

**DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA LAS REDES DE TUBERÍAS PARA
EL AGUA DE PROCESO, TRATADA, LLUVIA Y DE EMERGENCIA DEL
CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE
DE LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

SANCHEZ PATIÑO JONATHAN GABRIEL

ARIZA OTALORA HAMBRA NICOLE

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO E INGENIERA QUÍMICA**

Director

LUIS ALBERTO FIGUEROA CASALLAS

Codirector

IVAN RAMIREZ MARIN

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA E INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C.

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del presidente jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, Junio de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejia Garzon

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. Jose Luis Macias Rodriguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Director(a) de Ingeniería Mecánica

Ing. Maria Angelica Acosta Perez

Director(a) de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

DEDICATORIA

A Dios por darme las herramientas para superar todas las pruebas que intentaron interponerse en el camino, a mis padres Marco y Maritza por siempre saber lo que era mejor para mí y guíarme a lo largo de todo este tiempo con su sabiduría y esfuerzo, a mis hermanos Sofía, Santiago y aquellos de mi familia que siempre creyeron en mi potencial donde otros no.

A mis amigos, Tatiana, Brayan, Daniel, Cristian, Juanita y Miguel que nunca flaquearon en creer en mis capacidades y ayudarme a mantener mi cabeza en alto cuando no podía hacerlo por mí misma, y que estuvieron guerreando la vida conmigo.

Por último, a Rita y Guillermo, que se fueron antes de verme triunfar y siempre quise que estuvieran orgullosos de mí, a ellos que ahora me cuidan desde el cielo.

Esto no sería posible sin ustedes.

HAMBRA NICOLE ARIZA OTÁLORA

Esta tesis la dedico mi familia, a mi mama Bellalid por el apoyo que me ha brindado desde el dia que naci, por los jalones de oreja y por su gigantesco amor, a mi padre Gabriel que siempre ha sido un amigo para mi y me ha impulsado a seguir adelante para aprender cosas nuevas y explotar mis habilidades, a mi hermana tatiana ingeniera química que es mi amiga y que me ha hecho reír como nadie lo ha hecho jamás y me ha brindado su ayuda a lo largo de la carrera, a mi hermana lorena por ser tan fuerte y darmel la inspiración para resistir, a la china mas hermosa del mundo (Isabella) que me ha brindado tantos momentos de felicidad y me ha molestado para que jugara con ella un rato, que es una de las cosas que más me hace feliz.

Agradezco a mis amigos: a nicolás, a felipe, miguel, a yudy por ser las mejores personas que pude haber encontrado en mi camino y que me ayudaron cada uno a su manera para crecer como persona y como profesional. también agradezco a valentina quien me acompañó en cuantas noches de trasnocho y estrés.

Agradezco a cada uno de los profesores que me he cruzado en la universidad, por exigirme, por enseñarme y formarme en la ingeniería y en la vida. por brindarme inspiración y consuelo. El profe erik, el profe libardo mendoza, el profe libardo, guiza, la profe soto, el profe piñera de taller, a figueroa de química, en este momento se me escapan algunos nombres sin embargo a todos quiero agradecerles por ser mis maestros.

Este espacio es dedicado para todas aquellas personas que siempre estaban allí para nosotros y que a veces pueden pasar desapercibidas, como los y las guardias de seguridad que siempre molestamos al entrar o al ir acuario a preguntar por algun profe, a las bibliotecarias por su ayuda en tiempos de parciales y en el resto del tiempo en biblioteca.

Y, por último pero no menos importante quiero agradecerte a ti Jonathan Gabriel Sanchez Patiño por toda esa fuerza y por nunca perder el ánimo. Gracias.

JONATHAN GABRIEL SANCHEZ PATIÑO

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Universidad de América por brindar su potencial, conocimientos y sabiduría; además por hacernos parte de su comunidad.

A los directivos de CEPPIIS, que nos dieron la mano y decidieron darnos una oportunidad para desarrollar este proyecto, y permitirnos ser parte de tan maravilloso equipo de trabajo para este proyecto tan masivo y que marcará un antes y un después en la historia de la institución.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	18
MARCO CONCEPTUAL	18
1. TUBERÍAS	21
1.1. Tipos de tubería	21
<i>1.1.1. Tuberías Metálicas</i>	21
<i>1.1.2. Tuberías de hierro fundido</i>	21
<i>1.1.3. Tuberías de cobre</i>	22
<i>1.1.4. Tuberías de acero</i>	23
<i>1.1.5. Tuberias no metalicas</i>	24
2. PERDIDAS HIDRAULICAS	27
2.1. Diámetro	27
2.2. Número de reynolds	28
2.3. Pérdidas menores o por accesorios	29
3. BOMBAS	29
3.1. Tipos de bombas	30
<i>3.1.1. Bombas de desplazamiento positivo</i>	30
<i>3.1.2. Bombas de pistón para transmitir potencia por medio de fluidos</i>	31
<i>3.1.3. Bombas de paletas</i>	32
<i>3.1.4. Bombas de tornillo</i>	33
<i>3.1.5. Bombas de cavidad progresiva</i>	35
<i>3.1.6. Bombas de lóbulo</i>	36
<i>3.1.7. Bombas de pistón para transferencia de fluidos</i>	36
<i>3.1.8. Bombas de diafragma</i>	37
<i>3.1.9. Bombas peristálticas</i>	38
<i>3.1.10. Bombas cinéticas</i>	39
<i>3.1.11. Bombas de chorro</i>	41
<i>3.1.12. Bombas sumergibles</i>	39
<i>3.1.13. Bombas centrífugas pequeñas</i>	44
<i>3.1.14. Bombas autocebantes</i>	44
<i>3.1.15. Bombas de columna</i>	45
<i>3.1.16. Bombas centrífugas de molino</i>	45
4. DATOS DE LOS FABRICANTES PARA LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS	47
4.1 Diagrama de desempeño de la bomba	47
4.2. NPSH disponible y requerido	48

4.3 Curva característica del sistema	53
5. HERRAMIENTA PROGRAMADA	56
6. MONTAJE DE REDES DE TUBERÍA	61
6.1 Reglamentación técnica nacional	61
6.2. Especificaciones técnicas hidráulicas	65
6.2.1 Agua de proceso	65
6.2.2 Aguas lluvia	67
6.2.3 Agua de emergencia	71
6.2.4 Agua tratada	72
6.3. Tuberías y accesorios para las líneas de bombeo	73
6.4. Tuberías para líneas de tubería bajo tierra	78
6.5 Válvulas	82
6.6. Puntos de suministro de agua fría	83
6.7. Puntos sanitarios	83
6.8 Contadores de agua	83
6.9 Desinfección del sistema de agua potable	84
6.10. Pruebas	84
6.11. Cajas de inspección	89
6.12. Canales de lamina	89
6.13 Extintores	90
6.14 Tanques plásticos de almacenamiento.	90
6.16 Instrucciones de instalación para tanques	85
6.17 Instalación hidráulica	92
6.18 Duchas y lavaojos	87
6.19 Fluctuación en el rendimiento y operación del sistema de impulsión.	95
6.20 Nomenclatura de tubería.	96
7. CÁLCULO HIDRÁULICO	99
7.1 Agua de proceso	99
7.2 Agua de lluvia	109
7.3 Agua de emergencia	112
7.4 Agua tratada	122
8. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA CEPPIIS	128
8.1 Fórmulas	129
8.2 Parámetros de diseño para una red hidráulica	139
8.3 Cálculo representativo	139
8.4 Información de las líneas	147
8.5 Mantenimiento para los equipos	151
8.6 Análisis what-if de la red hidráulica cepiis	173

9. CONCLUSIONES	180
BIBLIOGRAFÍA	171
ANEXOS	186

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tuberías de hierro fundido	19
Figura 2. Tuberías de acero	20
Figura 3. Accesorios para tuberías de polietileno	22
Figura 4. Clasificación de las bombas de acuerdo a su tipo	26
Figura 5. Imagen y partes de la bomba de engranajes	27
Figura 6. Representación y partes de una bomba de pistón	28
Figura 7. Vista seccional de la bomba de paletas	29
Figura 8. Ilustración y partes del rotor de una bomba de paletas	30
Figura 9. Bombas de cavidad progresiva	31
Figura 10. Funcionamiento de una bomba de lóbulo	32
Figura 11. Bomba de pistón para transferir fluidos	33
Figura 12. Bombas de diafragma con su respectivo diagrama de flujo	34
Figura 13. Diferentes configuraciones de bombas peristálticas	35
Figura 14. Tipos de bombas cinéticas	36
Figura 15. Diagrama de una bomba de chorro	38
Figura 16. Bomba sumergible para el manejo de sólidos	39
Figura 17. Diagrama de una bomba autocebante	40
Figura 18. Diagrama de una bomba de columna	41
Figura 19. Diagrama de una bomba centrífuga de molino	42
Figura 20. Diagrama de calificación compuesta para una línea de bombas centrífugas	43
Figura 21. Diagrama de desempeño completo para una bomba centrífuga de 2×3.10 a 3500 rpm	44
Figura 22. Diagrama de instalación de una bomba en aspiración	45
Figura 23. Diagrama de instalación de una bomba en carga	46
Figura 24. Curva característica del NPSH requerido para una bomba	48
Figura 25. Diagrama del punto de operación de una bomba en un sistema de flujo	50
Figura 26. Código QR para la descarga del material excel	51
Figura 27. Pantalla inicial de la herramienta programada en excel	52
Figura 28. Ilustración del cálculo de propiedades en la herramienta programada	53
Figura 29. Selección de tubería para cada servicio en la herramienta programada	54
Figura 30. Calculo de perdidas en tubería por medio de la herramienta programada	55
Figura 31. Codigo de color para la utilizacion de la herramienta programada	55
Figura 32. Mapa de la distribución espacial de la precipitación en Bogotá	64
Figura 33. Curva Intensidad duración frecuencia determinadas para la ciudad de Bogotá D.C	65
Figura 34. Esquema de instalación hidráulica para un tanque de almacenamiento.	86
Figura 35. Aplicación de colores de seguridad y colores del código de indicaciones	90

Figura 36. Identificación de tubería según su color, basados en la norma NTC 3458	91
Figura 37. Red de agua de proceso del CEPIIS	92
Figura 38. Selección del calibre para la tubería de agua de proceso por medio de la herramienta de cálculo	93
Figura 39. Propiedades del agua para la red de agua de proceso por medio de la herramienta de cálculo	94
Figura 40. Pérdidas de energía producida por la tubería y por los accesorios para la red de agua de proceso por medio de la herramienta de cálculo programada	95
Figura 41. Diagrama para la selección de bombas para la red de agua de proceso	96
Figura 42. Diagrama de calificación compuesta para una línea de electrobombas centrífugas del catálogo general de la empresa pedrollo	98
Figura 43. Curva característica de la altura manométrica de la electrobomba centrífuga de 3450 rpm del catálogo general de la empresa Pedrollo	100
Figura 44. Curva característica de potencia de la electrobomba centrífuga de 3450 rpm del catálogo general de la empresa Pedrollo	101
Figura 45. Curva característica de potencia absorbida de la electrobomba centrífuga de 3450 rpm del catálogo general de la empresa Pedrollo	102
Figura 46. Plano de Distribución de unidades de proceso en el segundo nivel de la planta	103
Figura 47. Plano de Distribución de unidades de proceso en el primer nivel de la planta	103
Figura 48. Selección del calibre para la tubería de agua de lluvia por medio de la herramienta de cálculo	105
Figura 49. Red de agua de emergencia del CEPIIS.	105
Figura 50. Selección del calibre para la tubería de agua de emergencia por medio de la herramienta de cálculo	107
Figura 51. Pérdidas de energía producida por la tubería y por los accesorios para la red de agua de emergencia por medio de la herramienta de cálculo	108
Figura 52. Diagrama para la selección de bombas para la red de agua de emergencia	109
Figura 53. Diagrama de calificación compuesta para las bombas centrífugas normalizadas del catálogo VOGT	110
Figura 54. Curva característica de la bomba centrífuga modelo 690 del catálogo VOGT para diferentes diámetros de impulsor.	112
Figura 55. Curva característica de potencia de la bomba centrífuga modelo 690 del catálogo VOGT	113
Figura 56. Curva característica de NPSH de la bomba centrífuga modelo 690 del catálogo VOGT	113
Figura 57. Diagrama de una planta Compacta de tratamiento de aguas residuales	115
Figura 58. Selección del calibre para la tubería tratada por medio de la herramienta de cálculo	116

Figura 59. Pérdidas de energía producida por la tubería y por los accesorios para la red de agua tratada por medio de la herramienta de cálculo	116
Figura 60. Diagrama de desempeño completo para una electrobomba sumergible multicelular a 3450 rpm y 60 Hz	118
Figura 61. Vista trasera del cuarto de bombas y almacenamiento de reactivos	136
Figura 62. Vista delantera del cuarto de bombas	137
Figura 63. Vista de perfil del cuarto de bombas. Izquierda: Cuarto de bombas, derecha: almacenamiento de reactivos.	137
Figura 64. Vista desde el cuarto de bombas hacia la planta CEPIIS	138
Figura 65. Vista superior-lateral de la planta CEPIIS	138
Figura 66. Vista inferior-interna de la planta CEPIIS	139
Figura 67. Vista esquemática de una bomba centrífuga	141
Figura 68. Configuración del anillo de retención	142

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Normativa técnica nacional	56
Tabla 2. Requerimientos del agua de proceso	62
Tabla 3. Registro de la intensidad de lluvia respecto a la tasa de retorno y la duración	66
Tabla 4. Dimensiones para el tamaño de la PTAR	67
Tabla 5. Capacidad de almacenamiento para el agua tratada por la PTAR	67
Tabla 6. Tramos de tubería para agua de proceso	69
Tabla 7. Tramos de tubería para agua de emergencia	69
Tabla 8. Tramos de tubería para agua tratada	70
Tabla 9. Tramos de tubería para aguas lluvias	70
Tabla 10. Accesorios para la red de agua de proceso	71
Tabla 11. Accesorios para la red de agua de emergencia	71
Tabla 12. Accesorios para la red de agua tratada	72
Tabla 13. Accesorios para la red de agua lluvia	72
Tabla 14. Anchos de zanja para tubería según normativa nacional	74
Tabla 15. Distancias de zanja dependiendo las redes que cruzan en la distribución de tubería	75
Tabla 16. Capacidades comerciales para tanques de polietileno	83
Tabla 17. Cantidades máximas por arrume	84
Tabla 18. Nomenclatura de tubería según el servicio en las edificaciones	89
Tabla 19. Definición de resultados para la curva del sistema de la red de agua de proceso	99
Tabla 20. Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h [bajantes lluvia]	104
Tabla 21. Especificaciones Hidráulicas para duchas y lavaojos de emergencia	106
Tabla 22. Definición de resultados para la curva del sistema de la red de agua de emergencia	111
Tabla 23. Definición de resultados para la curva del sistema de la red de agua tratada	117
Tabla 24. Unidades de operación para el cálculo	120
Tabla 25. Constantes L/D para cada accesorio	126
Tabla 26. Rugosidad para cada material	128
Tabla 27. Tabla de longitud de tramos de tubería para la red de agua tratada del CEPIIS	131
Tabla 28. Tabla de accesorios para la red de agua tratada del CEPIIS	131
Tabla 29. Tabla de propiedades del agua (Densidad, Calor específico, Conductividad térmica, Viscosidad dinámica y Viscosidad cinemática).	132
Tabla 30. Tabla iterativa para el cálculo del factor de fricción	134
Tabla 31. Lista de piezas para la figura 64	143
Tabla 32. Materiales de construcción para la bomba centrífuga	145
Tabla 33. Plan de mantenimiento para las bombas	146

Tabla 34. Plan de mantenimiento correctivo según la falla	150
Tabla 35. Matriz de calificación de riesgos	162
Tabla 36. Análisis What-if de la red hidráulica CEPIIS	163

RESUMEN

La planta de Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS) comprende un edificio enfocado a la investigación científica, desarrollado por la Universidad de América con el objetivo específico de ofrecer a los estudiantes las herramientas tecnológicas necesarias para desarrollar habilidades de aprendizaje y un acercamiento a la aplicación de los conocimientos adquiridos. Dentro de este documento se evidencia una revisión exhaustiva de la normatividad para las redes de tubería en Colombia con la que se definen los requerimientos específicos de cada red. Se determinaron los diámetros para cada una de las redes y se escogió su respectiva equivalencia comercial, seguidamente se hizo el cálculo de las pérdidas de carga por superficie y por accesorios con las que se seleccionaron las respectivas bombas; para esto se realizó la curva del sistema para cada una de las redes, las cuales fueron comparadas con las curvas características de las bombas para establecer su punto de operación.

