

Perfiles de velocidades de un flujo desarrollado al interior de una tubería.



Fuente: Cengel y Cimbala (2006)

2.3. Conceptos Hidráulicos

Todo flujo de tubería contiene características hidráulicas cuantitativas (como masa, volumen, densidad, flujo volumétrico, presión, etc.) y cualitativas (como olor, color, estado y dureza, etc.), de las que podemos obtener toda la ingeniería para una aplicación de fluido específica.

2.3.1. Caudal

Comúnmente llamado “gasto”, para Mott (2006) demuestra que “el caudal es el volumen que se desplaza por un pasaje en un tiempo determinado” siendo:

$$Q = \int V dA = \bar{V} A \quad (1)$$

Dónde:

Q = caudal

V = velocidad media

A = sección transversal

2.3.2. Presión

La presión (P) define la fuerza por unidad de área ejercida sobre un líquido por compresión, en los fluidos, la presión ejercida sobre un fluido es proporcional a la profundidad a la que se encuentra un punto multiplicada por el peso específico del fluido.

$$P = \gamma \cdot h \quad (2)$$

Dónde:

P = presión hidrostática.

γ = peso específico.

h = profundidad

Al estudiar el flujo de agua en una tubería debemos tener en cuenta que la presión total es la adición de la presión normal (Pn) y la presión de velocidad (Pv).

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt} \int p dV \int p V dA = 0 \quad (3)$$

2.3.3. Ecuación de la continuidad

Así en un sistema de tuberías el caudal que entra es similar al caudal que sale. En sistema de tuberías en serie el caudal se ve afectado por el área sección transversal de la tubería, en un sistema de tuberías en paralelo el caudal sería la sumatoria de los caudales.

Para tuberías en serie:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{Constante} \quad (4)$$

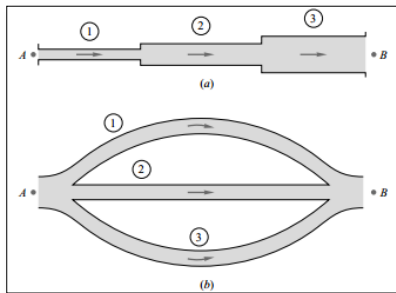
Para tuberías en paralelo:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5)$$

Como se muestra en figura 3 $Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{Constante}$ para las ecuaciones (4) y (5)

Figura 3

Sistemas de tuberías, ley de conservación de masa



Fuente: adaptado de White (2004, p.385)

La ecuación está definida por la ley de conservación de la masa:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt} \int p dV \int p V dA = 0 \quad (6)$$

La ecuación de la continuidad se puede expresar de la siguiente manera para un flujo permanente, es decir, a masa de fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo es constante.

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{constante} \quad (7)$$

Para un fluido incompresible, donde la densidad es una constante $\rho_1 = \rho_2$, que es el caso de estudio tratándose de agua, se tiene:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (8)$$

Otra forma de expresarlo: $Q_1 = Q_2$

Si el flujo es constante y el fluido es incompresible, entonces la densidad del fluido permanecerá constante. Se cumplirá cuando en dos secciones diferentes de tubería no se acumula masa. Por lo general la sección transversal del conducto es conocida, por lo que la dificultad estriba en estimar la velocidad media del fluido en una porción concreta.

2.3.4. La ecuación de Bernoulli

Para la aplicación, el principio de Bernoulli no es más que el enunciado de la ley de conservación de la energía a lo largo de una línea de flujo. Cengel y Cimbala (2006)

Para Potter y Wiggert (2002) esta es una de las ecuaciones de mayor uso en el estudio de flujo de fluidos, sin embargo mencionan que es una de las ecuaciones más mal usadas

debido a las limitaciones de la misma. Las limitaciones son el resultado de las suposiciones hechas al momento de deducir la ecuación. Un de las suposiciones es que la viscosidad del fluido no es tomada en cuenta.

Así, por ejemplo, en un fluido perfecto, la viscosidad, la fricción y la conversión de hidroelectricidad en energía térmica están ausentes. Si el fluido en tránsito de la sección 1 a la sección 2 de un tubo de flujo no cede ni recibe energía de una máquina, la energía puede transformarse, pero permanecerá constante según la ley de conservación de la energía, esto conviene que el total de las energías geométrica, de presión y de velocidad debe ser constante. Con las condiciones dadas la ecuación de Bernoulli se escribe de la siguiente manera:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \text{perdidas}_{1-2} \quad (9)$$

Despejando y factorizando:

$$(h_1 - h_2) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} = \text{perdidas}_{1-2} \quad (10)$$

Dónde:

P = presión.

V = velocidad.

ρ = densidad.

g = gravedad.

2.4.Sistemas de Protección Contra Fuegos a Base De Agua

En el Perú la ocurrencia de incendios ha generado a lo largo de la historia gran daño ambiental, pérdidas económicas y lo más terrible que son las pérdidas humanas. De acuerdo con la información del Compañía General De Bomberos Voluntarios Del Perú al cierre de junio del 2022 han ocurrido 4751 emergencias por incendios (de diferentes niveles) tal como lo muestra la siguiente tabla 1.

Tabla 1

Estadísticas de emergencias atendidas a nivel nacional 2022

TIPO DE EMERGENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Incendios	1022	901	887	734	646	561	0	0	0	0	0	0	4751
Fuga de gas licuado	508	495	524	467	440	350	0	0	0	0	0	0	2784
Emergencias medicas	1795	1819	2098	2100	2356	1821	0	0	0	0	0	0	11989
Rescates	274	272	245	242	228	147	0	0	0	0	0	0	1408
Derrame de productos	4	4	1	6	8	2	0	0	0	0	0	0	25
Corto circuito	95	104	106	84	81	44	0	0	0	0	0	0	514
Servicios especiales	326	276	334	316	392	230	0	0	0	0	0	0	1874
Accidentes vehiculares	961	1036	1150	1042	1133	873	0	0	0	0	0	0	6195
Falsa alarma	326	303	260	154	133	8	0	0	0	0	0	0	1184
Otros	123	104	136	134	81	6	0	0	0	0	0	0	584
TOTAL	5434	5314	5741	5279	5498	4042	0	0	0	0	0	0	31308

Fuente: <http://www.bomberosperu.gob.pe/diprein/Estadisticas>

En el reglamento nacional de edificaciones edición 2006 se dan los requerimientos mínimos de seguridad contra incendios a cumplir en la construcción de nuevas edificaciones, sin embargo, estas están limitadas por falta de estudios. Donde el reglamento se ve limitado por un tipo de edificación del que no tiene alcance recomienda el uso de los estándares de la Sociedad Nacional de Protección contra Incendios (NFPA, por sus siglas ingles), estos estándares de origen estado unidense consideran varios tipos de instalaciones a las cuales se les debe instalar sistemas de supresión de incendios.

Los sistemas de protección contra incendios tienen como primer objetivo salvaguardar la vida de las personas, luego sus objetivos son la protección de la edificaciones y la continuidad de las actividades que se desarrollan en estas.

Para entender conceptos de protección contra incendios debemos considerar las definiciones de acuerdo con la NFPA (NFPA, 2022).

2.4.1. Definiciones según NFPA

Aprobado. Que es aceptado por la autoridad competente.

Autoridad competente. Es el encargado de aceptar toda instalación, equipo, material, procedimiento haciendo cumplir la norma que se está aplicando. Puede ser individuo u organización.

Listado. Equipo, material o servicio que pertenece a una lista de una organización que las autoridades responsables acepten.

UL (Under Writers Laboratories). Empresa independiente que realiza pruebas y certifica la calidad de productos para la seguridad.

FM (Factory Mutual). Empresa que homologa productos para uso en sistemas contra incendios.

Diferencia entre “Debe” y “Deberá”. Para los fines de la norma se define Debe como un requisito obligatorio, en cambio Deberá es una recomendación o lo aconsejable pero no requerido.

2.4.2. Definiciones generales

Incendio. Evento no deseado con gran emanación de calor que causa destrucción.

Control de incendios. controlar el crecimiento de un incendio mediante la descarga de agua para reducir la liberación de calor y la prehumectación de los combustibles vecinos, al mismo tiempo que controla el incremento en la temperatura de los gases en el techo para evitar daños a las edificaciones (NFPA 13, 2019).

Bomba contra incendios. Equipo electromecánico que suministra flujo y presión dedicada a la prevención de incendios (NFPA 20, 2019).

Tubería. Conducto circular para el transporte de fluido, de acuerdo con NFPA 13 (2019) las tuberías ramales abastecen de agua a las salidas para dispositivos de descarga, en cambio las principales tuberías transversales son las que alimentan los ramales.

Rociador automático. Dispositivo de control o extinción de incendios que se dispara automáticamente cuando su componente térmico alcanza o supera su temperatura de

activación nominal, permitiendo el vertido de agua en una región determinada (NFPA 13, 2019).

Aspersor. Son dispositivos de descarga tipo rociadores abiertos, no tienen elemento fusible. Usados para sistemas de enfriamiento y diluvio.

Gabinete contra incendios. Elemento de lucha contra incendios tipo caja metálica para ser operado por personal entrenado, contiene válvula de control y manguera contra incendios.

Hidrante. Una conexión de una válvula exterior a un sistema de suministro de agua que provee las conexiones para mangueras (NFPA 24, 2019).

Los hidrantes pueden ser de barril seco o barril húmedo.

Monitor. Proporcionan chorros de agua de gran caudal.

Caseta de ataque rápido. Son cajones metálicos que contienen equipos de lucha contra incendios para gran alcance.

Almacenamiento de reserva de agua. Es la reserva mínima requerida definida en el cálculo hidráulico.

2.4.3. Definiciones para el proyecto Mina Justa

Faja transportadora (convejo). Principal elemento para el transporte continuo de mineral entre áreas y procesos. Son de material caucho, se mueven sobre una superestructura de poleas, arrastrada por fricción por una o más poleas principales que a su vez son accionadas por motores.

Settler (Mezcladores). De material fibra de vidrio, se utilizan para la purificación de las soluciones provenientes de la lixiviación, contienen ácidos.

Pipe rack. Estructuras de acero que contienen tuberías de transporte de fluidos entre procesos, las tuberías que son de material HDPE (polietileno de alta densidad) transportan los aditivos que son utilizados en la obtención del mineral cobre.

Tanques. Se usan para el almacenamiento, filtrado y tratamiento del mineral en las diferentes etapas de la obtención. Pueden contener combustible, ácidos, agua, entre otros.

Reactivos. Son procesos físico-químicos para la separación de mineral de sus compuestos sulfúricos, óxidos, silicatos o carbonatos.

2.4.4. Componentes de la red de protección contra incendios

La red contra incendios a base de agua es un arreglo de tuberías y accesorios que mantienen el agua estancada hasta el momento que sea activado manual o automáticamente. Se componen principalmente por uno o más suministros de agua, estación de bombeo, redes de tuberías, dispositivos de descarga y sistemas de válvulas.

Sistema de Bombeo. Es el componente principal del sistema de extinción de incendios, suministra de presión y caudal a la red contra incendios cuando este lo requiere.

La bomba contra incendios debe ser seleccionada luego de haber realizado cálculo hidráulico de la red contra incendios de acuerdo a la necesidad del proyecto. Las partes esenciales del sistema de bombeo son, la bomba principal, bomba jockey y tableros controladores. En la figura 4 se muestra un sistema de bombeo con sus componentes principales.

Figura 4

Instalación típica de estación de bombeo contra incendios



Fuente: elaboración propia a partir del proyecto TALSAL Salaverry.

Bomba principal. De acuerdo con NFPA 20 (2019) es “una bomba que proporciona flujo líquido y presión dedicados a la protección contra incendios”. De encendido automático y apagado manual.

Bomba restablecedora de presión o Jockey. Bomba de alta presión y poco caudal, no es una bomba contra incendios, tiene por función restablecer las pequeñas pérdidas de presión de la red contra incendios. De encendido y apagado automático.

Tableros controladores. Tableros eléctricos que se integran a la operación de las bombas a través de sensores de presión.

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para el sistema de bombeo contra incendios:

- ✓ El sistema de bombeo es de uso exclusivo de protección contra incendios.
- ✓ El suministro de energía eléctrica es exclusivo en caso la bomba principal sea de motor eléctrico.
- ✓ El sistema de bombeo de agua contra incendios debe tener un suministro secundario de energía de respaldo que garantice la funcionalidad del sistema

de bombeo en ocurrencia de emergencias de incendio durante una falla en el suministro de energía público.

- ✓ Los sistemas de bombeo de una edificación deben estar en un área independiente del resto de ambientes.
- ✓ El cuarto de bombas debe tener al menos dos horas de protección resistente al fuego.
- ✓ Los cuartos para sistemas de bombeo deben tener protección contra en congelamiento de tal forma que la temperatura no sea menor de 4°C ni mayor de 49°C.
- ✓ Debe tener un régimen de inspección pruebas y mantenimiento de acuerdo con la norma NFPA 25 (2021)

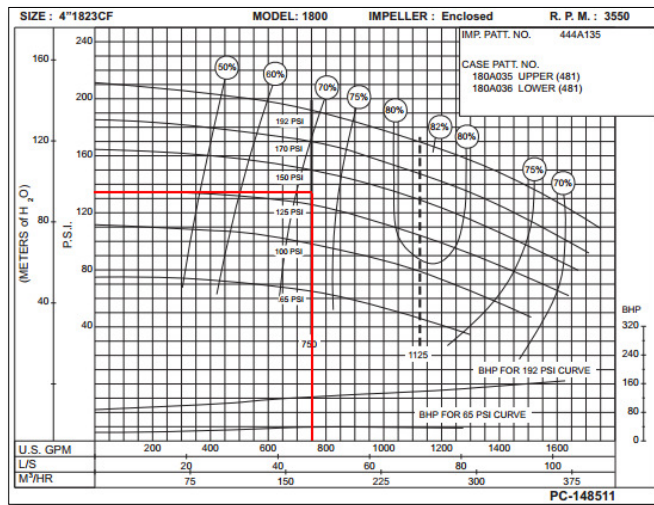
Para que una bomba sea considerada para el servicio contra incendios debe cumplir con los siguientes parámetros hidráulicos de acuerdo con NFPA 20 (2019) al 65% de su presión nominal, la bomba contra incendios debe tener la capacidad de dar el 150% de su caudal nominal, y a caudal cero, la presión no debe ser más que el 140% de su presión nominal de fábrica.

Para bombas contra incendios con caudales nominales mayores 500 GPM estas deben ser bombas certificadas listadas por UL y aprobadas FM de acuerdo con el reglamento nacional de construcción edición 2006. En la misma se permite el uso de bombas contra incendios no listadas para caudales nominales menores a 500 GPM.

Toda bomba contra incendios que se adquiriera de un fabricante o distribuidor debe tener su curva característica, esta debe ser guardada por el propietario para ser comparada en el tiempo de vida útil de la bomba de tal forma que se tenga referencias para diagnóstico de fallas, en la figura 5 se muestra una curva característica de equipo de bombeo contra incendios.

Figura 5

Curva de bomba de 750gpm@135psi



Fuente: adaptación de curva de bomba serie 1800 Fairbank Morse.

Redes de tuberías. Las redes de tuberías pueden ser por debajo de nivel de piso, tuberías enterradas, o tuberías aéreas por encima del nivel de piso sujetados con soportes fabricados para ese fin.

Tuberías enterradas. Son de material resistente a la corrosión, por lo general se usa el polietileno (PE) y tuberías de CPVC, estos materiales facilitan la trabajabilidad en la instalación ya que se pueden adaptar al perfil del suelo.

Tuberías aéreas. Por lo general se utiliza material de acero al carbono, debe ser protegido contra corrosión y daño mecánico.

Dispositivos de descarga. En el mercado existentes variedades de marcas y diseños de dispositivos de lucha contra incendios para diversos tipos de edificaciones, así por ejemplo se utilizan rociadores decorativos para una oficina, gabinetes contra incendios ocultos en centros comerciales.

Dispositivos de descarga de gran caudal como los monitores que tienen alcance de chorro de agua que se usan en edificaciones industriales.

Los hidrantes que sirven para suministrar de caudal a mangueras contra incendios y casetas de ataque rápido.

Sistemas de válvulas. Todas las válvulas de sistemas contra incendios deben cumplir con las características de ser indicadoras de posición, es decir, que simple viste un operario pueda darse cuenta si la válvula está abierta o cerrada. Además, deben cumplir con la característica de que deben ser cerradas en no menos de 5 segundos de acuerdo con NFPA 13 (2019). Esta característica es fundamental para evitar las sobrepresiones en las tuberías.

Las válvulas tienen la función de controlar el suministro de agua, así como sectorizar las secciones que puedan quedar inoperativas por fallas o mantenimiento.