A Partir de los cálculos realizados se realizó un manual guía el cual permitirá a la comunidad de la Universidad de América hacer una revisión sobre cómo se construye una red hidráulica, bajo qué principios, leyes, fórmulas, teoría y demás conceptos; se realiza también el paso a paso y la explicación de las decisiones tomadas. El propósito es dar a conocer a CEPIIS como un gran componente, que, a cada subprocesso de este, se le pueda aprovechar, para nutrir el conocimiento y verificar cómo se desarrolla la ingeniería en el campo.

Palabras clave: Red hidráulica, CEPIIS, sostenibilidad, planta piloto, bombas centrífugas, pérdidas de carga, agua de proceso, agua tratada, agua lluvia, agua de emergencia, curva del sistema, punto de operación.

INTRODUCCIÓN

Este documento de proyecto de grado consigna 3 divisiones o títulos, enmarcando el desarrollo y solución de cumplir 3 objetivos específicos y el objetivo general que se presenta en el ítem posteriormente. Estos se encuentran en el documento de la siguiente manera: Montaje de redes de tubería, Cálculos Hidráulicos y Manual de operación y Mantenimiento para la planta CEPIIS.

Para esto en el primer título (Montaje de redes de tubería), se realizan una serie de pasos y recolección de información bibliográfica las cuales serán de apoyo para sustentar las decisiones de diseño realizadas en la red hidráulica, donde se realice la validación o soporte mediante la aplicación de normativas ANSI, ISEA, y NTC principalmente donde se especifican mediante 19 sub ítems cada uno de los factores y valores de revisión necesarios para construir una red hidráulica.

En el segundo título (Cálculo hidráulico), se determina cada uno de los valores correspondientes a la selección de tubería enmarcando cada detalle correspondiente como el diámetro, material, pérdidas, accesorios, bomba por cada red, y la aplicación de los conceptos de mecánica de fluidos para el diseño hidráulico, todo esto comprendido en 3 sub ítems, uno para las redes de proceso, lluvia y de emergencia, con excepción de la tratada, debido a que esta retorna a la planta con las mismas características de la red de proceso, haciendo uso de catálogos comerciales y una herramienta programada proveída por la planta CEPIIS para favorecer la coherencia de los cálculos y dar relevancia a los proyectos de investigación realizados por los estudiantes de la Fundación Universidad de América.

Para finalizar, en el tercer título (Manual de operación y mantenimiento para la planta CEPIIS) realiza una corta demostración de cómo se realiza un diseño hidráulico y mantenimiento para una planta, en este caso, CEPIIS, este manual es de tipo principalmente académico, que se busca quede disponible para los estudiantes y operarios de la planta, mediante una muestra de cálculo para una de las redes, y los mantenimientos necesarios para los equipos que contiene la planta, todos estos mantenimientos basados en la falla.

Este proyecto a pesar que es teórico, basa todas sus decisiones de diseño sobre información recolectada de proyectos oficiales y diseños aplicados en industrias, hospitales y diversas aplicaciones con la particularidad que esta red busca un enfoque sostenible, es decir, aguas abajo de la línea de distribución se busca tratar las aguas residuales para convertirlas en agua de proceso y recircularlas a la planta como agua de alimentación, reduciendo así el gasto o consumo de agua de alcantarillado y el aporte a las aguas residuales de la ciudad de Bogotá.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar el sistema hidráulico para las redes de tuberías para agua de proceso, tratada, lluvia y de emergencia del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible de la Fundación Universidad de América.

Objetivos específicos

1. Determinar los requerimientos y capacidades de los equipos para la proyección del suministro de agua en CEPIIS.
2. Realizar el cálculo hidráulico en la tubería de la planta CEPIIS de acuerdo al tipo de agua (proceso, lluvia, potable, etc), aplicada directamente hacia la proyección técnica y comercial del proyecto.
3. Crear un manual guía con los planos de distribución de redes a partir de los cálculos hidráulicos, que contenga la infraestructura propuesta para la aplicación en el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible de la Fundación Universidad de América.

MARCO CONCEPTUAL

Las tuberías son una sucesión de tubos y/o piezas especiales o accesorios cuya función principal es la de permitir el transporte de fluidos como: gases, agua potable, vapor, aguas grises, aguas residuales, residuos químicos o mezclas de algunos de estos. siguiendo normas estandarizadas y cuya selección se debe realizar de acuerdo a las necesidades de trabajo a realizar.

Las tuberías deben ser seleccionadas de acuerdo a criterios específicos entre los cuales se encuentran; el tipo de fluido de trabajo, la presión interna de la tubería, la funcionalidad, la capacidad hidráulica, el tamaño, los costos entre otros. Por lo que es preciso definir el tipo de tuberías que hay y sus características.

1. TUBERÍAS

1.1. Tipos de tubería

Existen varios tipos de materiales que se utilizan para la construcción de tuberías los cuales les atribuyen una serie de propiedades y características específicas para sus diferentes usos en la industria. Sin embargo, se puede reducir en dos grupos; tuberías metálicas y no metálicas.

1.1.1. Tuberías Metálicas

Existen varios tipos de tuberías metálicas en el mercado diseñadas para trabajos e instalaciones específicas. Dentro de los diferentes materiales de los que se constituyen este tipo de tuberías podemos encontrar: Hierro fundido, acero y cobre.

1.1.2. Tuberías de hierro fundido

Las tuberías de hierro fundido son ampliamente utilizadas en los sistemas de aguas residuales, por lo que las podemos encontrar en instalaciones residenciales sin embargo estas también pueden estar presentes en estaciones de bombeo y colectores de alcantarillado. Este tipo de tubería cuenta con unas características que la hacen especialmente resistente a la abrasión, por arena, grava, disposición de residuos de basura, descarga de lavavajillas y desechos en suspensión arrastrados a lo largo de la parte inferior de la tubería, además de contar con una larga vida útil.

Una de las desventajas más importantes con las que cuentan las tuberías de hierro fundido es la corrosión interna y externa, para lo que se utilizan recubrimientos en vinilos o resinas epóxicas.

Este tipo de tubería en hierro fundido cuenta con una serie de accesorios básicos para su implementación, los cuales son hechos del mismo material y son los siguientes: tees, codos, cruces, reductores, juntas flexibles, adaptadores de brida y abrazaderas. Este tipo de accesorios viene para una serie normalizada de diámetros de tubería los cuales van de 100 a 1000 mm con pesos que van desde los 18 kilogramos hasta los 300 kilogramos aproximadamente y una longitud estándar de 6 metros [1]

Figura 1

Tuberías de hierro fundido



Nota: Ejemplar de un lote de tuberías de hierro dúctil ISO/EN 2531. Tomado de: M. Ductile and E. Unidos, “Tubería de hierro dúctil,” 2009. [Online]. Available: <https://www.mcwaneinternational.com/upl/downloads/catalog/products/iso-en-tuber-a-de-hierro-d-ctil-651dfd91.pdf>.

1.1.3. Tuberías de cobre

Las tuberías de cobre son normalmente usadas en edificios o viviendas particulares, puesto que cuentan con propiedades de resistencia a la corrosión y altas temperaturas, sin embargo, además de su alta durabilidad su costo también es alto al menos si se le compara con las tuberías de plástico. Los tamaños más habituales de las tuberías de cobre son M, L y K, que hacen referencia a los tamaños pequeño, mediano y grande respectivamente.

1.1.3.i. Tubería de cobre tipo K. Las tuberías tipo K son utilizadas para la conducción de fluidos a altas presiones puesto que al ser de un material fuerte, ligero, resistente a la corrosión y tener un espesor de pared mayor a los demás tipos de tuberías de esta clase cuenta con una mayor resistencia a las presiones internas de trabajo [2].

1.1.3.ii. Tubería de cobre tipo L. Las tuberías de cobre tipo L son el tipo más común de tuberías de cobre y al igual que las tipo K son ligeras, resistentes a la corrosión y cuentan con una alta resistencia a presiones internas de trabajo. Estas tuberías son más gruesas que las de tipo M y se utilizan en aplicaciones de gasfitería para interiores, para la protección contra incendios y sistemas HVAC en algunos casos [2].

1.1.3.iii. Tubería de cobre tipo M. La Tubería de Cobre Tipo M es más delgada que las paredes tipo K y L. Este tipo de tubería se utiliza con accesorios de compresión y también se puede adquirir en versiones flexibles y rígidas. Se utiliza para el servicio doméstico de agua y sistemas de vacío; su popularidad radica en su precio y a la manera efectiva de distribuir agua dentro del hogar [2].

Este tipo de tubería en cobre cuenta con una serie de accesorios básicos para cada uno de sus tres tamaños de aplicación K, L y M como los son: los codos, cruces, tees, entronques, enlaces, tapones, racores y abrazaderas entre otros. Este tipo de accesorios vienen normalizados para diámetros de tubería los cuales van de 3/8" a 2" para la tubería tipo K, de 1/4" a 4" para el tipo M y L con presiones máximas de 2000 a 9000 PSI aproximadamente. [1]

1.1.4. Tuberías de acero

Las tuberías de acero son utilizadas ampliamente en la industria y en el entorno doméstico, su uso común se concentra en el transporte de agua, aceites, vapores, combustibles y gases. Este tipo de tubería dispone de gran dureza aún a altas temperaturas además de soportar presiones altas y contar con una alta resistencia a los impactos; también es usada para el transporte de petróleo y ácidos que requieren materiales resistentes a la corrosión.

Los principales accesorios disponibles para este tipo de tuberías son principalmente: codos de 90 ° y 45 °, tees, casquetes, bujes, tees de reducción y collarines. Y vienen para diámetros normalizados desde 1/2" hasta 4" con un espesor de pared de 1,65 mm hasta 2" y de 2,11 mm para diámetros mayores. [1]

Figura 2.

Tuberías de acero



Nota: Ejemplar de un lote de tubería de acero. Tomado de: D. A. P. V. Zully Mindreth Ruiz Garzón Y M. A. C. Polania, “Diseño De Sistema Para El Aprovechamiento De Agua Lluvia Y Ahorro De Agua Potable En El Colegio La Nueva Esperanza Del Municipio De La Calera – Cundinamarca”, Universidad la Gran Colombia, 2018.

1.1.5. Tuberias no metalicas

Esta clase de tuberías no metálicas presenta una alternativa más ligera, flexible y versátil a las tuberías metálicas, además de contar con diferentes propiedades que las hacen resistentes a los ataques químicos. Sin embargo, existen gran variedad de materiales para este tipo de tubería cada una con características específicas para una gran diversidad de aplicaciones. [4]

1.1.5.i. *Tuberías de pvc.* Las tuberías en PVC o policloruro de vinilo son las tuberías más comunes dentro de las tuberías plásticas, sus aplicaciones principales son la evacuación de agua ya sea en sistemas de saneamiento o en sistemas bajas o nulas presiones (aguas grises). Este material cuenta con una alta resistencia al contacto químico y la corrosión interna y externa, también es característico por tener un factor de conductividad térmica bajo por lo que funciona parcialmente como aislante, sin embargo, este tipo de tubería no está recomendada para flujos a altas temperaturas puesto que la tubería se podría dilatar o fundir [5]. No obstante, existen tuberías de materiales derivados del PVC como el CPVC (policloruro de vinilo clorado) en donde su mayor ventaja se encuentra en que estas si pueden soportar altas temperaturas y como su diámetro externo se asemeja al de las tuberías de cobre; el CPVC es viable para más usos que el PVC. [6]

Este tipo de tuberías cuenta con una serie de accesorios del mismo material los cuales al acoplarse se pueden pegar o unir con anillos de goma, los accesorios más comunes son: yee

dobles reducida, sifón de 180°, codos de 90°, 45° y 22.5°, tee sanitaria, tee doble, tee reducida, doble tee reducida, yee sanitaria, yee doble, yee reducida entre otros. Esto de acuerdo a una serie de diámetros comerciales que vienen de un tamaño nominal de 1/8" hasta 80". [1]

1.1.5.ii. Tubería de polietileno de alta densidad (pe). El polietileno (PE) es el segundo tipo de plástico más usado en tuberías. Una de sus características principales es su alta flexibilidad en comparación al PVC; sus aplicaciones principales constan de sistemas de riego, canalizaciones industriales, abastecimientos de agua, desagües de aguas residuales, entre otros. Las tuberías de polietileno cuentan con algunas ventajas frente a las fabricadas con otros materiales, por ejemplo: son Inertes, Inodoras, atoxicas, Inalterables, Resistentes. [4]

Una muestra de los accesorios con los que cuenta este tipo de tuberías se evidencia en la figura 3 donde podemos encontrar desde accesorios de desviación como accesorios de unión, todos estos para una serie normalizada de diámetros de tubería que van desde 32 mm a 630 mm para una presión de 1 Mpa y de 20 mm a 630 mm para una presión de 1.6 Mpa. [1]

Figura 3.

Accesorios para tubería en polietileno



Nota: Muestra de los diferentes tipos de accesorios disponibles en polietileno. Tomado de: "Accesorios Polietileno - Rivas Almacenes Noroeste". Materiales para la construcción y la decoración - Rivas Almacenes Noroeste. <http://www.almacenesnoroeste.es/catalogo/Catalog/show/accesorios-polietileno-329389> (accedido el 13 de junio de 2022).

1.1.5.iii. Tuberías de abs. Las tuberías de ABS hacen referencia al material acrilonitrilo butadieno estireno, un tipo de plástico más duro que el PVC y el polietileno utilizado en sistemas de alcantarillado. Comercialmente las medidas en las que viene la tubería ABS están estandarizadas del mismo modo que las tuberías de PVC. [4]

Para realizar la implementación de accesorios o acoplamientos se utilizan los accesorios del mismo material plástico ABS y se debe además sellar con cemento para asegurar el completo cierre hermético.

2. PERDIDAS HIDRAULICAS

En el comportamiento de un fluido en particular las pérdidas de energía, se deben o dependen a las propiedades del fluido de trabajo y de la tubería por la que este fluye. Para realizar el cálculo de las pérdidas de energía que el fluido disipa a través de su recorrido por el tubo, se recurrirá a la utilización de la ecuación de Darcy y Weisbach. [8]

En donde cada una de sus variables se define de la siguiente manera:

Ecuación 1.

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

- Hf = Pérdida de energía por superficie (Pa, m)
- f = Factor de fricción (adimensional)
- L = Longitud de la tubería (m)
- D = Diámetro interior del tubo (m)
- v = Velocidad promedio del flujo (m/s)

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento, la diferencia entre los dos flujos está en la evaluación del factor de fricción adimensional f . [8]

2.1. Diámetro

El diámetro en tuberías es un factor determinante puesto que está relacionado al área transversal por donde va a transitar el fluido. Este factor junto con la velocidad del mismo determinará cuál va a ser el volumen de fluido que pase por la tubería en un periodo de tiempo, esto se evidencia en la siguiente ecuación.

Ecuación 2

$$Q = v * A$$

Expresada en términos del Diámetro como:

Ecuación 3

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

En donde:

- Q = Caudal
- v = Velocidad del fluido
- D = Diámetro interno de tubería

2.2. Número de reynolds

El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa. Para la caracterización de el número de Reynolds encontramos si este se encuentra por debajo del valor de 2000 el flujo será laminar y si el número de Reynolds toma valores mayores a 4000 el flujo será turbulento, sin embargo, si el número de Reynolds se encuentra entre valores de 2000 a 4000 se le denominará que está en la región crítica o también se le conoce como zona de transición [8].

El número de Reynolds se calcula por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 4

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu}$$

En donde:

- Re = Numero de Reynols (Adimensional)
- ρ = Densidad (Kg/m^3)
- V = Velocidad media (m/s)
- D = Diámetro interior (m)
- μ = Viscosidad Cinemática (Pa-s)

Si tenemos un número de Reynolds menor a 2000 el flujo es laminar y el cálculo del factor de fricción f se realiza de la siguiente manera [8]:

$$Re < 2000 - Flujo Laminar$$

Ecuación 5

$$f = 64/Re$$

Por el contrario, si tenemos un número de Reynolds mayor a 4000 el flujo es turbulento y el cálculo del factor de fricción f se realiza con la ecuación de Colebrook – White [8]:

$$Re > 2000 - Turbulento$$

Ecuación 6

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{Ks}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

En donde:

- Ks = Rugosidad absoluta de la tubería (m)
- f = Factor de fricción (adimensional)
- D = Diámetro interior (m)
- Re = Numero de Reynolds (adimensional)

2.3. Pérdidas menores o por accesorios

El cálculo de las pérdidas de energías por la ecuación de Darcy y Weisbach se ve efectuado por los distintos accesorios que componen el sistema, se les denominan pérdidas menores y se ven reflejadas por accesorios como: codos, tes, derivaciones, reducciones, válvulas, entre otros. Dichas pérdidas de energías se calculan con la siguiente ecuación [8]:

Ecuación 7.

$$Hm = Km * \frac{V^2}{2g}$$

En donde:

- Hm = Pérdidas energía por accesorios (Pa, m)
- V = Velocidad media (m/s).
- Km = Coeficientes de pérdidas menores para cada accesorio (adimensional).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

3. BOMBAS

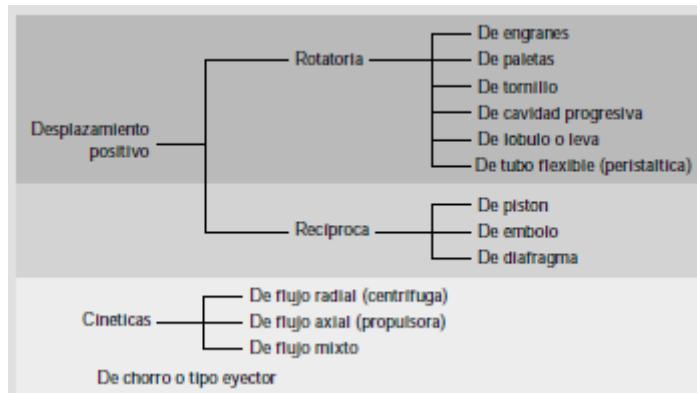
3.1. Tipos de bombas

Generalmente se clasifican como de desplazamiento positivo o bombas cinéticas. Las bombas de desplazamiento positivo entregan un volumen determinado del fluido en cuestión por cada revolución del eje de la bomba o por cada ciclo de movimiento de los elementos de bombeo activos. Con frecuencia, producen presiones muy altas con caudales moderados. Las bombas cinéticas operan mediante la transferencia de energía cinética de un elemento giratorio que se llama impulsor hasta un fluido mientras este se desplaza hacia y a través de la bomba. Después, una parte de esta energía se convierte en energía de presión del tipo estática y dinámica. [9]

La clasificación se da de la siguiente manera.

Figura 4.

Clasificación de las bombas de acuerdo a su tipo



Nota: Árboles de clasificación de bombas cinéticas y de desplazamiento positivo de acuerdo a su mecanismo de funcionamiento. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. Ed., 1a. Reimp.). México: Pearson Educación.

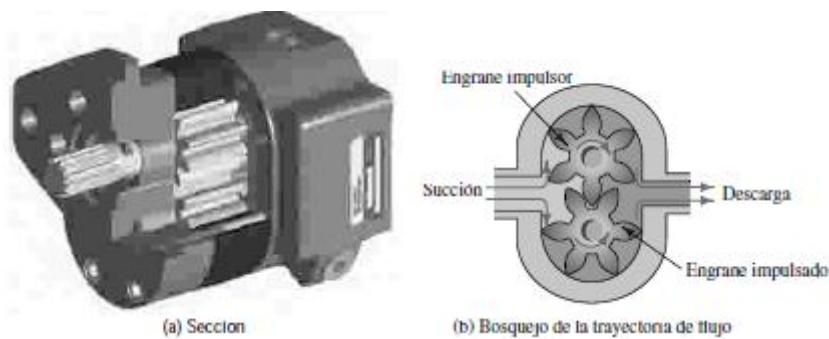
3.1.1. Bombas de desplazamiento positivo

Estas bombas, entregan una cantidad fija de fluido por cada revolución del rotor de la bomba eje o impulsor. La capacidad se afecta por cambios de presión debido a desplazamientos menores, los cuales son causados por espacios existentes entre la carcasa y el rotor, los pistones, las paletas u otros elementos, la mayoría pueden manejar líquidos que tienen un amplio rango de viscosidades y pueden entregar fluidos a altas presiones. [9]

3.1.1.i. Bombas de engranajes. Esta se utiliza para transmitir potencia por medio de fluidos y para el suministro de lubricantes a componentes específicos de maquinaria que sufren fricción durante el funcionamiento. Esta se encuentra compuesta por dos engranes que se ajustan en rotación contraria dentro de la armadura. La periferia exterior de los dientes de engranaje encaja estrechamente con la superficie interior de la armadura. El fluido se succiona desde el depósito de suministro localizado en el puerto de succión y se conduce a través de los espacios existentes entre los dientes hasta el puerto de descarga, donde se suministra a alta presión al sistema. La presión de entrega depende de la resistencia del sistema. [9]

Figura 5

Imagen y partes de Bomba de Engranajes



Nota: Descripción gráfica del mecanismo interno de una bomba de engranajes. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

Las ventajas de las bombas de engranajes incluyen baja pulsación del flujo, una buena capacidad para el manejo de fluidos de alta viscosidad y pueden funcionar en cualquier dirección, los factores limitantes incluyen la capacidad de funcionar solo a presiones moderadas y que no se recomiendan para el manejo de fluidos que contengan sólidos. [9]

3.1.2. Bombas de pistón para transmitir potencia por medio de fluidos

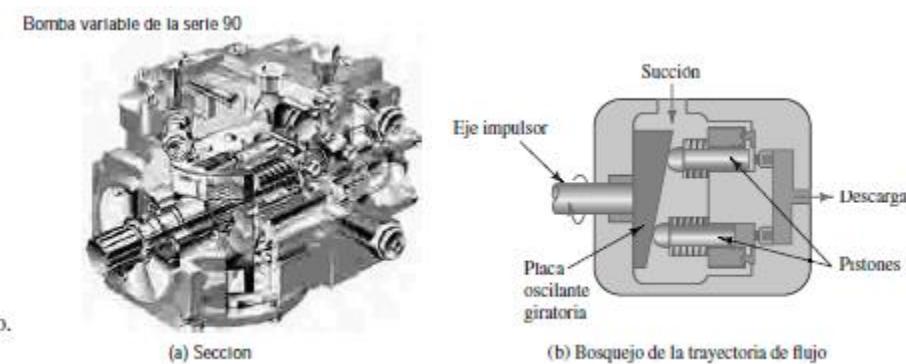
Esta bomba utiliza una placa oscilante de rotación que actúa como leva para reciprocar los pistones. Los pistones atraen el líquido de manera alternada hacia sus cilindros a través de las válvulas de succión y después lo envían hacia las válvulas de descarga contra la presión del sistema. El suministro puede variar desde cero hasta un máximo al cambiar el ángulo de la placa oscilante, y, por lo tanto, mediante el cambio de la carrera de los pistones. La variación

en la rapidez rotacional de la bomba se puede usar para cambiar la rapidez de flujo volumétrico. Su capacidad de presión llega hasta 5000 psi.

En esta se producen altas presiones a caudales moderando, las desventajas pueden ser que las pulsaciones de presión del flujo de salida, ya que solo son capaces de manejar fluidos con baja viscosidad, y el desgaste potencialmente alto de las piezas móviles. [9]

Figura 6

Representación y partes de una bomba de pistón



Nota: Descripción gráfica del mecanismo interno de una bomba de pistones. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

3.1.3. Bombas de paletas

Esta bomba, también usada para la transmisión de potencia por medio de fluidos, consiste en un rotor excéntrico que contiene un conjunto de paletas deslizantes montadas en una armadura. En esta, un anillo de leva controla la posición radial de las paletas. El fluido entra en el puerto de succión ubicado a la izquierda, queda retenido entonces en un espacio existente entre dos paletas sucesivas y, así, es conducido al puerto de descarga el cual es el lugar o área de máxima presión en la bomba donde se entrega el fluido al sistema incrementando la presión total. Luego, las paletas se retraen dentro de sus ranuras en el rotor mientras regresan a la entrada, o al lado de succión, de la bomba. Las bombas de paletas con desplazamiento variable pueden entregar un caudal de cero a un máximo al variar la posición del rotor con respecto al anillo de leva y la armadura. El ajuste de la entrega variable puede accionarse en forma eléctrica, manual, hidráulica o neumática para adaptar el rendimiento de la unidad de potencia hidráulica a las necesidades del sistema que está siendo impulsado. La rapidez rotacional se puede variar para

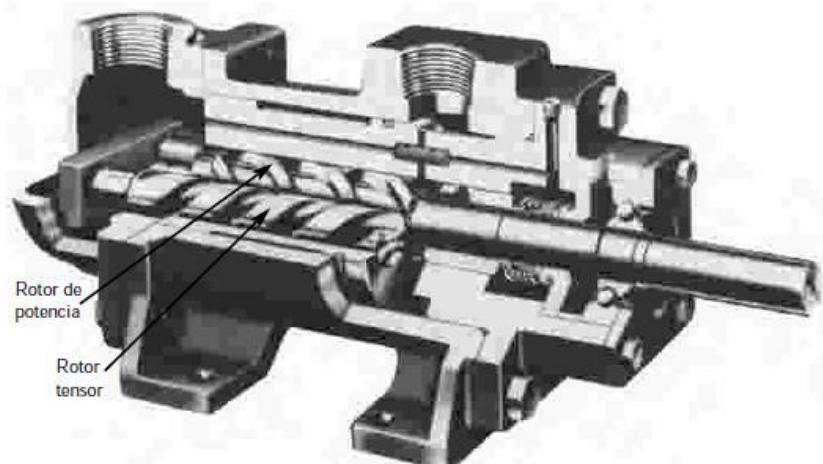
afectar directamente el caudal suministrado. Las capacidades de presión típicas van de 2000 a 4000 psi. [9]

3.1.4. Bombas de tornillo

Una desventaja de las bombas de engranes, pistones y paletas es que entregan un flujo pulsante a la salida porque cada elemento funcional mueve una porción volumétrica bien definida, es decir, el volumen de fluido captado y retenido por cada elemento es descargado al sistema en forma secuencial y sucesiva, desde la succión hasta la descarga. Las bombas de tornillo no tienen problemas de flujo pulsante. La estructura y partes son iguales a las figuras 7 y 8 donde se muestra que el rotor de alimentación central tipo roscado se ajusta de manera estrecha a los dos rotores tensores, creando un recinto en el interior de la armadura que se mueve axialmente desde la succión hasta la descarga, proporcionando un flujo continuo y uniforme. A este estilo se le denomina bomba de tornillo múltiple sin tiempo. Una bomba de tornillo múltiple con tiempo emplea engranajes de sincronización precisa para mantener una ubicación exacta que resulta en un contacto nulo con la armadura. De forma nominal, las bombas de tornillo funcionan hasta 3000 psi, se pueden operar a gran velocidad y funciona más silenciosamente que la mayoría de los otros tipos de bombas hidráulicas. Otras ventajas de las bombas de tornillo son: alta capacidad de presión, operación silenciosa, aptitud para manejar un amplio rango de viscosidades y la disponibilidad de muchos materiales diferentes para asegurar la compatibilidad con los fluidos. Por lo general, no se utilizan para fluidos que contienen abrasivos o sólidos. [9]

Figura 7.

Vista seccional de la bomba de tornillo.

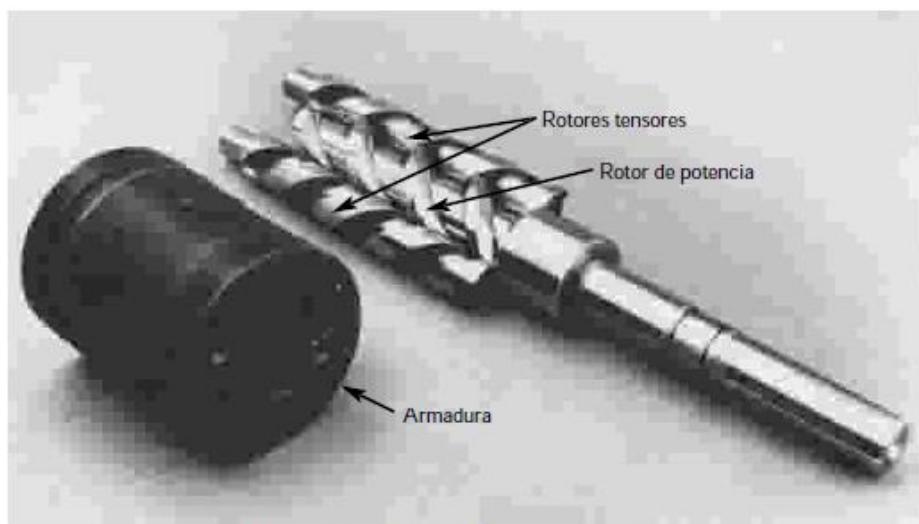


(a) Vista seccional del ensamble de la bomba

Nota: Descripción gráfica de la vista seccional del mecanismo interno de una bomba de tornillo. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimpr.). México: Pearson Educación.

Figura 8.

Ilustración y partes del rotor de una bomba de paletas



(b) Rotor de potencia, rotores tensores y armadura

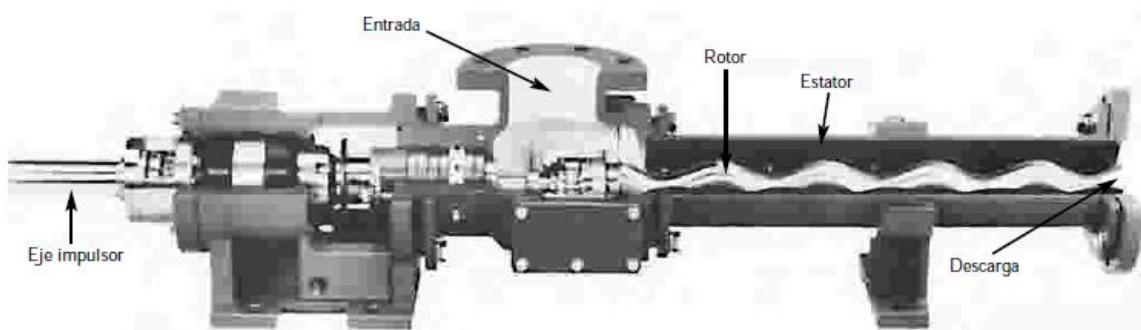
Nota: Rotores internos del mecanismo principal de las bombas de tornillo. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimpr.). México: Pearson Educación.

3.1.5. Bombas de cavidad progresiva

Este tipo de bomba, produce un flujo suave, no pulsante y se utiliza sobre todo para entrega de fluidos de proceso y no aplicaciones hidráulicas. A medida que el largo rotor central gira dentro del estator, se forman cavidades que avanzan hacia el extremo de descarga de la bomba, la cual conduce el material que se está manejando. Por lo general, el rotor está hecho de acero recubierto con pesadas capas de cromo duro para aumentar la resistencia a la abrasión. En mayor parte de las aplicaciones, los estatores están hechos de caucho natural o de cualquiera de los diferentes tipos y formulaciones de caucho sintético. Existe cierto ajuste por compresión entre el rotor metálico y el estator de caucho para reducir el deslizamiento y mejorar la eficiencia. El caudal que puede suministrar depende de las dimensiones de la combinación rotor/estator y es proporcional a la velocidad de rotación. Las capacidades de flujo volumétrico llegan hasta 1860 gal/mil y la capacidad de presión llega a ser de 900 psi. [9]

Figura 9.

Bombas de cavidad progresiva.



Nota: Descripción gráfica de la vista seccional del mecanismo interno de una bomba progresiva. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

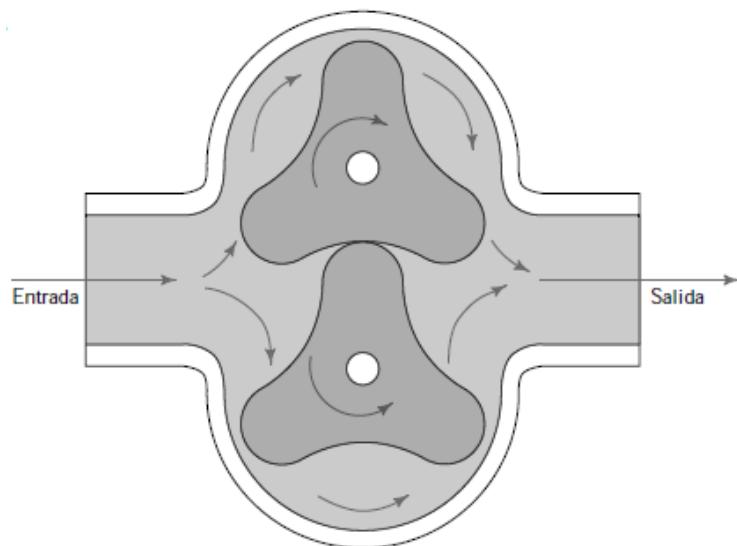
Esta bomba puede manejar una alta variedad de fluidos, incluyendo agua limpia, lodos con contenido de sólidos pesados, líquidos altamente viscosos como adhesivos y lechada de cemento, fluidos abrasivos como suspensiones de carburo de silicio o piedra caliza molida, productos farmacéuticos como champú y crema para la piel, productos químicos corrosivos como soluciones para limpieza y fertilizantes y alimentos como puré de manzana o masa para pan. En general, estas operan con velocidades rotacionales bajas y pueden requerir de un par o momento rotacional de gran magnitud en el arranque. [9]

3.1.6. Bombas de lóbulo

Estas bombas, también llamadas bomba de leva, operan de una manera similar a la bomba de engranajes. Los dos rotores que giran en sentidos contrarios pueden tener dos, tres o más lóbulos que engranan entre sí y se ajustan estrechamente con la armadura. El fluido se conduce alrededor de la cavidad formada entre lóbulos sucesivos. Las ventajas incluyen muy bajas pulsaciones de flujo, capacidad de manejar gran contenido de sólidos y lodos y que es autocebante. Una desventaja es el desgaste potencial de los engranes temporizadores necesarios para sincronizar los rotores. [9]

Figura 10.