2.5. Información Del Proyecto Mina Justa

El proyecto Mina Justa está ubicado aproximadamente a 500 km al sur de la capital Lima y 35 km al sudoeste de la capital de Nazca, en la provincia de Nazca. El sitio está alrededor de 25 km al noreste del distrito de Marcona.

La elevación sobre el nivel de mar del lugar del proyecto varía entre 500 y 1200 m.s.n.m. y las coordenadas de altitud y longitud en el centro del proyecto Mina Justa se encuentra aproximadamente a 15°08'S y 75°04'O. Los principales parámetros de ubicación y condiciones del sitio se describen en la tabla 2.

Tabla 2

Características del lugar donde se desarrolla el proyecto Mina Justa

Item	Ubicación o condición	Descripción
1	País	Perú
2	Departamento	Ica
3	Provincia	Nazca
4	Distrito	Marcona

5	Coordenadas	15°8 S 75°04 O
6	Elevación	825 msnm
7	Presión atmosférica	688.9 – 690.1 mmHg
8	Temperatura de ambiente	6.7 – 25.8 °C
9	Precipitación anual promedio	6 mm
10	Humedad relativa promedio	70 – 81.3 %
11	Velocidad ultima de diseño	97.5 km/h (S-E)
12	Sismo	Zona 4

Fuente: elaboración propia de acuerdo con el estudio del proyecto Mina Justa.

Se realizó el estudio de riesgos del proyecto Mina Justa de acuerdo con las ocupaciones y tipo de actividades que se desarrollaran en cada una de las áreas. De esa manera el proyecto Mina Justa cuenta con un sistema de extinción de incendios dedicado a la protección de todas las áreas del proyecto.

La nueva red de protección contra incendios estará compuesta principalmente por un sistema de bombeo y la red de tuberías matrices, hidrantes distribuidos al exterior de los edificios, gabinetes distribuidos en el interior de los edificios, sistemas de rociadores, aspersores, sistema de extinción portátil y sistemas de espuma donde será requerido.

Las áreas involucradas en el presente proyecto son las siguientes:

Chancado primario de Sulfuros (2110)

Chancado primario de Óxidos (3110)

Stockpile de Sulfuros (2120)

Chancado, Zaranda Secundaria y Fajas de Sulfuros (2130)

Chancado, Zaranda Terciario y Fajas de Sulfuros (2140)

Molienda (2220)

Flotación (2240)

Remolienda (2250)

Espesamiento, Filtrado y Almacenamiento de Concentrado (2260)

Espesamiento de Relaves (2270)

Almacenamiento de Reactivos (2280)

Stockpile de Óxidos y Recuperación (3120)

Chancado y Zaranda Secundario (3130)

Chancado y Zaranda Terciario (3140)

Pre-Tratamiento Óxidos (3210)

Ripios Óxidos (3230)

Vat feed y vats (3240)

Estanques (3250)

Extracción de Solventes (3320)

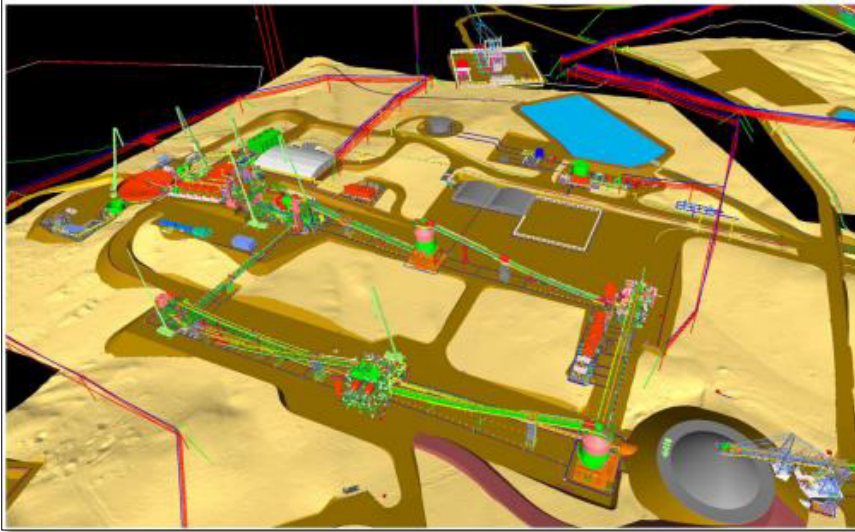
Área de Electrowinning (3330)

Reactivos (3350) (En diferentes áreas de la planta)

En la siguiente figura 6, figura 7 y figura 8 se muestran las vistas de las principales plantas de la unidad minera Mina Justa.

Figura 6

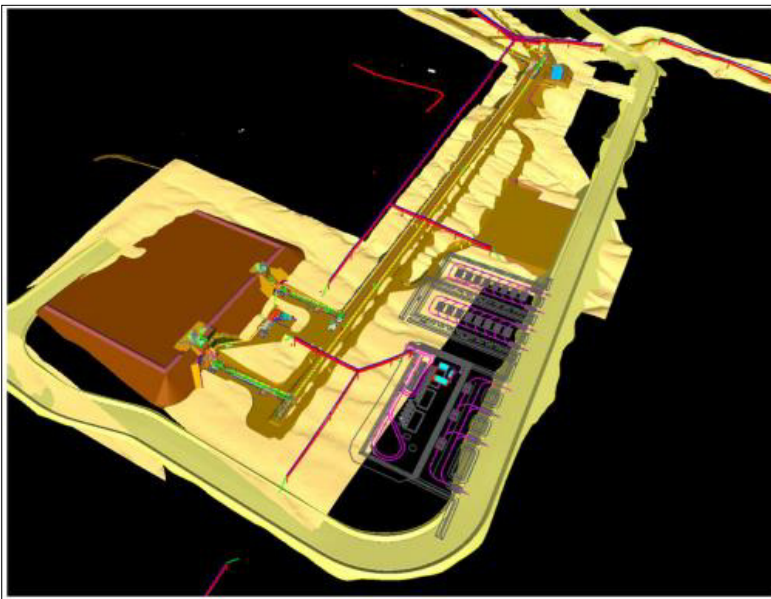
Planta de procesos de Sulfuros



Fuente: diseño propio para esta monografía

Figura 7

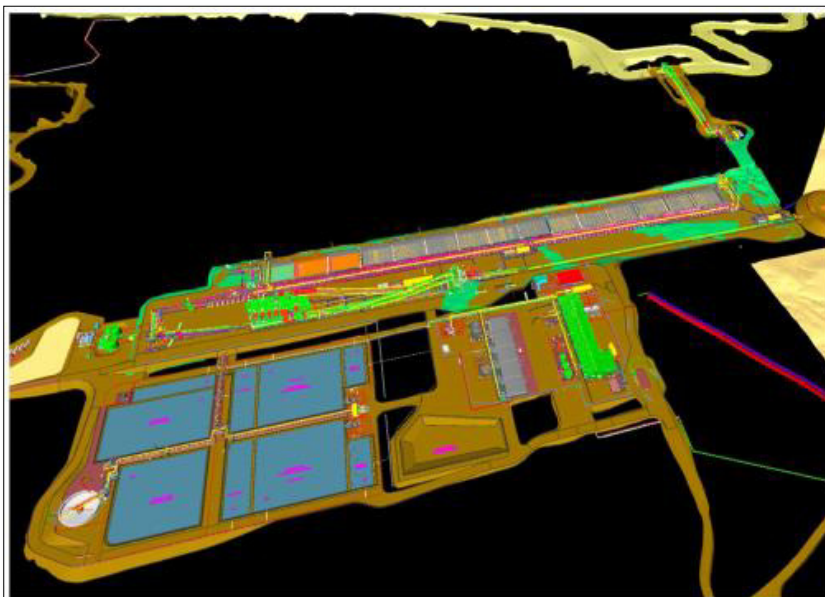
Planta de Chancado primario de Sulfuros y Óxidos



Fuente: diseño propio para esta monografía.

Figura 8

Planta de Procesos de Óxidos



Fuente: diseño propio para esta monografía

Las diferentes áreas de la mina estarán protegidas por un sistema de agua contra incendio y por un sistema de extintores portátiles. A continuación, se muestra el listado de áreas y medios de extinción en la tabla 3.