Funcionamiento de una bomba de lóbulo



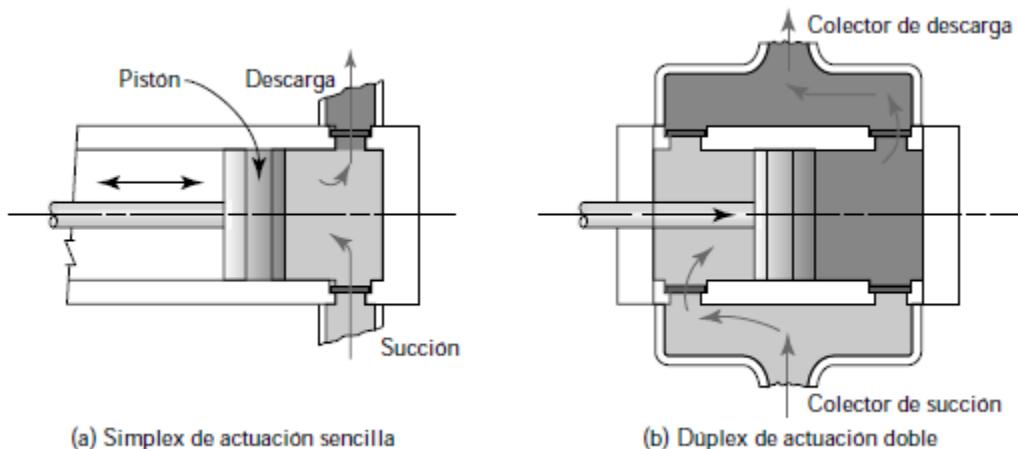
Nota: Descripción gráfica del funcionamiento interno de una bomba de lóbulo. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

3.1.7. Bombas de pistón para transferencia de fluidos

Las bombas de pistón usadas se clasifican en los tipos simplex de actuación sencilla o dúplex de actuación doble, según la figura 11. En un primer lugar, son similares a las bombas de pistón para transmitir potencia por medio de fluidos, pero tienen capacidades de flujo mayor y operar a presiones más bajas. Además, se accionan normalmente a través de una unidad del tipo manivela en lugar de la placa oscilante descrita anteriormente. [9]

Figura 11.

Bomba de pistón para transferir fluidos.



Nota: Descripción gráfica del funcionamiento interno de una bomba de pistón para transferencia de fluidos. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

3.1.8. Bombas de diafragma

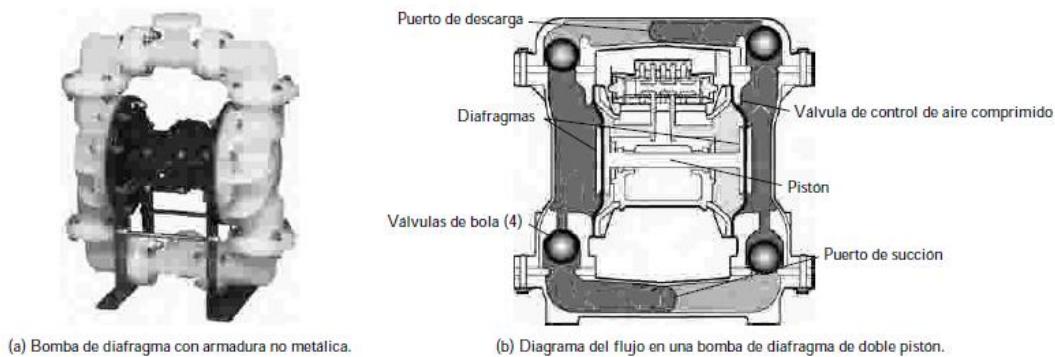
En esta bomba, una barra de movimiento alternativo mueve un diafragma flexible dentro de una cavidad para descargar fluido de manera alternada a medida que la barra se desplaza hacia la izquierda y extraer fluido mientras se desplaza a la derecha. Una ventaja de este tipo de bomba es que sólo el diafragma tiene contacto con el fluido, eliminando la posibilidad de contaminación a partir de los elementos de accionamiento. Las válvulas de succión y descarga se abren y cierran alternativamente.

Estas bombas se usan en construcción, minería, petróleo y gas, procesamiento de alimentos, procesamiento de productos químicos, procesamiento de aguas residuales y otras aplicaciones industriales. Estas son de actuación doble con dos diafragmas en los extremos opuestos de la bomba. Los puestos de succión y descarga paralelos y las válvulas de retención proporcionan un suministro relativamente suave durante la manipulación de fluidos con contenido de sólidos pesados. El diafragma puede estar hecho de muchos materiales similares al caucho, tales como Buna-N, neopreno, nylon, PTFE, polipropileno y muchos polímeros elastómeros especiales. La selección debe estar basada en la compatibilidad con el fluido bombeado. Muchas de estas bombas se accionan mediante aire comprimido controlado por una válvula de control direccional.

También existen bombas de diafragma pequeño que ofrecen caudales de fluido muy bajos para aplicaciones como la dosificación de productos químicos en un proceso, la fabricación microelectrónica y el tratamiento médico. La mayoría usa electromagnetismo para producir el movimiento alternativo de una varilla que acciona el diafragma. [9]

Figura 12.

Bombas de diafragma con su diagrama de flujo.



Nota: Descripción gráfica del mecanismo interno de una bomba de diafragma para transferencia de fluidos. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

3.1.9. Bombas peristálticas

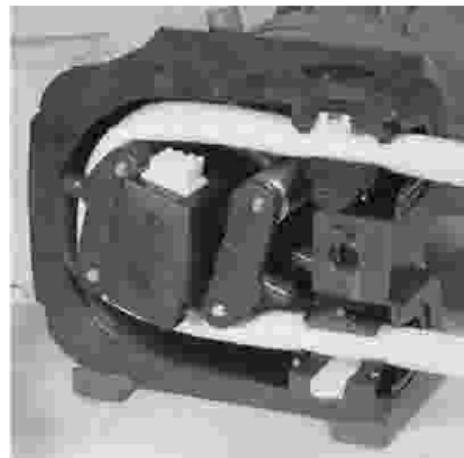
Las bombas peristálticas son únicas en el sentido que el fluido se capta completamente dentro de un tubo flexible durante el ciclo de bombeo. El tubo se enruta en un conjunto de rodillos giratorios y una armadura fija. Los rodillos aprietan el tubo, atrapando un volumen de fluido entre los rodillos adyacentes. El diseño elimina efectivamente la posibilidad de contaminación del producto, lo que es atractivo para la industria química, médica, el procesamiento de alimentos, el tratamiento de agua, así como para otras aplicaciones industriales y científicas. El material del tubo se selecciona de modo que resulte compatible con el fluido que va a ser bombeado, ya sea alcalino, ácido o disolvente. Los materiales típicos son neopreno, PVC, PTFE, silicona, sulfuro de fenileno (PPS) y varias formulaciones patentadas de elastómeros termoplásticos. [9]

Figura 13.

Diferentes configuraciones de bombas peristálticas.



(a) Bomba peristáltica con sistema de accionamiento de velocidad variable.



(b) Bomba peristáltica con caja abierta para mostrar la tubería y los rodillos de accionamiento rotatorios.

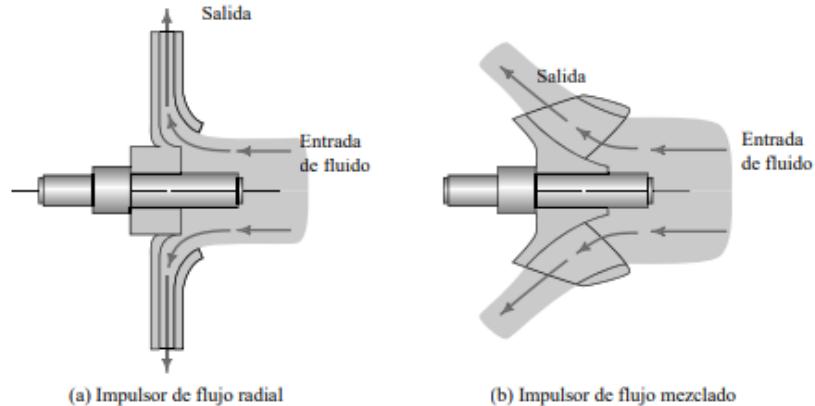
Nota: Descripción gráfica del mecanismo interno de una bomba peristáltica para transferencia de fluidos. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

3.1.10. Bombas cinéticas

Este tipo de bombas añaden energía al fluido acelerándose mediante la acción de un impulsor. Existen múltiples configuraciones, una de las más comunes son bombas centrífugas de flujo radial. En su estructura se considera de una bomba en la parte delantera, el motor de accionamiento en la parte posterior y la conexión entre el eje de la bomba y el eje del motor en la parte central bajo una armadura de protección, todo montado sobre una placa rígida que puede fijarse al suelo o en otra parte de la máquina donde se va a utilizar. El fluido se introduce en el centro del impulsor y luego se envía hacia fuera mediante las paletas. Al dejar el impulsor, el fluido pasa por una voluta en forma de espiral, donde se ralentiza gradualmente, y con esto una parte de la energía cinética se convierte en la presión del fluido. El eje de la bomba, los cojinetes, el sello y la armadura son fundamentales para el funcionamiento eficiente y confiable de la bomba. [9]

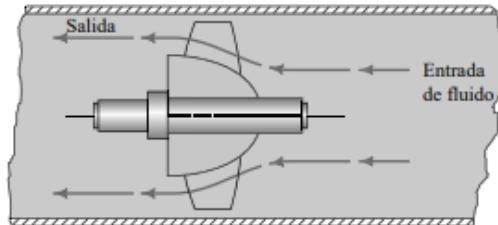
Figura 14.

Tipos de bombas cinéticas.

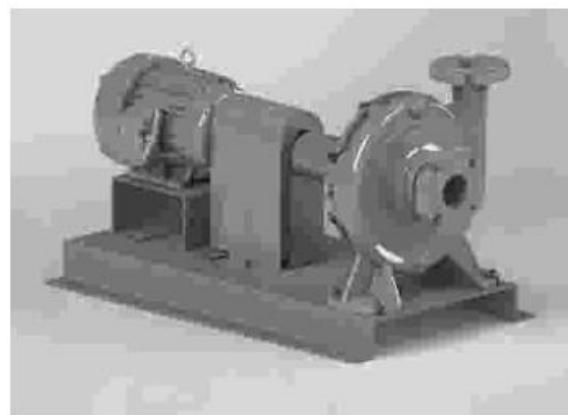


(a) Impulsor de flujo radial

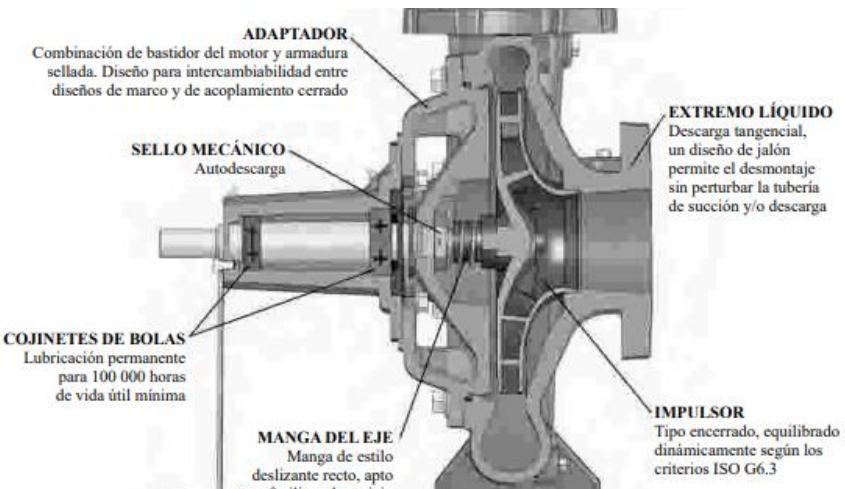
(b) Impulsor de flujo mezclado



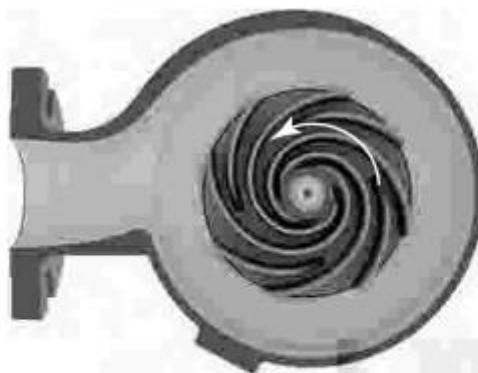
(c) Impulsor de flujo axial (propulsor)



(a) Bomba centrífuga con motor de accionamiento sobre una base de montaje.



(b) Vista seccional de una bomba centrífuga con impulsor tipo encerrado.



(c) Impulsor radial, de tipo abierto, ubicado en la parte posterior de la carcasa de la bomba. El fluido entra en el centro del impulsor (llamado ojo), es arrojado radialmente hacia fuera mediante las paletas, se desplaza alrededor de la voluta y sale por el puerto de descarga de la izquierda. La rotación es en sentido antihorario. La parte frontal de la armadura contiene el puerto de succión y completa la voluta.

Nota: Descripción del funcionamiento de las bombas cinéticas, definición de sus partes principales y especificaciones del rotor. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

3.1.11. Bombas de chorro

Las bombas de chorro, se usan para implementar los sistemas de agua domésticos, se componen de una bomba centrífuga junto con un conjunto de inyección o expulsión. En la figura se muestra una configuración típica de un bomba de chorro para pozo, donde la bomba principal y el motor están situados por encima del suelo en la parte superior del pozo y el conjunto de inyección se encuentra abajo, cerca del nivel del agua. El chorro que sale de la boquilla crea un vacío detrás de él, esto haciendo que el agua del pozo se extraiga junto con el chorro. La corriente pasa a través de un difusor, donde se ralentiza el flujo, con lo que parte de

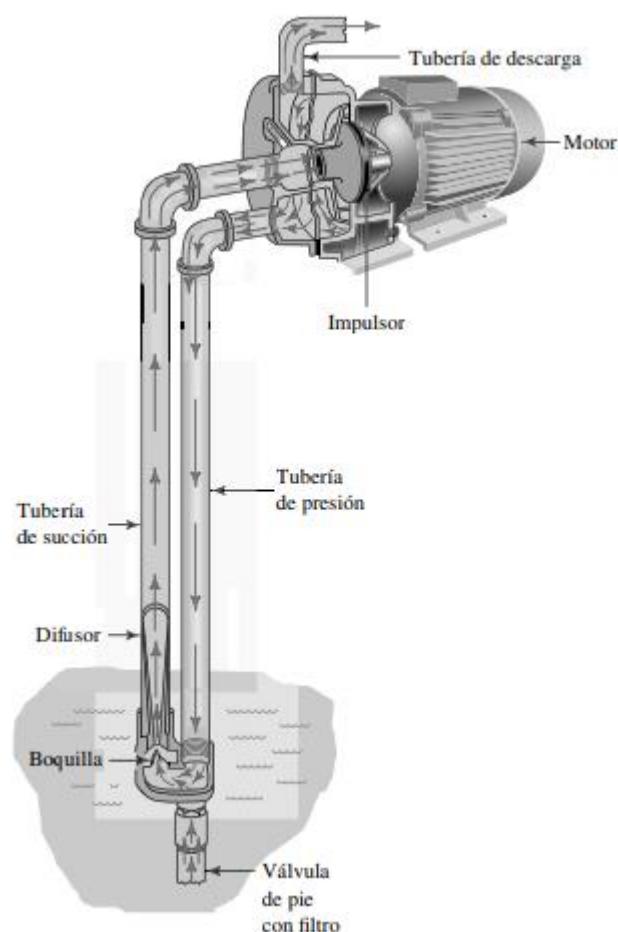
la energía cinética se convierte en presión estática al disminuir su rapidez al final del difusor.

[9]

Si el pozo es poco profundo, con menos de 6 m desde la bomba hasta el nivel del agua, el conjunto de inyección puede ser integrado al cuerpo de la bomba.

Figura 15

Diagrama de una bomba de chorro



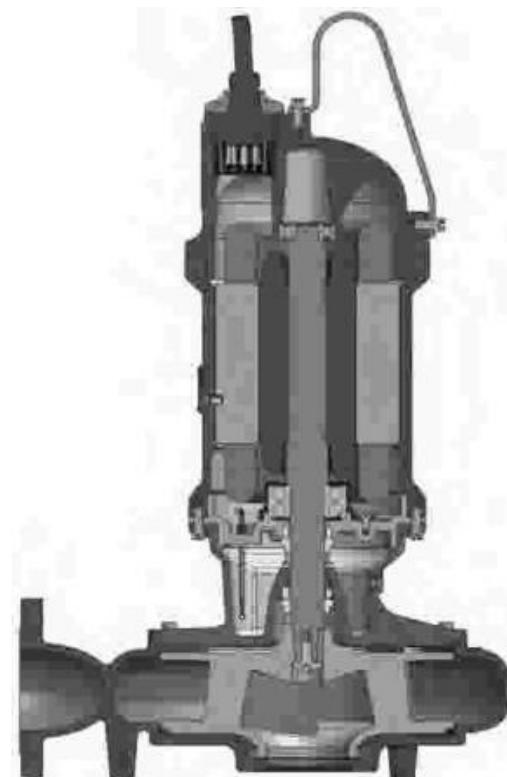
Nota: Descripción gráfica del funcionamiento de las bombas cinéticas de chorro la cual busca aspirar un fluido de un pozo. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

3.1.12. Bombas sumergibles

Estas bombas están diseñadas de manera que el conjunto de la bomba centrífuga, el motor de accionamiento y el aparato de succión y descarga puedan sumergirse en el fluido a bombear. La figura a continuación muestra un diseño que tiene un motor de eje vertical, sellado y montado integralmente en la parte superior, con una conexión eléctrica a prueba de agua. Estas bombas son útiles para eliminar el agua no deseada en obras de construcción, minas, pozos de registro de servicios públicos, tanques industriales, instalaciones para el tratamiento de aguas residuales y depósitos de carga a bordo de barcos. Por lo general, la bomba se sostiene sobre una estructura que permite un libre flujo del fluido en la bomba. La succión de la bomba tiene lugar en la parte inferior, donde el agua fluye hacia el ojo del impulsor resistente a la abrasión y diseñado especialmente para manejar grandes sólidos mezclados con agua.

Figura 16:

Bomba sumergible para el manejo de sólidos.



El fluido entra por el ojo de la parte inferior y sale por la izquierda a través del puerto de descarga.

Nota: Descripción gráfica del mecanismo interno de una bomba sumergible. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

3.1.13. Bombas centrífugas pequeñas

Aunque la mayoría de bombas centrífugas son de grandes dimensiones, existen unidades pequeñas que se usan en electrodomésticos pequeños como lavadoras, lavavajillas, fuentes, sistemas de enfriamiento de máquinas y otros productos de menor escala.

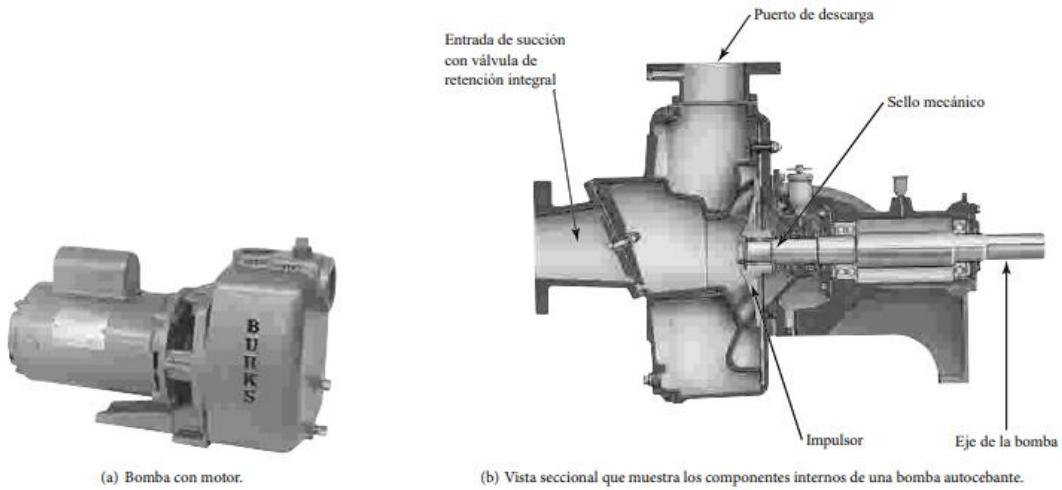
3.1.14. Bombas autocebantes

En la instalación de bombas, se necesita la correcta adecuación para asegurar las condiciones en el puerto de succión para asegurar que el flujo fluirá hacia el impulsor y establecer un flujo constante de líquido. A esto se le llama cebado. El método recomendado para cebar, es colocar la fuente de fluido por encima de la línea central del impulsor, basándose en el efecto de la gravedad para inundar el puerto de succión. A menudo, es necesario extraer el fluido mientras simultáneamente expulsa todo el aire acumulado en la tubería de succión. [9]

Las siguientes figuras muestran diferentes tipos de bombas autocebantes

Figura 17.

Diagrama de una Bomba autocebante.



Nota: Descripción gráfica del mecanismo interno de una bomba autocebante. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

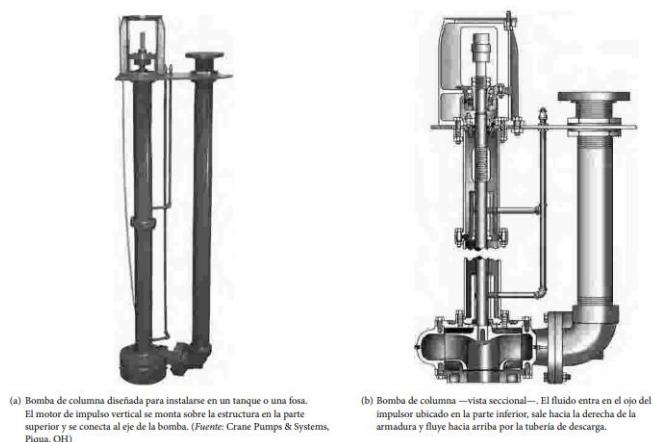
3.1.15. Bombas de columna

Cuando se hace extracción de fluido de tanques o sumideros, u otras fuentes con profundidad moderada, la bomba de columna como en la siguiente figura se observa.

La parte B de la figura muestra la disposición interna del equipo de bombeo que consiste en un puerto de succión, el impulsor, la armadura, y el puerto de descarga que se encuentra en la parte inferior del tanque, el fluido se suministra a través de la línea de descarga vertical ubicada al lado derecho del ensamble, es opcional agregar estructuras de soporte o patas cortas para permitir el flujo libre del fluido hacia el puerto de succión. La columna larga de la izquierda alberga el árbol de accionamiento que se prolonga desde la parte superior de la armadura de la bomba hasta lo más alto donde un motor vertical está montado y conectado al eje de accionamiento de la bomba.

Figura 18

Diagrama de una Bomba de columna.



Nota: Descripción gráfica del mecanismo interno de una bomba de columna. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimpr.). México: Pearson Educación.

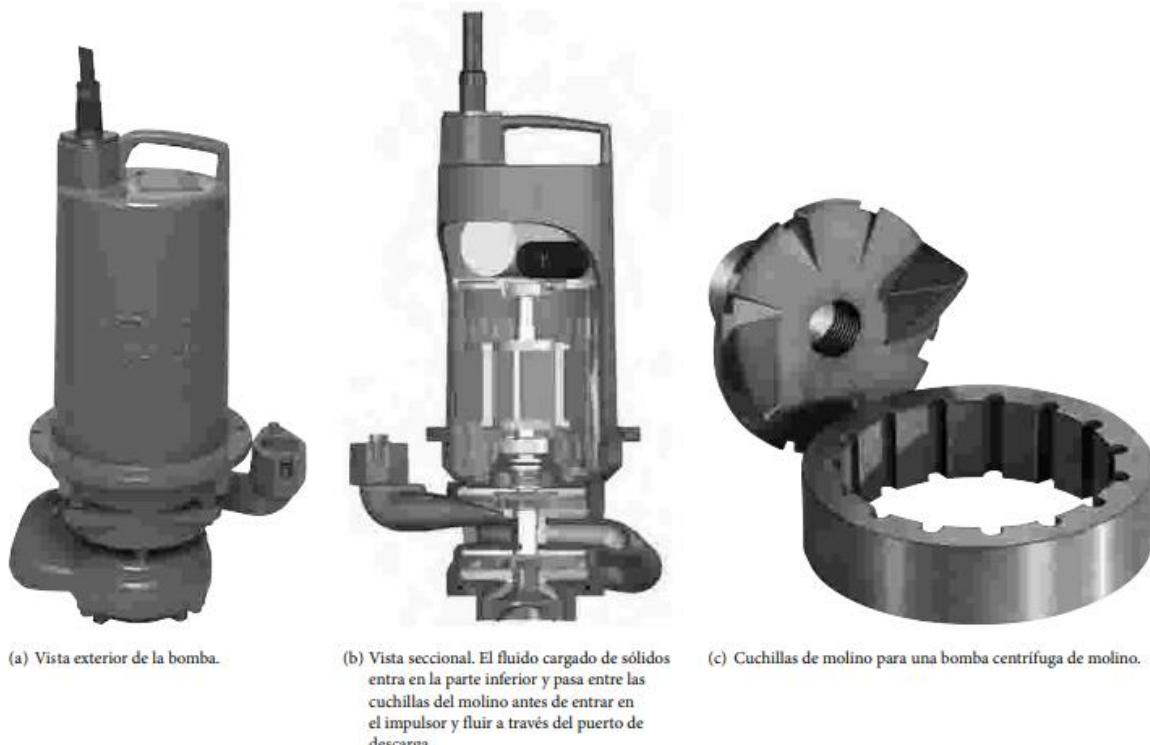
3.1.16. Bombas centrífugas de molino

Se usan para sistemas donde se encuentra la presencia de líquidos con alto contenido de sólidos, su diseño sobre su instalación en la parte inferior de un tanque o sumidero y maneja

aguas residuales, efluentes de lavadoras o lavavajillas u otras aguas de desperdicio. En la zona B de la imagen correspondiente muestra en la parte inferior al molino unido al eje impulsor a la entrada de la bomba de un modo que pueda reducir el tamaño de los sólidos antes que fluyan hacia el impulsor y se conduzcan hasta la tubería de descarga para su disposición final, la parte C muestra las cuchillas, que vienen equipadas con interruptores de flotador que actúan automáticamente para controlar el nivel de líquido en el sumidero. [9]

Figura 19.

Diagrama de una Bomba centrífuga de molino.



(a) Vista exterior de la bomba.

(b) Vista seccional. El fluido cargado de sólidos entra en la parte inferior y pasa entre las cuchillas del molino antes de entrar en el impulsor y fluir a través del puerto de descarga.

(c) Cuchillas de molino para una bomba centrífuga de molino.

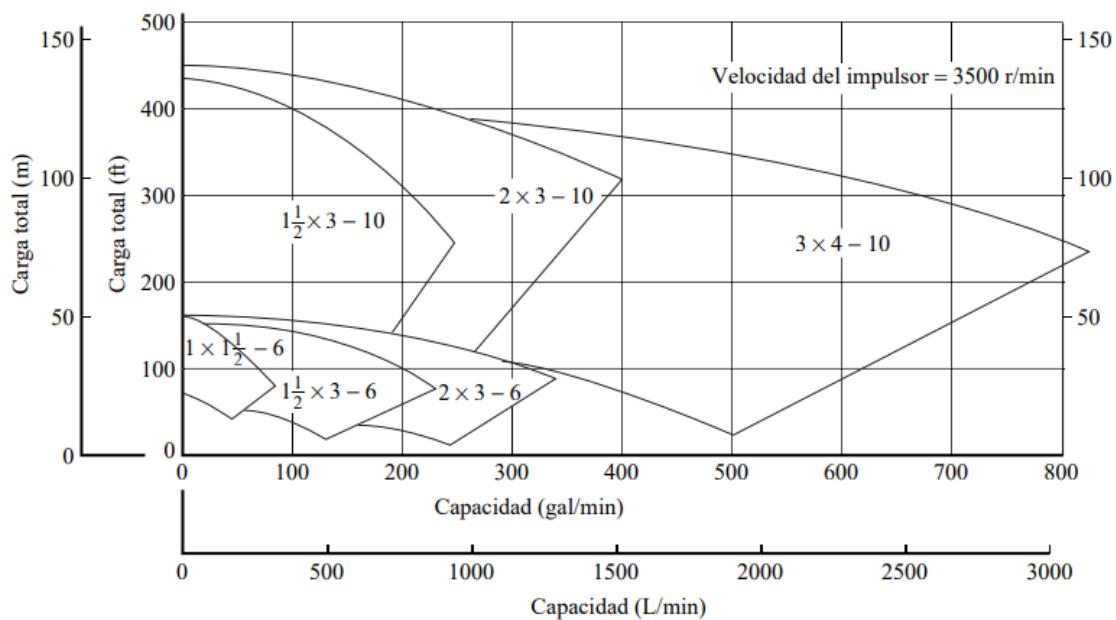
Nota: Descripción gráfica del mecanismo interno de una bomba centrífuga de molino. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

4. DATOS DE LOS FABRICANTES PARA LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

Para entrar a seleccionar una bomba a un catálogo de bombas independiente de su marca se debe contar con la rapidez del flujo volumétrico requerido o *capacidad*, y la carga total *ha* determinada para el sistema en el que la bomba estará funcionando. Sin embargo, al entrar a los catálogos de los fabricantes se encontrará que para cubrir la vasta gama de exigencias en cuanto a cargas y capacidades las bombas cuentan con una gran variedad de velocidades angulares y diámetros de impulsor los cuales varían su capacidad de trabajo. A continuación, se muestra el ejemplo de un diagrama de para una línea de bombas que operan con una rapidez angular de 3500 rpm, el cual permite determinar de manera preliminar el tipo de bomba a utilizar la cual será puntualizada a partir del diagrama de desempeño de la bomba.

Figura 20

Diagrama de calificación compuesta para una línea de bombas centrífugas.



Nota: Gráfica de calificación de bombas para diferentes rangos de trabajo. Tomado de: R J Mott Untener Mecánica de fluidos. México, D.F.: Pearson Educación,(2015)

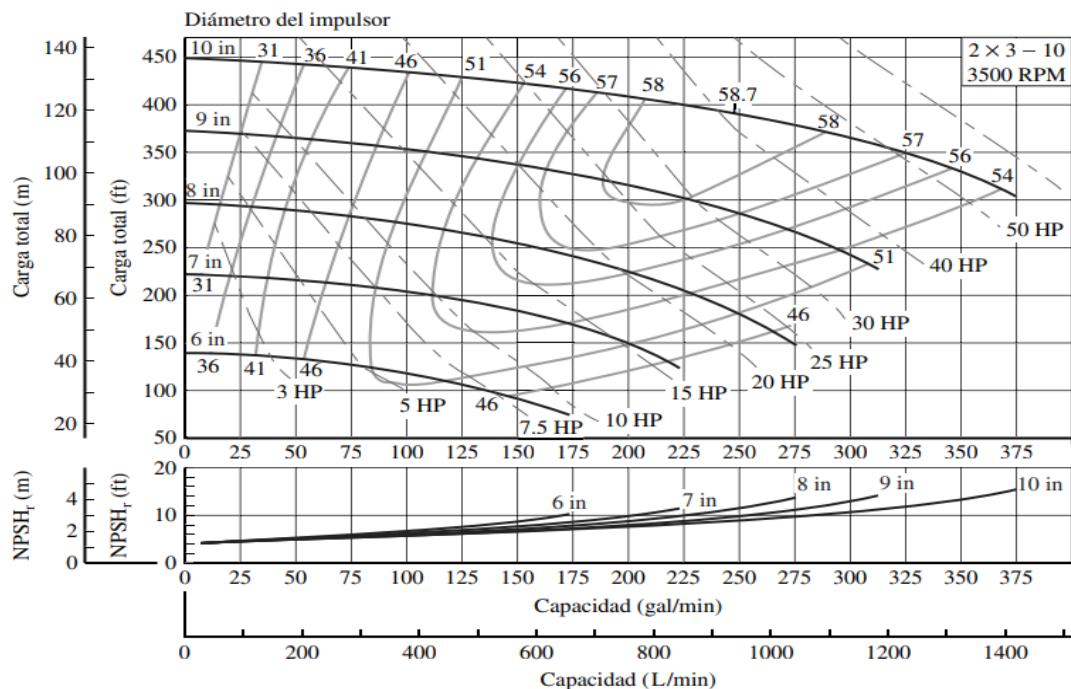
4.1 Diagrama de desempeño de la bomba

El diagrama de desempeño completo de una bomba dado en el catálogo del fabricante para la adecuada selección de la misma cuenta con una serie de curvas características previamente calculadas de forma teórica y experimental de la eficiencia, potencia requerida, modelo o diámetro de impulsión y NPSH

las cuales se relacionan de forma directa con la *capacidad* y *carga* del sistema y por ende con el funcionamiento general de la bomba. Estos datos son los que a conveniencia darán la pauta para la respectiva selección.