Tabla 3

Áreas de la unidad minera Mina Justa y los sistemas de protección considerados

Ítem	Área	Descripción	Zonas o equipos protegidos	Medio de extinción de incendio
1	2110	Chancado primario de sulfuros	Fajas transportadoras, Apron feeder, Edificio de chancado y Torre de transferencia	Rociadores, gabinetes, aspersores y extintores
2	2120	Stockpile de sulfuros	Túnel, fajas transportadoras y Torre de transferencia	Rociadores, gabinetes, aspersores y extintores
3	2130	Chancado, zaranda secundaria y fajas de sulfuros	Fajas transportadoras, Edificio de zaranda secundaria de sulfuros y Edificio de chancado secundario	Gabinetes, aspersores y extintores
4	2140	Chancado, zaranda terciario y fajas de sulfuros	Fajas transportadoras, Edificio de zaranda terciaria de sulfuros y Edificio de chancado terciario	Gabinetes, aspersores y extintores
5	2220	Molienda	Infraestructura del área	Gabinetes, aspersores y extintores
6	2240	Flotación	Almacenamiento de reactivos	Gabinetes y extintores
7	2250	Remolienda	Unidad hidráulica, Motor y Torre de	Gabinetes, aspersores y extintores

			transferencia	
8	2260	Espesamiento, filtrado y almacenamiento de concentrado	Área de espesamiento de relaves	Gabinetes, aspersores y extintores
9	2270	Espesamiento de relaves	Área de espesamiento de relaves	Gabinetes y extintores
10	2280	Almacenamiento de reactivos	Área de almacén de reactivos	Gabinetes y extintores
11	2310	Servicio de aire	Área de servicios de aire	Extintores
12	3110	Chancado primario de óxidos	Fajas transportadoras, Apron feeder, Edificio de chancado y Área del sistema de lubricantes	Rociadores, gabinetes, aspersores y extintores
13	3120	Stockpile de óxidos y recuperación	Fajas transportadoras y Torre de transferencia	Rociadores, gabinetes, aspersores y extintores
14	3130	Chancado y zaranda secundario de óxidos	Fajas transportadoras, Edificio de zaranda secundaria de óxidos y Edificio de chancado secundario	Gabinetes, aspersores y extintores
15	3140	Chancado y zaranda Terciario de óxidos	Fajas transportadoras, Edificio de zaranda terciaria de óxidos y Edificio de chancado terciario	Gabinetes, aspersores y extintores
16	3210	Pre-tratamiento óxidos	Fajas transportadoras y Sub-áreas	Gabinetes, aspersores y extintores
17	3230	Ripios óxidos	Fajas transportadoras	Gabinetes, aspersores y extintores
18	3240	Vat feed y vats	Fajas transportadoras y Vats	Gabinetes, aspersores y extintores
19	3250	Pozas PLS y refinós	Pozas de lixiviación, Clarificador y Tanques	Gabinetes y extintores
20	3320	Extracción de solventes	Estanques, mezcladores, tanques y Pipe racks	Gabinetes, aspersores, monitores y sistema de espuma de baja y alta expansión.
21	3330	Área de electrowinning	Área de Electrowinning	Gabinetes
22	3350	Reactivos	Área de recepción y tanques de ácidos sulfúrico	Extintores portátiles
23	5000	Área de puerto y almacenamiento de ácido sulfúrico	Plataformas y Sub-áreas	Extintores portátiles y rodantes

Fuente: elaboración propia a partir del estudio de riesgo de incendios de la unidad minera.

3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

El método de diseño a utilizar para la concepción de una red contra incendios a base de agua se basa en las ecuaciones para flujos a presión.

Se considerará los equipos de lucha contra incendios que son hidráulicamente más desfavorables, así como la demanda de caudal y presión en esos puntos de acuerdo con las normas NFPA.

3.1. Pérdida De Energía Por Fricción

Una comprensión matemática del comportamiento de los fluidos en las tuberías requiere conocimientos básicos de hidráulica y mecánica de los fluidos, como la ecuación de energía (Bernoulli), la ecuación de continuidad, condiciones de flujo constante, flujo uniforme, flujo incompresible, etc.

Si aplicamos la ecuación de la energía a la entrada (1) y a la salida (2) de una sección de tubería, obtenemos:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \sum h_{f_{1-2}} \quad (11)$$

Se tiene que al pasar del punto 1 al punto 2 parte de la energía se pierde, no se transforma en presión, velocidad o elevación. Es la energía consumida en forma de fricción y que denominamos h_f , pérdida de energía o pérdida de carga (Rocha, 2007. P. 136).

Dónde:

z: altura o elevación,

p: presión

v: velocidad

γ : peso específico del fluido (agua)

g: gravedad

Las pérdidas de carga se producen debido a la fricción y se calculan por medio de la ecuación de Darcy.

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \right) \quad (12)$$

Dónde:

f = factor de fricción.

L = Longitud de tubería.

D = Diámetro de tubería.

Darcy-Weisbach establece que el factor de fricción es una función del número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa (k/D). En consecuencia, este número oscila en función del régimen de flujo y de las características de la tubería. Por consiguiente, para el flujo laminar, las pérdidas por fricción están en función únicamente del número de Reynolds y no de las cualidades del conducto. Esto es:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (13)$$

Dónde: Según la fórmula, Re indica la relación entre la fuerza de inercia y fuerzas viscosas:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (14)$$

Dónde:

V : velocidad

D : diámetro de la tubería

ν : viscosidad cinemática de fluido

Es así que el coeficiente f podemos encontrarlo en el diagrama de Moody relacionado con el número de Reynolds y los parametros de rugosidad relativa.

A valores de Reynolds más altos ($Re > 5000$) el flujo es turbulento, dominado por las fuerzas de inercia. Un número de Reynolds bajo ($Re < 2200$) se corresponde a una fase de flujo laminar dominado por las fuerzas viscosas. Además, el flujo se encuentra en la zona de transición entre los dos sistemas.

Cuando el régimen de flujo es turbulento, existen dos circunstancias para calcular el factor de fricción. Entre 1920 y 1930, Prandtl y Theodore Von Karman descubrieron las ecuaciones que permiten determinar el factor de fricción del flujo turbulento f (Saldarriaga, 2001, p. 53-58).

Flujo Hidráulicamente liso:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} Re \sqrt{f} - 0.8 \quad (15)$$

Flujo Hidráulicamente rugoso:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left(\frac{d}{K_s} \right) + 1.14 \quad (16)$$

Finalmente, Colebrock y White examinaron el flujo transitorio en profundidad y establecieron la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{K_s}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (17)$$

Esta ecuación se aplica a todos los tipos de flujo turbulento en tuberías. Pero, es problemático, ya que no es una ecuación exacta para el factor de fricción f , lo que implica la necesidad de algún tipo método numérico. Este problema matemático ocasionó la aparición de ecuaciones empíricas más sencillas de utilizar, entre ellas la más famosa es la ecuación de Hazen- Williams. (Saldarriaga, 1998)

Esta ecuación mencionada específicamente en la NFPA 14 señala que las pérdidas por fricción de las tuberías se pueden determinar utilizando la siguiente formula:

$$\rho = \frac{4.52 * Q^{1.85}}{C^{1.85} * d^{4.87}} \quad (18)$$

Dónde:

Q: Flujo en galones por el minuto

d: diámetro interior real de la tubería, en pulgadas

C: Coeficiente de Perdida por fricción de Hazen-Williams

p: Perdida por fricción, en psi por pie de tubería

Para las unidades en el sistema internacional debe usarse la siguiente ecuación:

$$\rho = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} * d^{4.87}} \right) \quad (19)$$

Dónde:

p: Perdida por fricción en bar/m de tubería.

Q: Flujo en L/min.

C: Coeficiente de Perdida por fricción de Hazen-Williams.

d: diámetro interno real en mm. (NFPA 24, 2019, p. 23)

Consideramos los valores para diámetro interno de tubería de la tabla 4.