Figura 21

Diagrama de desempeño completo para una bomba centrífuga 2 x 3 - 10 a 3500 rpm.



Nota: Gráfica o curva característica de una bomba 2X3-10 a 3500 RPM en donde se observan las curvas de potencia y eficiencia para diferentes diámetros de impulsor. Tomado de: R J Mott Untener Mecánica de fluidos. México, D.F.: Pearson Educación, 2015

4.2. NPSH disponible y requerido

Estas son las siglas formadas por la frase anglosajona (Net Positive Suction Head), traduciendo literalmente como altura neta positiva de aspiración. Este término se basa en la diferencia de presión del líquido a la temperatura de bombeo, específicamente es la presión absoluta mínima que debe cumplirse en la entrada de la bomba todo esto con el objetivo de evitar los fenómenos de cavitación, definiendo cavitación como el resultado de que el agua forme burbujas a presión de vapor estallan con una subida repentina de presión ocasionando daños a toda la instalación.

Se define dos diferentes tipos de NPSH, el requerido y disponible, refiriéndose a la instalación, para el NPSH requerido de la bomba es el valor que depende únicamente de las características de la bomba, obteniendo estos valores por medio de los catálogos del fabricante (gráficas que se proporciona) esto es un valor variable siendo siempre positivo y dependiendo del caudal, a mayor caudal mayor NPSH requerido y a menos caudal, menor NPSH, siendo directamente proporcional. Este valor nos proporciona información como la capacidad de aspiración de la bomba en un punto determinado de su curva característica.

Por otro lado, para el NPSH de la instalación o disponible, tiene que ver con la instalación propia teniendo en cuenta factores y características como la ubicación, de los componentes, etc. Equivale a la reserva de presión por encima de la tensión de vapor de fluido, encontrándose disponible en la zona de aspiración de la bomba esto se calcula (este valor resume todas las características de la instalación que influye en la altura de aspiración de la bomba) y al momento de hallarlo, se compara según. [9]

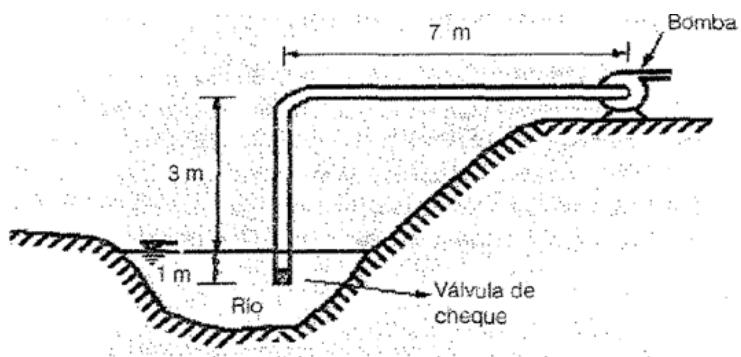
Ecuación 8

$$NPSH_{disponible} \geq NPSH_{requerido} + 0.5$$

Ahora, se define qué tipo se instalación habrá, puede haber en aspiración o en carga, esto depende si el nivel del líquido a bombar se encuentra debajo o por encima del eje principal de la bomba, a continuación, se mostrará un breve ejemplo de cómo funciona la instalación en aspiración:

Figura 22.

Diagrama de instalación de una Bomba en aspiración.



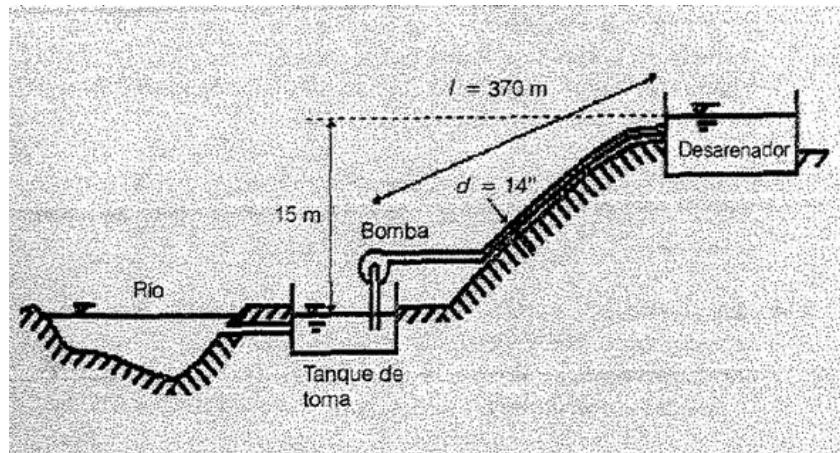
Nota: Diagrama de una red de aspiración desde el lecho de un río hasta la cima de una colina. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación

El eje de la bomba se logró diferenciar ya que va en línea con la tubería de 7m, luego se diferencia que va por debajo del eje de la bomba, haciendo esta instalación de aspiración o bien llamado, succión.

En la siguiente imagen se tiene un sistema de tuberías la cual desde el principio del tanque se tiene la bomba funcionando de manera que impulsará toda el agua que pueda del río, teniendo este sistema de tuberías encima del eje de la bomba, haciendo que sea este una instalación de carga. [9]

Figura 23.

Diagrama de instalación de una Bomba en carga.



Nota: Diagrama de aspiración e impulsión de una red completa de un sistema de bombeo para unas condiciones específicas. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación

Respecto a los cálculos, para cada instalación se hace uso de una ecuación diferente, para la primera que es de aspiración, se usa la siguiente ecuación:

Y para una instalación en carga la única diferencia es:

Ecuación 9.

$$NPSH \text{ disp} = 10^5 * \frac{P_1 - P_v}{P * g} - Ha - ha$$

Donde:

P₁= presión sobre el líquido en el depósito de aspiración (si el agua que se bombea se almacena o está expuesta al aire libre esta será la misma presión atmosférica), este valor es dependiente de la altura.

P_v= Presión del vapor líquido, esto se define como el momento en que la tensión de vapor o presión de vapor a una temperatura determinada es igual a la presión en donde comienza a generar burbujas.

H_a = altura de aspiración.

H_a = Pérdida de carga que se produce en el tramo de aspiración.

P = densidad.

G = gravedad.

También existen características del bombeo según la función de la altitud, definiéndose con la ecuación:

Ecuación 10

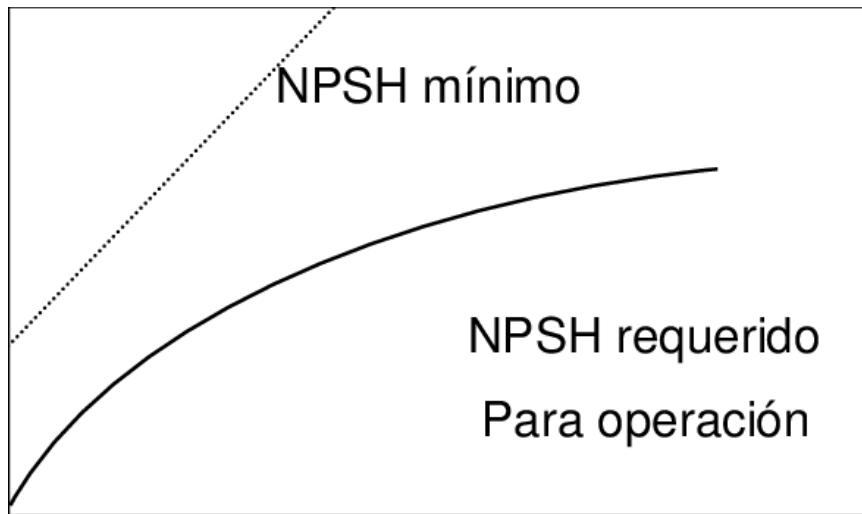
$$P_{atm}(mca) = 10,33 - \frac{\text{altitud}(m)}{900}$$

Esta se da cuando la bomba se sitúa a una determinada altitud, cogiendo como referencia que la presión atmosférica se suele tomar normalmente como la misma presión a nivel del mar, sin embargo, a medida que se asciende la presión atmosférica disminuye, por lo que para reducir el efecto de la altura que ejerce sobre la presión atmosférica se hace uso de la ecuación recién mostrada. [9]

Por último, para la selección de la bomba en el catálogo, en las curvas características y puntos de operación, en la parte superior tendremos un pequeño gráfico del NPSH requerido de la bomba, y en la parte inferior, tendremos los valores de caudal, por lo que teniendo en cuenta con la altura y el caudal dado por las ecuaciones, hallando la curva del NPSH de la bomba comparándolo a su vez con el NPSH disponible.

Figura 24.

Curva característica del NPSH requerido para una bomba



Nota: Gráfica representativa del NPSH requerido para la operación y el NPSH mínimo requerido para el sistema. Tomado de: Brito, Hannibal. (2006). Texto Básico De Mecánica De Fluidos.

Esta curva depende del caudal bombeado, a medida que aumente el caudal, se incrementará a su vez la velocidad del fluido de la tubería y las pérdidas de este sistema también serán mayores, por lo que, si aumenta, sube el NPSH req y disminuye el NPSH disp, generando una mayor aparición de cavitación. [9]

4.3 Curva característica del sistema

Para saber el punto de operación de la bomba (OP) es necesario calcular la curva del sistema, es decir que hay que definir el comportamiento que va a tomar el agua al ser impulsado por la red la cual se compone de varios elementos descritos en el diseño de las líneas de succión y descarga como lo son: válvulas, codos, elementos del proceso y tramos rectos de tubería conectados., teniendo en cuenta que a mayor flujo volumétrico la carga producida por la tubería y los accesorios va a aumentar; esto de acuerdo a que las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad presente en las tuberías ($v^2 / 2g$) y, por lo tanto, aumentan de acuerdo con el cuadrado de la rapidez del fluido. Esto hace que la forma característica de una curva del sistema sea en forma de parábola. La curva característica se calcula por medio de la ecuación de bernoulli configurada para variar el caudal, teniendo en cuenta las pérdidas por succión y aspiración como se muestra a continuación.

Ecuación de Bernoulli:

Ecuación 11.

$$h_p = \frac{p_z - p_a}{\rho g} + Z_z - Z_A + \frac{V_z^2 - V_A^2}{2g} + H_{ra} + H_{ri}$$

Donde:

p_a y p_z = Son las presiones manométricas a la entrada y salida de la bomba respectivamente.

Z_z y Z_A = Es la diferencia de alturas entre la salida y la entrada de la bomba.

H_{ra} = Pérdida de carga en zona de aspiración

H_{ri} = Pérdida de carga en zona de impulsión

Ecuación de la curva del sistema:

Ecuación 12.

$$H_p = h_p = \frac{p_z - p_a}{\rho g} + Z_z - Z_A + \left[f_a \frac{L_a}{D_a} + \sum_{n=1}^j K_{aj} \right] \left(\frac{4Q}{\pi D_a^2} \right) \frac{1}{2g} \\ + \left[f_i \frac{L_i}{D_i} + \sum_{n=1}^j K_{ij} \right] \left(\frac{4Q}{\pi D_i^2} \right) \frac{1}{2g}$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción

L = longitud

D = Diámetro

K = Sumatoria de pérdidas en línea de aspiración

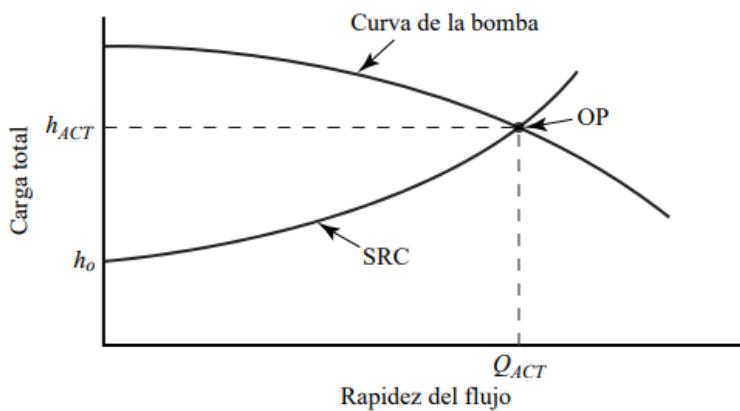
Nota: Subíndices a y i hacen referencia a las zonas de aspiración e impulsión respectivamente.

Al definir la curva del sistema para encontrar el punto de operación del sistema es necesario superponer la curva del sistema en la curva característica de la bomba seleccionada previamente

como se observa en la siguiente figura, esto con el fin de encontrar el punto de intersección entre ambas curvas que es el mismo OP que nos describe las condiciones reales de funcionamiento de la bomba respecto al sistema.

Figura 25.

Diagrama que muestra el punto de operación de una bomba en un sistema de flujo.



Nota: Intersección de la curva característica de la bomba y la curva del sistema, que da como resultado el punto de operación de la bomba respecto al sistema. Tomado de: R J Mott Untener Mecánica de fluidos. México, D.F.: Pearson Educación,(2015)

Donde:

SR = Curva del sistema

OP = Punto de operación

Q_{ACT} = Caudal del sistema

h_{ACT} = Carga total de la bomba

h_o = Carga estática del sistema

5. HERRAMIENTA PROGRAMADA

Para la realización de esta tesis se utilizara una herramienta programada para cálculos hidráulicos “HERRAMIENTA PROGRAMADA PARA EL DISEÑO DE LAS REDES DE SERVICIO AGUA DE PROCESO, AGUA RESIDUAL Y VAPOR PARA LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD AMÉRICA” realizada por la ingeniera Danna Alejandra Duran Moncada y el ingeniero Christian Andres Monsalve Sanabria los cuales plantean esta herramienta como una ayuda de fácil acceso y múltiples usos para edificios en general, para laboratorios, cualquier tipo de proyecto que implique redes de agua y vapor, bombeo y aislamiento. Este proyecto es un trabajo de grado realizado de parte de los estudiantes para los futuros tesis, y para la verificación de cálculo para la aplicación de los conceptos de mecánica de fluidos que se pretende sea utilizada y aporte al crecimiento de la Fundación Universidad de América, aunque igualmente puede ser de ayuda para proyectos externos a ella [10].

En la referencia [10] se encuentra el trabajo de grado, relacionando cada uno de los conceptos usados para la construcción de esta herramienta, sin embargo, se agrega el código QR para permitir su descarga y utilización en la verificación de cálculo realizado en este proyecto.

Figura 26.

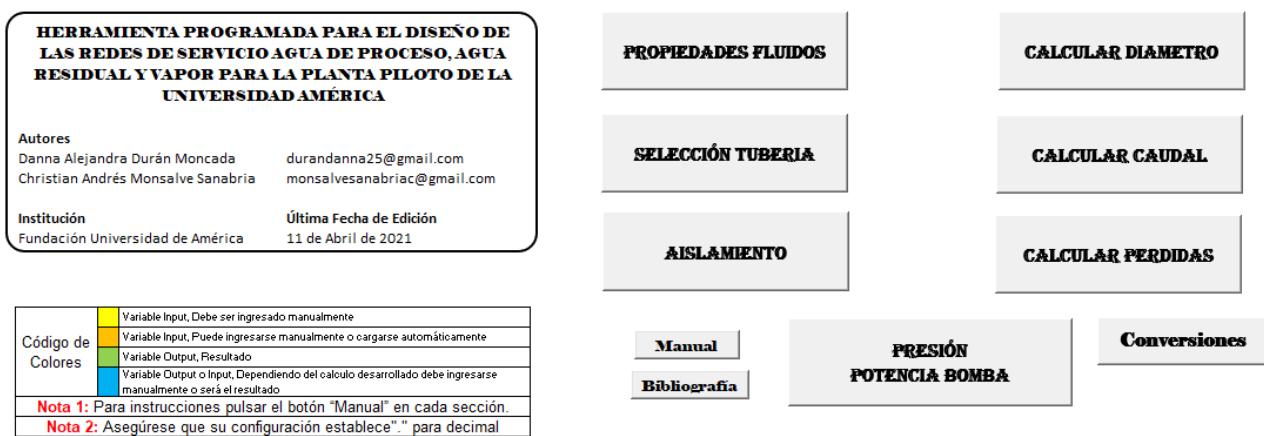
Código QR para la descarga del material excel.