Tabla 4

Diámetros exteriores e interiores de tuberías de acero

Tamaño nominal de tubería	Cédula 5				Cédula 10*				Cédula 30				Cédula 40						
	Diámetro externo		Diámetro interno		Espesor de pared		Diámetro interno		Espesor de pared		Diámetro interno		Espesor de pared		Diámetro interno		Espesor de pared		
pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
½ ^b	15	0.840	21.3	—	—	—	—	0.674	17.1	0.083	2.1	—	—	—	—	0.622	15.8	0.109	2.77
¾ ^b	20	1.050	26.7	—	—	—	—	0.884	22.4	0.083	2.1	—	—	—	—	0.824	21.0	0.113	2.87
1	25	1.315	33.4	1.185	30.1	0.065	1.7	1.097	27.9	0.109	2.8	—	—	—	—	1.049	26.6	0.133	3.37
1¼	32	1.660	42.2	1.530	38.9	0.065	1.7	1.442	36.6	0.109	2.8	—	—	—	—	1.380	35.1	0.140	3.56
1½	40	1.900	48.3	1.770	45.0	0.065	1.7	1.682	42.7	0.109	2.8	—	—	—	—	1.610	40.9	0.145	3.68
2	50	2.375	60.3	2.245	57.0	0.065	1.7	2.157	54.8	0.109	2.8	—	—	—	—	2.067	52.5	0.154	3.91
2½	65	2.875	73.0	2.709	68.8	0.083	2.1	2.635	66.9	0.120	3.0	—	—	—	—	2.469	62.7	0.203	5.16
3	80	3.500	88.9	3.334	84.7	0.083	2.1	3.260	82.8	0.120	3.0	—	—	—	—	3.068	77.9	0.216	5.49
3½	90	4.000	101.6	3.834	97.4	0.083	2.1	3.760	95.5	0.120	3.0	—	—	—	—	3.548	90.1	0.226	5.74
4	100	4.500	114.3	4.334	110.1	0.083	2.1	4.260	108.2	0.120	3.0	—	—	—	—	4.026	102.3	0.237	6.02
5	125	5.563	141.3	—	—	—	—	5.295	134.5	0.134	3.4	—	—	—	—	5.047	128.2	0.258	6.55
6	150	6.625	168.3	6.407	162.7	0.109	2.8	6.357	161.5	0.134 ^c	3.4	—	—	—	—	6.065	154.1	0.280	7.11
8	200	8.625	219.1	—	—	—	—	8.249	209.5	0.188 ^c	4.8	8.071	205.0	0.277 ^d	7.0	7.981	—	0.322	—
10	250	10.750	273.1	—	—	—	—	10.370	263.4	0.188 ^c	4.8	10.140	257.6	0.307 ^d	7.8	10.020	—	0.365	—
12	300	12.750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.090	—	0.330 ^e	—	11.938	—	0.406	—

Fuente: adaptación de la tabla A.16.3.2 de la NFPA 13 (2019, p.13-414)

Los valores para el coeficiente de fricción de Hazen-Williams los consideraremos de la tabla 5.

Tabla 5*Coeficiente C de Hazen-Williams*

Tubería o tubo	Valor C*
De hierro dúctil o fundido sin revestimiento	100
De acero negro (sistemas secos, incluidos sistemas de acción previa)	100
De acero negro (sistemas húmedos, incluidos sistemas tipo diluvio)	120
De acero galvanizado (sistemas secos, incluidos sistemas de acción previa)	100
De acero galvanizado (sistemas húmedos, incluidos sistemas tipo diluvio)	120
De plástico (listado) — todos	150
De hierro dúctil o fundido con revestimiento de cemento	140
Tubo de cobre, de latón o acero inoxidable	150
De asbesto cemento	140
De concreto	140

Fuente: adaptación de la tabla 27.2.4.8.1 de la NFPA 13 (2019, p. 3-326)

3.2. Pérdidas Menores

Disponer de una red de fontanería compuesta por una serie de piezas denominadas accesorios (codos cruces, uniones, válvulas tees, etc.) se generan denominadas pérdidas de energía modestas o localizadas.

$$h_m = \sum K_m \frac{V^2}{2g} \quad (20)$$

Dónde:

K_m: coeficiente que dependerá del tipo de accesorio presente en el tramo de la red

V: velocidad del flujo

g: gravedad

La NFPA 13 recomienda utilizar el método de longitudes equivalentes para las pérdidas secundarias empleando la siguiente tabla 6.

Tabla 6

Longitudes equivalentes de tuberías de acero de cédula 40 para valor de C igual a 120

Accesorios y válvulas	Accesorios y válvulas expresadas en pies (metros) equivalentes de tubería														
	½ pulg. (15 mm)	¾ pulg. (20 mm)	1 pulg. (25 mm)	1¼ pulg. (32 mm)	1½ pulg. (40 mm)	2 pulg. (50 mm)	2½ pulg. (65 mm)	3 pulg. (80 mm)	3½ pulg. (90 mm)	4 pulg. (100 mm)	5 pulg. (125 mm)	6 pulg. (150 mm)	8 pulg. (200 mm)	10 pulg. (250 mm)	12 pulg. (300 mm)
Codo 45°	—	1 (0.3)	1 (0.3)	1 (0.3)	2 (0.6)	2 (0.6)	3 (0.9)	3 (0.9)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	7 (2.1)	9 (2.7)	11 (3.3)	13 (4)
Codo estándar 90°	1 (0.3)	2 (0.6)	2 (0.6)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	6 (1.8)	7 (2.1)	8 (2.4)	10 (3)	12 (3.7)	14 (4.3)	18 (5.5)	22 (6.7)	27 (8.2)
Codo de giro largo 90°	0.5 (0.2)	1 (0.3)	2 (0.6)	2 (0.6)	2 (0.6)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	5 (1.5)	6 (1.8)	8 (2.4)	9 (2.7)	13 (4)	16 (4.9)	18 (5.5)
En T o cruz (flujo con giro 90°)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	6 (1.8)	8 (2.4)	10 (3)	12 (3.7)	15 (4.6)	17 (5.2)	20 (6.1)	25 (7.6)	30 (9.1)	35 (10.7)	50 (15.2)	60 (18.3)
Válvula mariposa	—	—	—	—	—	6 (1.8)	7 (2.1)	10 (3)	—	12 (3.7)	9 (2.7)	10 (3)	12 (3.7)	19 (5.8)	21 (6.4)
Válvula de compuerta	—	—	—	—	—	1 (0.3)	1 (0.3)	1 (0.3)	1 (0.3)	2 (0.6)	2 (0.6)	3 (0.9)	4 (1.2)	5 (1.5)	6 (1.8)
Interruptor de flujo de tipo paleta	—	—	6 (1.8)	9 (2.7)	10 (3)	14 (4.3)	17 (5.2)	22 (6.7)	—	30 (9.1)	—	16 (4.9)	22 (6.7)	29 (8.8)	36 (11)
Válvula de retención a clapeta*	—	—	5 (1.5)	7 (2.1)	9 (2.7)	11 (3.3)	14 (4.3)	16 (4.9)	19 (5.8)	22 (6.7)	27 (8.2)	32 (10)	45 (14)	55 (17)	65 (20)

Fuente: adaptado de la tabla 27.2.3.1.1 de la NFPA 13 (2019, p. 13-323)

Para otros valores de coeficiente de Hazen – Williams los valores de la tabla 6 deben ser multiplicados por los factores indicados en la tabla 7.

Tabla 7

Multiplicador de valores C

Valor de C	100	130	140	150
Factor multiplicador	0.713	1.16	1.33	1.51

Fuente: adaptado de la tabla 27.2.3.2.1 de la NFPA 13 (2019, p.13-324)

La longitud equivalente del tramo será la suma de la longitud de la tubería y la longitud equivalente de accesorio según la tabla 6.

$$L_{equiv} = L_T + L_{acces} \quad (21)$$

3.3. Pérdida Total De Un Tramo De Tubería

Para hallar la pérdida total de un tramo de tubería se debe multiplicar el factor de pérdida por fricción hallado en la ecuación (18) por la longitud equivalente del tramo de la ecuación (20).

$$P_T = \rho \cdot L_{equiv} \quad (22)$$

3.4. Pérdidas Totales En del sistema

Finalmente, las pérdidas totales del sistema son el resultado de la sumatoria de todas y cada una de las posibles pérdidas del sistema.

$$L_{equiv} = L_T + L_{acces} \quad (23)$$

Dónde:

P_{elev} = Presión de elevación.

P_p = Presión total de pérdidas

P_i = Presión inicial de trabajo

P = Presión total en tramo de tubería.

3.5. Formula Del Flujo A Través De Un Orificio

Los factores K, el flujo desde un orificio o la presión desde un orificio deben ser determinados basándose en la siguiente fórmula: (NFPA 13, 2019)

$$K_n = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (24)$$

3.6. Fórmula Para La Velocidad De Flujo

Es importante verificar la velocidad de flujo en redes de tubería, de esa forma se puede comprobar las velocidades en los nodos o puntos de cálculo, de acuerdo con NFPA 13 las velocidades deben ser menores a 7.5 m/s.

La velocidad de flujo se puede calcular a partir de la ecuación del caudal.

$$V_A = \frac{Q}{A} \quad (25)$$

4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LA RED GENERAL Y

RESULTADOS

Siguiendo el método descrito en el capítulo anterior, se seguirá una secuencia de cálculos matemáticos que facilitaran el cálculo de la sumatoria de pérdidas. Se enunciarán los parámetros de diseño mínimo solicitados por las normas NFPA para sistemas contra incendios.

4.1. Cálculos hidráulicos

Para los cálculos hidráulicos se consideraron las elevaciones a la que se encuentran ubicados los dos hidrantes más desfavorables de la red contra incendios respecto del sistema de bombeo y el tanque de reserva de agua. Así por ejemplo los hidrantes más lejanos están ubicados en el área de carga de ripios, sin embargo, esta área está a cota inferior y gana presión por columna de agua.

La planta de sulfuros está ubicada a una cota de elevación similar a la sala de bombas por lo tanto no tiene un aporte de presión por columna de agua.

Además, se consideró los escenarios de incendio que requieren la mayor dotación de caudal, esto es en el área de extracción de solventes, en esta área se definieron 7 zonas de descarga de agua y agua-espuma para protección contra incendios. El resultado fue que el escenario de mayor demanda de caudal se daría al ocurrir una activación por incendio en el estanque Settler #2 de código 3321-ST-302.

4.1.1. Parámetros de diseño

Se plantea combatir el riesgo de incendio con la apertura en simultáneo de 01 válvula de 2 ½" en los dos hidrantes más desfavorables del sistema. Utilizando los parámetros establecidos en las normas NFPA se define lo siguiente:

- Distancia máxima de recorrido hasta hidrante, Dis: 196.85 ft (60 m), longitud máxima definida por el alcance de 02 mangueras.
- Caudal de agua en Hidrantes (por salida de $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ "): 250 gpm, NFPA 14 – 7.10.1
- Tiempo de operación del sistema: 120 min, NFPA 122

Parámetros de presión y caudales para el buen funcionamiento del sistema:

- ✓ Presión máxima en GCI ocupantes del edificio $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ " = 12.1 bar (175 psi), según NFPA 14 – 7.2.3.2 versión 2016 (gabinete clase I)
- ✓ Presión mínima en GCI ocupantes del edificio $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ " = 6.9 bar (100 psi), según NFPA 14 – 7.8 versión 2016 (gabinete clase I)
- ✓ Presión máxima en GCI ocupantes del edificio $\text{Ø}1\frac{1}{2}$ " = 6.9 bar (100 psi), según NFPA 14 7.2.3 versión 2016 (gabinete clase II)
- ✓ Presión mínima en GCI ocupantes del edificio $\text{Ø}1\frac{1}{2}$ " = 4.5 bar (65 psi), según NFPA 14 – 7.8 versión 2016 (gabinete clase II)
- ✓ Caudal mínima en GCI ocupantes del edificio $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ " = 56.7 m³/h (250 gpm), según NFPA 14 – 7.10.1 versión 2016 (gabinete clase I)
- ✓ Caudal mínimo en GCI ocupantes del edificio $\text{Ø}1\frac{1}{2}$ " = 22.7 m³/h (100 gpm), según NFPA 14 – 7.10.2 versión 2016 (gabinete clase II)
- ✓ Caudal mínima en Hidrantes (por salida de $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ ") = 56.7 m³/h (250 gpm), según NFPA 14 – 7.10.1 versión 2016
- ✓ Velocidad en cualquier sección de la tubería deberá ser menor a 6 m/s (19.7ft/s), de acuerdo a las buenas prácticas en sistemas contra incendio.

Las especificaciones de los materiales de tubería serán las siguientes:

- ✓ Tubería HDPE 4710, SDR 11: **HD6**, valor de coeficiente C=150
- ✓ Tubería Acero ASTM A53, SCH 40: **CD1**

- ✓ Tubería Acero ASTM A53, SCH40, galvanizada internamente: **GD1**, valor de coeficiente C=140

Determinación del caudal y la presión de las válvulas, según la tabla 8.

Tabla 8

Requisito mínimo de presión y caudal para salidas de válvulas

Descarga de manguera – Ø2 ½"	56.8 250	m ³ /h gpm
Cantidad de mangueras	2	und
Tiempo del suministro de agua	120	min
Presión mínima en salida de 2 ½"	7 100	bar psi

Fuente: elaboración propia

4.1.2. Criterios para el cálculo hidráulico, determinación de la presión requerida.

En la tabla 9 y tabla 10 se muestran los riesgos y zonas más desfavorables hidráulicamente.

En la planta de sulfuros:

Tabla 9

Hidrantes más desfavorables de la planta de sulfuros.

Hidrante: 0000-SP-HY-0082 (N-318)		
Caudal de Mangueras (según Norma)	57.5 253.3	m ³ /h gpm
Presión mínima en salida de 2 ½"	7.2 102.7	bar psi

Hidrante: 0000-SP-HY-0085 (N-312)		
Caudal de Mangueras (según Norma)	60.8 267.8	m ³ /h gpm
Presión mínima en salida de 2 ½"	8.1 114.7	bar psi

Fuente: elaboración propia.

En la planta de óxidos – área carga de rípios

Tabla 10

Hidrantes más desfavorables de la planta de óxidos – carga de rípios.

Hidrante: 0000-SP-HY-0063 (N-277)		
Caudal de Mangueras (según Norma)	61.5 271	m ³ /h gpm
Presión mínima en salida de 2 ½"	8.3 117.5	bar psi

Hidrante: 0000-SP-HY-0064 (N-288)		
Caudal de Mangueras (según Norma)	58.6 257.9	m ³ /h gpm
Presión mínima en salida de 2 ½"	7.5 106.4	bar psi

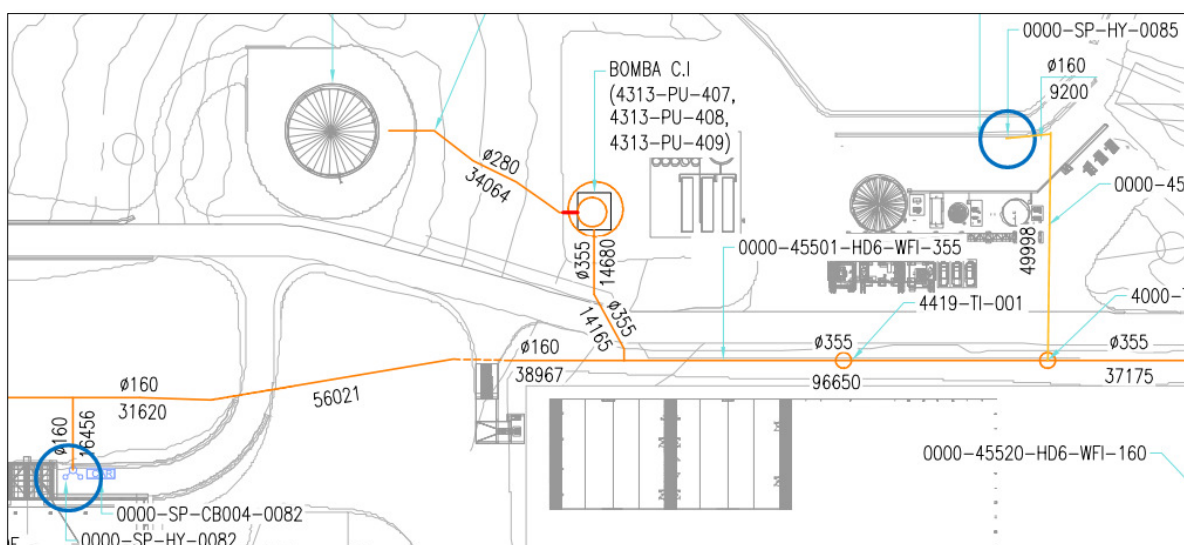
Fuente: elaboración propia

El área de carga de ripios es la zona hidráulicamente más alejada, pero esta gana presión debido a la diferencia de altura que se tiene con respecto al tanque de agua contra incendio (cisterna), es por ello que se considera al área de sulfuros como la más crítica (esta aproximadamente al mismo nivel que el sistema de bombeo) y a la cual se realizaron los cálculos respectivos.

En la figura 9 se muestra el trazado de la red contra incendios entre los hidrantes 000-SP-HY-082 y 000-SP-HY-085 y la cisterna.

Figura 9

Parte del trazado de tubería de la red contra incendios de la planta de sulfuros



Fuente: elaboración propia - red contra incendios proyecto Mina Justa.

4.1.3. Cálculo de las longitudes equivalentes

En la siguiente tabla 11 se muestran las longitudes reales y accesorios por tramos definidos a partir de la figura 9.