Nota: Además del correspondiente QR, es posible acceder al material, se puede acceder mediante el siguiente enlace: https://drive.google.com/file/d/1hD_d-8XrIY_gpQW4ZkHD6vjM5kgazgCz/view?usp=sharing.

Figura 27.

Pantalla inicial de la herramienta programada en excel.



Nota: Pantalla de inicio de la herramienta programada para el diseño de las redes de servicio agua de proceso, agua residual y vapor para la planta piloto de la universidad América.

Esta herramienta cuenta con una serie de botones los cuales nos permiten realizar diferentes tipos de cálculos hidráulicos como se observa en la figura anterior, sin embargo para los cálculos realizados en esta tesis sólo fueron necesarios los siguientes: propiedades fluidos, selección tubería, calcular pérdidas. Para la opción de cálculo de propiedades de fluido teniendo en cuenta que el comportamiento de un fluido cambia respecto a su presión y temperatura; se utiliza esta ventana para calcular la viscosidad y la densidad del fluido de servicio y que son dos propiedades requeridas para el cálculo del número de reynolds (ecuación 2) el cual es necesario para el resto de cálculos hidráulicos; este proceso se describe en el ANEXO I.

Figura 28.

Ilustración del cálculo de propiedades en la herramienta programada.

Temperatura (T)	<input type="text"/> °C	CALCULAR DIÁMETRO	CALCULAR CAUDAL
Presión (P)	<input type="text"/> Bar		
Servicio	<input type="text"/>	CALCULAR PERDIDAS	PRESIÓN POTENCIA BOMBA
Viscosidad(μ)	<input type="text"/> Pa*s		
Densidad(p)	<input type="text"/> kg/m ³	CARGAR PROPIEDADES	LIMPIAR

Nota: Cálculo de propiedades del fluido por medio de la herramienta programada para el diseño de las redes de servicio agua de proceso, agua residual y vapor para la planta piloto de la universidad América.

El botón de selección de tubería de la figura 27, nos abre una ventana la cual nos pide como datos de entrada: el tipo de servicio de la red de tubería, el diámetro teórico que se calculó previamente, después arroja una recomendación de material de acuerdo al tipo de servicio y por esta la opción de seleccionar material; este puede ser diferente a la recomendación que el programa da. Luego se pulsa en selección a lo que el programa da como resultado el calibre de tubería más adecuado para el valor y el servicio seleccionado (ANEXO II). Se debe tener en cuenta que la selección de materiales está limitada para un rango de diámetros de entrada desde 0mm hasta 1199 para acero al carbono y acero inoxidable, desde 0mm hasta 180 mm para polipropileno y desde 0mm hasta 155 mm para PVC. [10]

Figura 29.

Selección de tubería para cada servicio en la herramienta programada

Servicio	<input type="text"/>	Diametro Nominal	<input type="text"/> mm <input type="text"/> in
Diametro(D)	<input type="text"/> mm		
Recomendación	<input type="text"/>	Diametro Interno(DI)	<input type="text"/> mm
Material	<input type="text"/>	Diametro Externo(DE)	<input type="text"/> mm
SELECCION		Calibre	<input type="text"/>
LIMPIAR		Peso	<input type="text"/> kg/m
		Espesor	<input type="text"/> mm

Nota: Rango de Diametro desde 0 mm hasta 1199 mm para Acero al Carbon y Acero Inoxidable; desde 0 mm hasta 180 mm para Polipropileno y desde 0 mm hasta 155 mm para PVC.

Nota: Selección de tubería comercial para los diferentes tipos de servicio por medio de la herramienta programada para el diseño de las redes de servicio agua de proceso, agua residual y vapor para la planta piloto de la universidad América.

El cálculo de pérdidas por superficie, accesorios y cambios de diámetro se realiza por medio del botón cálculo de pérdidas que se evidencia en la figura 30 en donde a partir de las propiedades del fluido como los son la densidad, viscosidad y el caudal, las características de la tubería: longitud total, diámetro y rugosidad se calcula la pérdida de energía por superficie del tramo, sin embargo a esto se le suma las pérdidas por la cantidad y el tipo de accesorios presentes en el tramo que se está calculando, dando como resultado las cantidad de pérdidas totales por accesorio y superficie de la red. Véase el ANEXO III.

Figura 30.

Cálculo de pérdidas en tubería por medio de la herramienta programada

Densidad(ρ)	kg/m ³	PROPIEDADES	INICIO
Viscosidad(μ)	Pa*s		
Caudal (Q)	m ^{3/h}		
		CALCULAR PERDIDAS	
Longitud(L)	m		
Diametro (D)	m		
Rugosidad(ε)	m		
Accesorios		ADICIONAR ACCESORIOS	QUITAR ACCESORIOS
Cantidad actual		Perdida de Carga (hf) m	
		LIMPIAR	

Nota: Cálculo de pérdidas por accesorios y superficie por medio de la herramienta programada para el diseño de las redes de servicio agua de proceso, agua residual y vapor para la planta piloto de la universidad América

Figura 31.

Código de color para la utilización de la herramienta programada

Código de Colores	Yellow	Variable Input, Debe ser ingresado manualmente
	Orange	Variable Input, Puede ingresarse manualmente o cargarse automáticamente
	Green	Variable Output, Resultado
	Blue	Variable Output o Input, Dependiendo del calculo desarrollado debe ingresarse manualmente o será el resultado
Nota 1: Para instrucciones pulsar el botón “Manual” en cada sección.		
Nota 2: Asegúrese que su configuración establece"." para decimal		

Nota: Código de color de la herramienta programada para el entendimiento de su uso.

6. MONTAJE DE REDES DE TUBERÍA

6.1 Reglamentación técnica nacional

La siguiente tabla tiene como objetivo mostrar las diferentes normas nacionales usadas para la construcción de sistemas hidráulicos, esta tabla realizada por la empresa PROCESO URBANO en el año 2017, resume las normativas necesarias para construir una edificación:

Esta normativa es aplicada en cualquier tipo de edificación que requiera distribuciones de red hidráulica, este caso es una aplicación para un laboratorio que no considera especificaciones microbiológicas, salvo para el caso del laboratorio microbiológico, no contemplado en este proyecto de grado. Toda la recopilación de información, contemplada en el sector educativo usa las mismas recomendaciones que las aplicaciones de laboratorios de investigación, que a su vez, sigue una línea de decisión según la norma NTC para edificaciones bajo cada estándar particular de los proyectos a analizar. Por tal motivo, se usará esta serie de normativas descritas en la tabla 1.

Tabla 1.

Normativa técnica nacional

EAAB	NORMAS DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. NS-NT-NP.
NTC 332	TUBERÍA METÁLICA. ROSCAS PARA TUBERÍA DESTINADA A PROPÓSITOS GENERALES (DIMENSIONES EN PULGADAS) (Describe designación de las roscas, sellado, inspección, forma de la rosca, especificaciones para roscas cónicas, cilíndricas según sus usos, calibres y tolerancias de los calibradores y calibración de las roscas).
NTC 382	PLÁSTICOS. TUBOS DE POLI-CLORURO DE VINILO-PVC- CLASIFICADOS SEGÚN LA PRESIÓN -SERIE RDE-.
NTC 539	APITUD DE TUBOS Y ACCESORIOS PLÁSTICOS PARA USO EN CONTACTO CON AGUA DESTINADA AL CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE ATOXICIDAD. (Evalúa la capacidad de lixiviación de los tubos plásticos, cuando se usan en contacto con agua destinada al consumo humano).

NTC 576	CEMENTO SOLVENTE PARA SISTEMAS DE TUBOS PLÁSTICOS DE PVC (POLICLORURO DE VINILO). (Presenta los requisitos para cementos solventes de poli-cloruro de vinilo-PVC- que se van a usar en uniones de sistemas de tubería de policloruro de vinilo-).
NTC 1087	PLÁSTICOS.TUBOS DE POLI-CLORURO DE VINILO-PVC- RÍGIDO PARA USO SANITARIO-AGUAS LLUVIAS Y VENTILACIÓN. (Establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse los tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido usados en edificaciones en cada una o en desagüe sanitario y aguas lluvias y ventilación).
NTC 1259	INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. INSTALACIÓN DE TUBERÍAS PARA CONDUCCIÓN DE AGUAS SIN PRESIÓN. (Contiene definiciones, clasificación y designación, condiciones generales y precauciones).
NTC 1260	PLÁSTICOS. TUBOS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) RÍGIDO PARA VENTILACIÓN Y AGUAS LLUVIAS.
NTC 1339	PLÁSTICOS. ACCESORIOS DE POLICLORURO DE VINILO - PVC - SCHEDULE 40. (Establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales debe someterse los accesorios de policloruro de vinilo (PVC) rígido Schedule 40).
NTC 1341	PLÁSTICOS. ACCESORIOS DE POLICLORURO DE VINILO - PVC - RÍGIDO PARA TUBERÍA SANITARIA-AGUAS LLUVIAS Y VENTILACIÓN. (Establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse los accesorios de poli (cloruro de vinilo) (PVC) rígido, para tubería sanitaria-aguas lluvias y de ventilación).
NTC 1500	CÓDIGO COLOMBIANO DE FONTANERÍA.
NTC 1762	MECÁNICA. VÁLVULAS DE RETENCIÓN (CHEQUE) DE ALEACIONES DE COBRE. (Contiene definiciones y clasificación, requisitos del material, características mecánicas, toma de muestras y recepción del producto, ensayos, dimensiones, figuras explicativas).
NTC 1991	MECÁNICA. FLOTADORES PARA ACCIONAMIENTO DE VÁLVULAS. (Establece definiciones, clasificación, características de construcción y acabado, dimensiones, resistencia, muestreo, ensayos, empaque y rotulado).

NTC 2011	MECÁNICA. VÁLVULAS DE FUNDICIÓN DE HIERRO PARA RETENCIÓN. (Establece definiciones, clasificación, designación, requisitos de los materiales, muestreo, ensayos, empaque y rotulado).
NTC 2047	DIBUJO TÉCNICO. INSTALACIONES. SÍMBOLOS GRÁFICOS PARA FONTANEROS. CALEFACCIÓN, VENTILACIÓN Y DUCTOS
NTC 2104	TUBERÍA METÁLICA. ROSCA PARA TUBOS EN DONDE LA PRESIÓN HERMÉTICA DE LA JUNTA SE HACE EN LOS FILETES. (Establece definiciones, símbolos, dimensiones, tolerancias, designación, diseño de la rosca, calibración, combinación con rosca de seguridad).
NTC 2249	TUBERÍA METÁLICA. TUBOS DE ACERO AL CARBONO CON O SIN COSTURA PARA USOS COMUNES, APTOS PARA SER ROSCADOS. (Establece características de materiales, apariencia, dimensiones y tolerancias).
NTC 2295	UNIONES CON SELLOS ELASTOMÉRICOS FLEXIBLES PARA TUBOS PLÁSTICOS EMPLEADOS PARA EL TRANSPORTE DE AGUA A PRESIÓN.
NTC 2346	MECÁNICA. ACCESORIOS EN HIERRO DÚCTIL Y/O HIERRO GRIS PARA AGUA Y OTROS LÍQUIDOS. SERIE INGLESA. (Establece definiciones, requisitos generales, tipos de inspección, tolerancias y variaciones permitidas, revestimientos y pinturas, clases de ensayos y requisitos).
NTC 2505	INSTALACIONES PARA SUMINISTRO DE GAS, DESTINADAS A USOS RESIDENCIALES Y COMERCIALES.
NTC 3458	HIGIENE Y SEGURIDAD. IDENTIFICACIÓN DE TUBERÍAS Y SERVICIOS. (Contiene definiciones, clasificación por colores, designación y precauciones).
NTC 3470	TUBERÍA METÁLICA. TUBOS DE ACERO SOLDADOS Y SIN COSTURA, NEGROS Y RECUBIERTOS DE CINC POR INMERSIÓN EN CALIENTE. (Establece los requisitos que deben cumplir las tuberías de acero galvanizadas en caliente, negras, soldadas y sin costura).
NTC 3578	TUBERÍAS TERMOPLÁSTICAS PARA LA CONDUCCIÓN DE FLUIDOS. RESISTENCIA A LA PRESIÓN INTERNA. MÉTODO DE ENSAYO. (Especifica métodos para determinar la resistencia de la tubería termoplástica a la presión constante hidráulica interna. Es aplicable a tuberías termoplásticas

	destinadas para la conducción de fluidos).
NTC 3579	PLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN HIDRÁULICA DE ROTURA A CORTO PLAZO EN TUBOS Y ACCESORIOS DE PLÁSTICO. (Contiene resumen y métodos de ensayo, significación y uso, falla, aparatos, especímenes de ensayo, acondicionamiento, procedimiento, cálculo, informe, precisión y desviación).
NTC 3631	VENTILACIONES DE RECINTOS INTERIORES DONDE SE INSTALAN ARTEFACTOS QUE EMPLEAN GASES COMBUSTIBLES PARA USO DOMÉSTICO COMERCIAL E INDUSTRIAL
NTC 3721	PLÁSTICOS. TUBOS Y ACCESORIOS DE PARED ESTRUCTURAL PARA SISTEMAS DE DRENAJE SUBTERRÁNEO Y ALCANTARILLADO. MÉTODO DE ENSAYO. (Establece métodos de ensayo generales para tuberías de pared estructural y accesorios elaborados de PVC rígido).
NTC 3722	PLÁSTICOS. TUBOS LIGEROS Y ACCESORIOS PARA SISTEMAS DE DRENAJE SUBTERRÁNEO Y ALCANTARILLADO.
NTC 3833	DIMENSIONAMIENTO, CONSTRUCCIÓN MONTAJE Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS PARA LA EVACUACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN GENERADOS POR LOS ARTEFACTOS QUE FUNCIONEN CON GAS
NTC 4246	DESINFECCIÓN DE LÍNEAS PRINCIPALES PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUA. (Presenta procedimientos esenciales para la desinfección de líneas principales para la conducción de agua, nueva y reparada).
NTC 4282	GASODUCTOS, INSTALACIONES PARA SUMINISTRO DE GAS EN EDIFICACIONES INDUSTRIALES.
NTC 4404	ACCESORIOS PARA TUBOS DE POLI (CLORURO DE VINILO) (PVC) SCHEDELE 80. (Establece los requisitos para los accesorios de tubos de PVC Schedule 80. Se incluyen requisitos para materiales, mano de obra, dimensiones y presión de rotura).
NTC 4555	ACCESORIOS ROSCADOS DE HIERRO MALEABLE. (Establece los requisitos que deben cumplir los accesorios roscados de hierro maleable, de las clases 150 y

	300)
GTC 16	PLÁSTICOS. GUÍA PARA LA SELECCIÓN, DISEÑO E INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TUBERÍAS TERMOPLÁSTICAS PARA AGUA A PRESIÓN. (Establece procedimientos para la selección, diseño e instalación de sistemas de tuberías termoplásticas para agua a presión para uso en exteriores de construcciones)
RAS 2000	REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO

Nota: Normativa usada en el diseño, construcción e instalación de redes hidráulicas a nivel nacional. Tomado de: PROCESO URBANO. "ESPECIFICACIONES TÉCNICAS REDES HIDROSANITARIAS". Inicio/Findeter. https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-JU-O-004-2018/PAF-JU-O-004-2018@Especificaciones_Tecnicas_Hidro.pdf (accedido el 13 de junio de 2022).

6.2. Especificaciones técnicas hidráulicas

6.2.1 Agua de proceso

Respecto a las indicativas, haremos uso de las referencias y los datos suministrados por los estudiantes de CEPPIIS en su proyecto de grado denominado “Diseño Esquemático de las redes de vapor, agua de proceso y agua residual de la planta piloto” de los estudiantes Duran y Monsalve [10]. Donde especifican las condiciones de la planta para la construcción de la herramienta de excel para el cálculo de pérdidas en tuberías, selección de equipos entre otros. Esto junto con las fichas técnicas de los equipos (Tren de evaporadores, Secador de bandejas, Planta de extracción sólido-líquido y líquido-líquido, Planta de destilación continua, Planta de absorción de gases, Banco de reactores) que provee la empresa PSE, que distribuye los equipos de experimentación, se obtienen los requerimientos técnicos de la planta a nivel técnico, como caudal mínimo, presión, entre otros.