Tabla 11

Longitudes y accesorios de tramos de tubería

Tramo	Diámetro	Codo 90°	Codo 45°	Tee/cruz	Válvula compuerta	reducción	Long. Real (m)
Tramo 1	6"	5	2		1		59
Tramo 2	14"	2		2	1	1	97
Tramo 3	14"	2	4	3	2	1	37

Fuente: elaboración propia.

Para el tramo 1: diámetro 6"

Codo 90° = 5	$5 \times 4.3 \times 1.51 =$	32.47
Codo 45° = 2	$2 \times 2.1 \times 1.51 =$	6.34
Vál. Compuerta = 1	$1 \times 0.9 \times 1.51 =$	1.36
L_{acces}		40.17
Long. Real (m)		59
L_{equiv} tramo 1		99.17

Para el tramo 2: diámetro 14"

Codo 90° = 2	$2 \times 10.5 \times 1.51 =$	31.71
Tee/cruz = 2	$2 \times 22 \times 1.51 =$	66.44
Vál. Compuerta = 1	$1 \times 2.4 \times 1.51 =$	3.62
Reducción = 1	$1 \times 10.5 \times 1.51 =$	15.86
L_{acces}		117.63
Long. Real (m)		97
L_{equiv} tramo 2		214.63

Para el tramo 3: diámetro 14”

Codo 90° = 2	$2 \times 10.5 \times 1.51 =$	31.71
Codo 45° = 4	$4 \times 5.3 \times 1.51 =$	32.01
Tee/cruz = 3	$3 \times 22 \times 1.51 =$	99.66
Vál. Compuerta = 2	$2 \times 2.4 \times 1.51 =$	7.25
Reducción = 1	$1 \times 10.5 \times 1.51 =$	15.86
L_{acces}		<hr/> 186.49
Long. Real (m)		<hr/> 37
L_{equiv} tramo 3		<hr/> 223.49

4.1.4. Cálculo de la pérdida de carga por tramo del sistema

Para calcular las pérdidas de fricción por tramo usaremos la ecuación (19) fórmula de Hazen-Williams en unidades del sistema internacional.

✓ Para el hidrante 000-SP-HY-082

Es el hidrante colocado a la mayor distancia en el área de cálculo, para ello tenemos los siguientes datos:

Q_i = caudal inicial = 250 gpm = 946.35 L/m

P_i = presión inicial = 100 psi = 6.89 bar

Altura de elevación desde el nivel de la tubería de alimentación hasta de la salida de 2 ½” respecto del suelo = 1.8 m

El cuerpo del hidrante tiene una válvula tipo angular para control de flujo.

L_t = 1.8 m

Accesorios = a válvula de 2 ½”, longitud equivalente 7.85

Entonces la longitud equivalente será, de la ecuación (23):

$$L_{\text{equiv}} = L_T + L_{\text{acces}} = 1.8 + 7.85 = 9.65 \text{ m}$$

Calculamos el factor de resistencia mediante la ecuación (19)

$$\rho = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} * d^{4.87}} \right) = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{946.35^{1.85}}{120^{1.85} \times 63.5^{4.87}} \right) = 0.05 \text{ bar/m}$$

Calculo de las pérdidas totales en el hidrante con el uso de la ecuación (22):

$$P_T = \rho \cdot L_{equiv} = 0.05 \frac{\text{bar}}{\text{m}} \times 9.65 \text{ m} = 0.44 \text{ bar}$$

✓ Para el tramo 1:

Longitud equivalente $L_{equiv} = 99.17 \text{ m}$

Caudal inicial $Q_i = 250 \text{ gpm}$ equivalente a 946.35 l/m

Diámetro interno $d_{int} = 162.7 \text{ mm}$, de la tabla 4.

Coefficiente $C = 150$ para tubería de HDPE

Reemplazando los datos en la fórmula:

$$\rho = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} * d^{4.87}} \right) = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{946.35^{1.85}}{150^{1.85} \times 162.7^{4.87}} \right) = 0.0003 \text{ bar/m}$$

Calculo de las pérdidas totales en el tramo 1 con el uso de la ecuación (22):

$$P_T = \rho \cdot L_{equiv} = 0.0003 \frac{\text{bar}}{\text{m}} \times 99.17 \text{ m} = 0.03 \text{ bar}$$

✓ Para el tramo 2:

Longitud equivalente $L_{equiv} = 214.63 \text{ m}$

Caudal inicial $Q_i = 250 \text{ gpm}$ equivalente a 946.35 l/m

Diámetro interno $d_{int} = 355.6 \text{ mm}$, de la tabla 4.

Coefficiente $C = 150$ para tubería de HDPE

Reemplazando los datos en la fórmula:

$$\rho = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} * d^{4.87}} \right) = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{946.35^{1.85}}{150^{1.85} \times 355.6^{4.87}} \right) = 6.9 \times 10^{-6} \text{ bar/m}$$

Calculo de las pérdidas totales en el tramo 1 con el uso de la ecuación (22):

$$P_T = \rho \cdot L_{equiv} = 6.9 \times 10^{-6} \frac{\text{bar}}{\text{m}} \times 214.63 \text{ m} = 0.001 \text{ bar}$$

✓ Para el tramo 3:

Longitud equivalente $L_{equiv} = 223.49$ m

Caudal inicial $Q_i = 500$ gpm equivalente a 1892.70 L/m

Diámetro interno $d_{int} = 355.6$ mm, de la tabla 4.

Coefficiente $C = 150$ para tubería de HDPE

Reemplazando los datos en la fórmula:

$$\rho = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} * d^{4.87}} \right) = 6.05 \times 10^5 \left(\frac{1982.70^{1.85}}{150^{1.85} * 355.6^{4.87}} \right) = 2.49 \times 10^{-5} \text{ bar/m}$$

Calculo de las pérdidas totales en el tramo 1 con el uso de la ecuación (22):

$$P_T = \rho \cdot L_{equiv} = 2.49 \times 10^{-5} \frac{\text{bar}}{\text{m}} \times 223.49 \text{ m} = 0.006 \text{ bar}$$

Resumen de pérdidas de carga totales se muestran en la tabla 12 siguiente:

Tabla 12

Resumen de pérdidas de carga en el sistema

tramo	Q (L/m)	Diámetro (mm)	ρ (bar/m)	L_{equiv}	P_T (bar)
Hidrante	946.35	63.5	0.05	7.85	0.44
Tramo 1	946.35	162.7	0.003	99.17	0.03
Tramo 2	946.35	355.6	6.9×10^{-6}	214.63	0.001
Tramo 3	1892.70	355.6	2.49×10^{-5}	223.49	0.006
				pérdida	0.47

La tabla 12 se muestra los tramos y diámetro de las tuberías que forman la ruta desde los hidrantes hasta la cisterna y sistema de bombeo.

Determinación del requerimiento de presión del sistema o presión nominal:

$$P_{nominal} = P_{hidrante \text{ más desfavorable}} + Pérdida = 7 \text{ bar} + 0.47 \text{ bar} = 7.47 \text{ bar}$$

En el anexo A se muestra el cálculo hidráulico considerando la ruta crítica de los hidrantes más desfavorables hidráulicamente ubicados en planta de sulfuros y carga de ripios.

4.1.5. Cálculo de la mayor demanda de caudal

Se realizaron simulaciones con escenarios de incendios en la zona de extracción de solventes.

Dentro del área de extracción de solventes, tenemos los siguientes escenarios de incendio:

- Incendio dentro de estanques (3321-ST-301@305)
- Incendio en mezcladores (3321-TK-330@339)
- Incendio en Tanques de almacenamiento de orgánico (3322-TK-340@341)
- Incendio en Tanques del área de almacenamiento crudo (3324-TK-361@363)
- Incendio en Tanque de diluyente (3352-TK-345)

De los escenarios anteriormente mencionados, el incendio en uno de los estanques vendría a ser el punto más crítico dentro de la planta. Estos serán combatidos mediante la mitigación de incendios (espuma) y el enfriamiento (agua) de las estructuras y equipos afectados por la radiación desencadenada por el incendio.

En la tabla 13 se muestra todos los escenarios de incendios calculados para el área de extracción de solventes.

Tabla 13

Incendio por escenarios

Incendio por escenarios			
Escenario	Enfriamiento (gpm)	Extinción por espuma (gpm)	Total (gpm)
Estanque 3321-ST-301	2775.9	202.2	2977.7
Estanque 3321-ST-302	2683.5	306.3	2986.0
Estanque 3321-ST-303	2601.4	306.2	2907.5
Estanque 3321-ST-304	2593.9	306.2	2899.8
Estanque 3321-ST-305	2398.7	204.0	2602.6
Tanque 3322-TK-340	2290.0	46.4	2336.1
Tanque 3322-TK-341	2519.2	46.4	2565.3
Almacenamiento Crud	2090.7	31.1	2121.7

Fuente: elaboración propia, memoria de cálculo de extracción de solventes

La mayor demanda de caudal en el escenario de incendio que se pudiera dar en el estanque 3321-ST-302, donde se requiere la dotación de 2986.0 gpm.

En la tabla 14 se muestra a detalle los equipos contra incendios considerados para el escenario de mayor demanda.

Tabla 14

Incendio en Estanque 3321-ST-302

Incendio en Estanque 3321-ST-302			
Sistema	Equipo	Caudal (gpm)	Presión (psi)
Enfriamiento	Monitor 1	558.6	124.8
	Monitor 2	562.9	126.7
	Pipe rack zona 1	421.5	44.7
	Pipe rack zona 2	289.6	53.9
	Pipe rack zona 3	289.2	53.8
	Hidrante	561.7	126.3
Extinción por espuma	Estanque 3321-ST-301	78.1	84.1
	Estanque 3321-ST-302	78.1	84.1
	Estanque 3321-ST-303	78.1	84.1
	Mezclador 3321-TK-330@331	24	43.9
	Mezclador 3321-TK-332@333	24	44
	Mezclador 3321-TK-334@335	24	43.9
Total		2986	140.6 (ingreso a SX)

Fuente: elaboración propia, memoria de cálculo de extracción de solventes

En el anexo B se presenta el cálculo de demanda de caudal por cada dispositivo o sistema involucrados en los escenarios de incendios y sus resultados.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados de los cálculos hidráulicos se tiene que nuestro punto de operación del sistema es de 2986 gpm de caudal a 157 psi de presión, sin embargo, el cálculo es en un escenario ideal.

En el proyecto Mina Justa para terminar el cálculo del sistema de bocas hidrantes, red de agua-espuma, red de boquillas aspersoras y rociadores se utilizó el software de modelación Hidráulica - FluidFlow versión 3.43, con el que se pudo determinar los parámetros (presiones, caudales y velocidades) en una situación de operación.

Pero, cabe señalar que los modelos hidráulicos tratan de aproximarse a la realidad, el grado de similitud depende de la capacidad de procesamiento del modelo y de los datos de campo, como las leveaciones de todas las secciones, medidas de caudal y presión. La técnica de simulación aplicada es el de Moody.

En los anexos figuran los resultados del programa de modelización hidráulica.

Se han introducido los siguientes datos en el software de simulación:

- ✓ Presión diferencial para válvulas.
- ✓ Longitudes y diámetros de las tuberías.
- ✓ Elevaciones para cada uno de los accesorios y equipo.
- ✓ Curva característica de la bomba.
- ✓ Tipo de tuberías

5.1. Conclusiones y recomendaciones

El sistema contra incendios por de agua constara de una instalación fija a base tuberías principales de diámetro 14 pulgadas y redes de tuberías secundarias hacia las diferentes áreas, accesorios, sistemas de sujeción y un sistema de bombeo principal.

La dimensión del sistema de bombeo está dada por la mayor dotación de agua que se determina en el caso de incendio del estanque 3321-ST-302, en el cual se requieren los siguientes parámetros mínimos para el correcto funcionamiento:

- Q: 2986.0 gpm
- P: 159.7.0 psi

En base a los parámetros requeridos por el mayor riesgo, se ha considerado una bomba con las siguientes características, sabiendo también además que, esta bomba puede trabajar hasta un 150% de su capacidad nominal:

- Q: 3000 gpm
- P: 160 psi

El volumen de reserva de agua para uso exclusivo del servicio contra incendios se obtuvo a partir de los criterios de la NFPA 13 (2019) que indica en el capítulo 19 la disponibilidad para la duración mínima de descarga, esto es de 120 minutos para el tipo de riesgo extra, por lo tanto, la capacidad mínima de la reserva deberá ser de 360,000 galones o su equivalente de 1400 m³.

El material a utilizar en la tubería principal será de polietileno de alta expansión (HDPE) SDR9 para presiones superiores a 300 psi, las tuberías aéreas o por encima de la superficie será de acero al carbón cedula 40.

Se simularon 13 situaciones de peligro en la planta de Extracción de Solventes, en las cuales se observan el exceso de presión en los sistemas. Para el cumplimiento de las presiones máximas permitidas, se deberán implementar las válvulas de presión reducida mostradas en los anexos del presente documento.

De igual forma, se deberá implementar válvulas angulares restrictoras de presión (seteadas como máximo a una presión de 175 psi) en las salidas de los hidrantes, para el uso de las mangueras contra incendio.

El sistema de extinción de incendio en los estanques del área fue diseñado en base a una protección con espuma de alta expansión.

Cada estanque deberá contar con sistema independiente de espuma (tanque de almacenamiento, válvula de diluvio, válvula reductora de presión, proporcionador de espuma y generador)

El sistema de extinción de los tanques de orgánicos, mezcladores y almacenamiento crudo fue diseñada en base a una protección de baja expansión.

Los sistemas de espuma de baja expansión contarán con un tanque bladder ubicado fuera del área de radiación de la planta. Desde este punto se diseñó la red de tuberías que alimentan a cada foam maker (cámara formadora de espuma).

Los pipes rack serán protegidos mediante sistemas de aspersión (red seca) desde el manifold de enfriamiento, ubicado cercano al tanque bladder.

A demás en el proyecto se consideraron 03 monitores oscilantes, automáticos para el enfriamiento de las estructuras y equipos afectados por la radiación. Estos deberán ser capaz de trabajar con solución de agua espuma para incendios producidos en los diques de los estanques.

Adicional a ellos se deberá instalar 02 monitores manuales para la protección suplementaria del área.

Se diseñó una red de hidrantes (07) para la protección del área. Estos deberán ser instalados acompañados de una caseta de ataque rápido, en la cual se almacenarán los equipos y herramientas utilizadas en el momento del incendio.

Se deberá implementar tubería de acero inoxidable en los sistemas cercanos a los estanques de la planta, esto a razón de los vapores producidos en el área.

Durante la etapa de pre-comisionamiento se realizaron pruebas hidrostáticas y verificación de la instalación para corroborar que estén de acuerdo a los planos aprobados por la autoridad competente.

Durante la etapa de comisionamiento se realizaron pruebas de rendimiento de los sistemas para comprobar que cumplen con los parámetros hidráulicos de acuerdo al diseño.

A demás, se realizaron pruebas de los escenarios de incendios considerados durante la etapa de diseño del proyecto.

Como resultado de las pruebas se realizaron modificaciones a ciertas áreas donde se requería mayor caudal.

Así como se recomendaron instalar válvulas reguladoras de presión para sectorizar áreas con dispositivos con presiones de trabajo máximas, así como dispositivos de descarga que tienen un rango de operación indicados por el fabricante.

6. REFERENCIAS

- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. Mexico: McGraw-Hill.
- CGBVP. (2022). *Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú*. Obtenido de <http://www.bomberosperu.gob.pe>
- Mott, R. (2006). *Mecanica de Fluidos*. Mexico: Pearson.
- NFPA 13. (2019). *Estandar para la instalacion de sistemas de rociadores*. Obtenido de www.nfpa.org
- NFPA 20. (2019). *Norma para la instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios*. Obtenido de www.nfpa.org
- NFPA. (2022). *National Fire Protection Association*. Obtenido de www.nfpa.org
- NFPA 24. (2019). *Norma para la instalación de tuberías para servicio privado de incendios*. Obtenido de www.nfpa.org
- NFPA 25. (2021). *Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua*. Obtenido de www.nfpa.org
- Potter, M., & Wiggert, D. (2002). *Mecanica de Fluidos*. Mexico: Thompson.
- Rocha, A. (1975). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: LIBUNI.
- Saldarriaga, J. (1998). *Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos*. Bogotá: Alfaomega.
- WHITE, F. (2004). *MECANICA DE FLUIDOS*. McGraw-Hill.

7. ANEXOS

**Anexo A: MEMORIA DE CÁLCULO DE LA RED GENERAL DEL SISTEMA
CONTRA INCENDIOS MINA JUSTA**

Anexo B: MEMORIA DE CÁLCULO ESTANQUE 3321-ST-302

Anexo D: PLANO DE LA RED GENERAL