En primer lugar, el banco de reactores tiene requerimiento de agua de proceso para refrigeración, ya que estos cuentan con intercambiadores de calor de tubos y coraza. El flujo mínimo para estos es de 1m³/h a una presión de 2 bar. [10]

La Planta de destilación continua tiene un flujo mínimo de 1m³/h de agua de proceso, con el fin de servir como fluido de enfriamiento en el intercambiador de calor, que cumple su función de condensador de la columna. [10]

Planta de absorción de gases, esta consta de un humidificador que opera con agua de proceso a temperatura ambiente y requiere de un flujo de 30 L/min o 1,8 m³/h libre de dureza para prevenir incrustaciones, taponamiento y corrosión. [10]

Planta de extracción sólido-líquido y sólido-líquido, requiere un flujo de 30 L/min de agua de proceso, que en las unidades que se usarán a lo largo del trabajo, son en total 1,8 m³/h. [10]

En el secador de bandejas, hay un reservorio de agua que se carga manualmente por el operario, lo cual no requiere flujo mínimo de servicio. [10]

Y por último, el tren de evaporadores solicita un flujo mínimo de 1m³/h de agua de proceso como fluido refrigerante en los intercambiadores de calor. Esto con el factor de seguridad del 30% se suma la totalidad de las unidades de proceso y se determina el requerimiento total. [10]

Ahora bien, el agua de emergencia se considera en el proyecto como almacenamiento de agua de proceso, con el propósito de servir como reservorio para una situación de emergencia que requiera una disponibilidad inmediata de flujo de agua para el operario o laboratorista, por tanto este se encuentra con los mismos requerimientos de tubería y flujo mínimo expresados posteriormente.

Este cálculo, específicamente se realizó con la recomendación de tomar la suma de los caudales totales, para el escenario en el cual se haga uso de los 6 equipos en simultáneo, pero con la capacidad de operar con uno o solo dos equipos en los escenarios donde la ocupación no es completa, o se hace uso de las normativas de aforo en espacios confinados según la secretaría distrital de salud dada por la situación COVID presentada desde el año 2019. Además, permite instalar más equipos que requieran un aumento de caudal para esta red de proceso, o en el caso de la red de emergencia, que requiere bombear un mayor flujo a la red de agua tratada, y que se usa en la planta CEPIIS como agua de proceso.

Por otra parte, se espera por las proyecciones de sostenibilidad del proceso, que infiere que todas las redes de agua, en el cuarto de bombas y la zona de almacenamiento, son cíclicas, es decir que toda el agua se retornará a la planta como agua de proceso, buscando obtener el

mínimo desperdicio de agua hacia el alcantarillado y que además solo realizará salidas hacia la red de distribución pública en aquellos casos de purga, limpieza de tubería o cuando el flujo interno del proyecto proveniente del agua lluvia exceda los límites de almacenamiento de la planta, establecidos en el literal 6.15 del proyecto.

Tabla 2.

Requerimientos del agua de procesos

Equipo	Flujo (m ³ /h)	Flujo con factor de seguridad (m ³ /h)	Presión mínima (bar)
Banco de reactores	1	1,3	2
Planta destilación continua	1	1,3	2
Planta de absorción de gases	1,8	2,34	N/A
Planta de extracción sólido-líquido y líquido líquido	1,8	2,34	N/A
Secador de bandejas	N/A	N/A	N/A
Tren de evaporadores	1	1,3	2
Total	6,6	8,58	

Nota: El requerimiento necesario para la alimentación de los equipos del CEPIIS se encuentra sumando la totalidad de los flujos con su respectivo factor de seguridad. Tomado de: D. Duran y C. Monsalve. "Diseño Esquemático De Las Redes De Vapor, Agua De Proceso Y Agua Residual De La Planta Piloto". Fundación Universidad de América. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8640> (accedido el 10 de marzo de 2022).

6.2.2 Aguas lluvia

El centro de procesos como cualquier infraestructura deberá contar con un sistema de desagüe para las precipitaciones, el cual deberá ser capaz de captar y darle alivio de forma eficaz. Para esto se deberá tener en cuenta el clima y los datos meteorológicos, específicamente el comportamiento pluvial de la localidad de la Candelaria o en su defecto de la estación meteorológica o pluviométrica más cercana a la localización de CEPIIS.

“La precipitación se define como la caída de hidrometeoros que alcanzan finalmente el suelo. La medida de la cantidad de lluvia se expresa por la altura de la capa de agua que cubriría el suelo, supuesto perfectamente horizontal, sino se filtrase, evaporase, ni escurriese. A esta medida se llama altura de precipitación y es expresada en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie” [11]

Sin embargo la precipitación es una variable meteorológica que no se puede medir con precisión ya que depende de una serie de condiciones climáticas que en muchas ocasiones no se pueden definir. En el caso de Bogotá se puede decir que se divide en dos temporadas en cuanto al clima, la temporada seca (verano) y la temporada lluviosa (invierno). Para conocer más a detalle el comportamiento Pluvial de la ciudad el IDEAM junto con el SDA y el IDIGER realizó estudio de la distribución espacial de las precipitaciones en bogotá, el cual analizando los datos desde el año 2000 hasta el 2015 de 47 estaciones pluviométricas distribuidas en la capital, el cual dejó como resultado un mapa que describe el comportamiento pluvial de la ciudad, como se muestra en la figura 32.

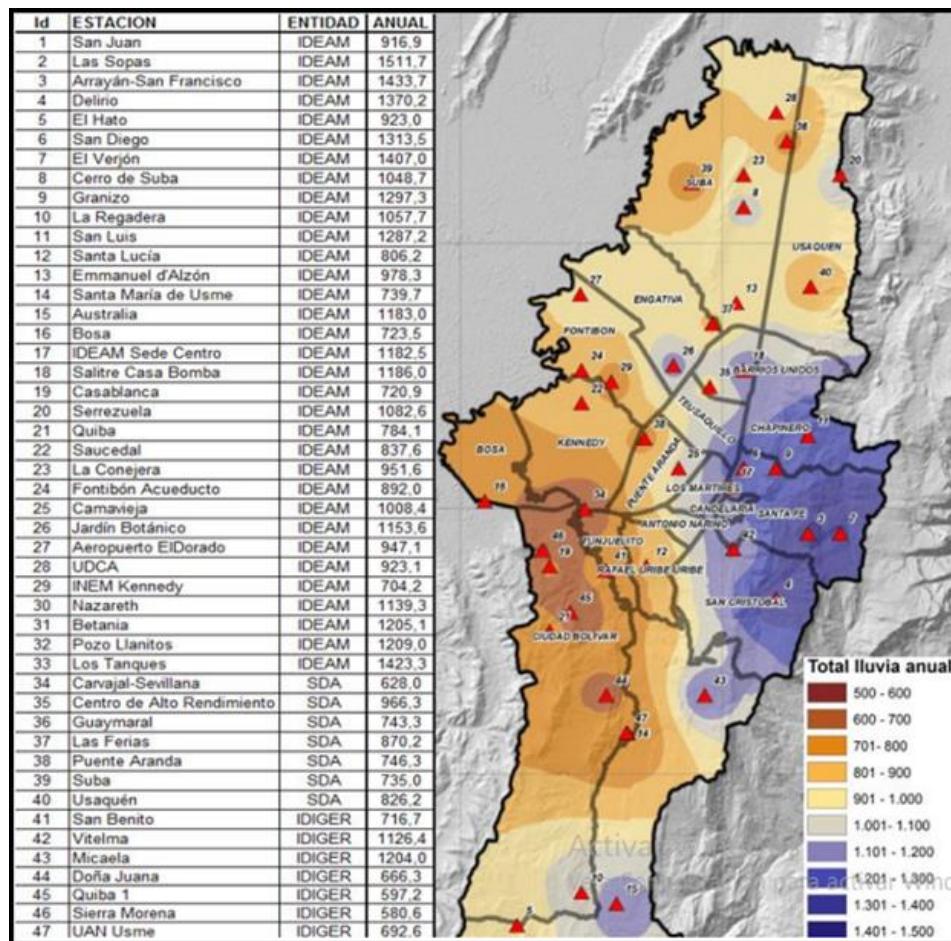
Las mediciones para la construcción de las isolíneas, es decir las curvas que se representan en la figura 33 se realizan mediante recopilaciones de datos históricos, es decir, datos hidrológicos y meteorológicos que se observan en la zona de observación, para el caso de Bogotá en la localidad de la Candelaria, siendo conocida por encontrarse sobre una zona elevada de la ciudad y que se rodea por boscosidad, haciéndolo propenso a altos niveles de precipitación y prolongadas temporadas de precipitación de lluvias.

En el caso de altos niveles de precipitación, se toma la decisión de maximizar el almacenamiento de los tanques de agua hasta su nivel máximo permisible y posteriormente a este punto, se realiza una desviación de la red de tubería mediante una canaleta que envíe las bajantes directo al desagüe o alcantarillado público, es decir, estas recolecciones implícitamente reúnen comportamientos o fenómenos climáticos reportados anteriormente, buscando reducir la incertidumbre del cálculo y aproximando al comportamiento futuro del clima en la zona seleccionada, las variabilidades pueden afectar la intensidad y frecuencia entre los datos obtenidos, pudiendo aumentar el error de cálculo para la selección en el segundo capítulo, sin embargo, estos errores se corrigen o mitigan bajo el factor de seguridad aplicado al cálculo. Las precipitaciones críticas son una situación que se espera sea un caso especial pero que se considera dentro de los escenarios previstos; además, la proyección de la planta es

aprovechar en conjunto la sede de economía (Salones M) con una conexión a futuro, para aprovechar una mayor área de recolección de agua lluvia.

Figura 32.

Mapa de la distribución espacial de la precipitación en Bogotá



Nota: Distribución de las precipitaciones sobre la ciudad de Bogotá, con calificación por color de acuerdo a la intensidad del nivel de lluvia sobre un área determinada a lo largo de un año. Tomado de: IDIGER. "Caracterización Climatológica De Bogotá, Como Un Aporte Al Fortalecimiento De La Red Hidrometeorológica De Bogotá (RHB)". IDIGER.

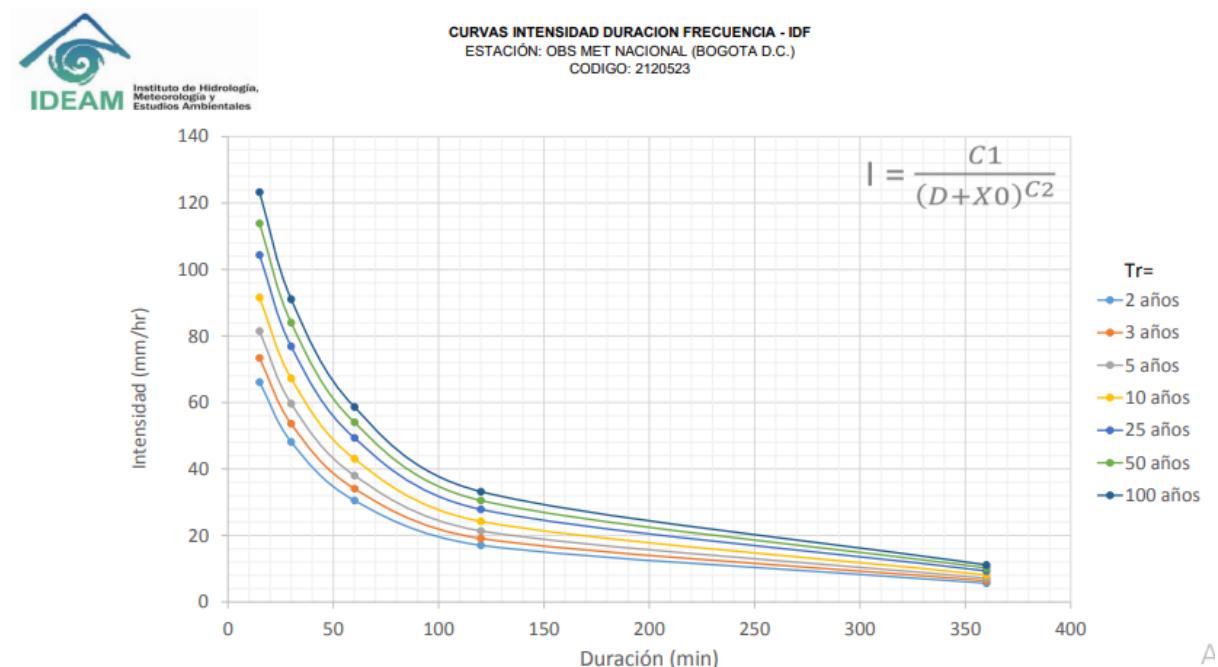
[https://www.idiger.gov.co/documents/20182/558631/Caract+Climatológica+-+Bogotá+\(1\).pdf/b5dbcea1-d291-40a0-8ee8-71ca322edcab](https://www.idiger.gov.co/documents/20182/558631/Caract+Climatológica+-+Bogotá+(1).pdf/b5dbcea1-d291-40a0-8ee8-71ca322edcab) (accedido el 10 de marzo de 2022).

Sin embargo para poder realizar la selección del calibre de las bajantes para el alivio de las aguas lluvias es necesario encontrar el valor de intensidad de lluvia en mm/h que se presenta

en la ubicación de estudio, para esto se debe indagar en las curvas de Intensidad duración frecuencia (IDF) para la estaciones meteorológicas más cercana de la que se tenga registro de este estudio; en este caso se tiene que la estación meteorológica Nacional ubicada en Bogotá D.C. es la única que cuenta con este estudio para la ciudad de bogotá. La gráfica IDF de dicha estación se muestra en la siguiente figura.

Figura 33.

Curva Intensidad duración frecuencia determinadas para la ciudad de Bogotá D.C.



Nota: Curvas IDF para la determinación de la intensidad de lluvia requerida para el dimensionamiento de las bajantes de la red de agua lluvia. Tomado de: "CURVAS IDF - CURVAS IDF - IDEAM". IDEAM - IDEAM. http://www.ideam.gov.co/curvas-idf-/document_library_display/WiU2xPoyv4KA/view/24541172?_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_to_pLink=home&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_delta2=20&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_keywords=&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_advancedSearch=false&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_andOperator=true&p_r_p_564233524_resetCur=false&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_cur2=2 (accedido el 13 de junio de 2022).

“Las curvas IDF representan la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno [12].

De acuerdo con la curva IDF los datos obtenidos para cada uno de los periodos de retorno y para cada duración de acuerdo a la intensidad se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Registro de Intensidad de lluvia respecto a la tasa de retorno y la duración .

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	66.2	73.4	81.5	91.7	104.6	114.1	123.6
30	48.2	53.5	59.5	67.0	76.4	83.4	90.4
60	30.7	34.3	38.4	43.4	49.8	54.6	59.3
120	16.8	18.9	21.2	24.1	27.8	30.6	33.3
360	5.8	6.4	7.1	8.0	9.1	9.9	10.7

Nota: Por medio de esta tabla se determina el valor de intensidad como requerimiento para el cálculo de bajantes de aguas lluvia, esto teniendo una tasa de retorno de 100 años que es el valor máximo que se encuentra en las curvas IDF. Tomado de: "CURVAS IDF - CURVAS IDF - IDEAM". IDEAM - IDEAM.

http://www.ideam.gov.co/curvas-idf-/document_library_display/WiU2xPoyv4KA/view/24541172?_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_topLink=home&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_delta2=20&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_keywords=&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_advancedSearch=false&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_andOperator=true&p_r_p_564233524_resetCur=false&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_cur2=2 (accedido el 13 de junio de 2022).

En donde la intensidad máxima de lluvia probable que se alcanza en la ciudad de Bogotá es de 123.6 mm/h durante los primeros 15 minutos de lluvia, con una tasa de retorno o probabilidad de ocurrencia de 100 años de acuerdo a la magnitud de esta precipitación. [12]

6.2.3 Agua de emergencia

Las duchas y lavaojos son mecanismos de seguridad obligatorios que se utilizan en lugares en los que se trabaja con químicos, líquidos agresivos o sustancias inflamables en donde existe siempre el riesgo de un accidente y como consecuencia una posible contaminación del cuerpo y de los ojos con sustancias perjudiciales, por lo que el objetivo principal de estos elementos de seguridad es el de poder descargar fácilmente una cantidad de agua la cual pueda extinguir llamas, eliminar contaminantes o diluirlos hasta hacerlos inofensivos. Estos dispositivos de seguridad se encuentran normalizados por la norma ANSI/ISEA Z358.1-2014[13].

6.2.4 Agua tratada

Este afluente, en general posee la misma línea metodológica del agua de proceso, ya que esta contendrá el agua de proceso luego de ser usada en la planta CEPIIS, en este se debe tener en cuenta que según la línea de proceso que este fluido sigue, debería considerarse como aquella agua que luego de pasar por la planta, se remite a la planta PTAR donde será adecuada y se almacenará para su posterior uso de nuevo en la planta. Así que según los lineamientos, posee la característica que se debe tener en cuenta en el agua de residuo presente en el proyecto de grado de Duran y Monsalve con la especial característica que el agua tratada no contiene los contaminantes de esta línea que componen aproximadamente el 8% del caudal total.

Sin embargo el volumen real de agua tratada de la PTAR está restringida por el tamaño disponible para la misma de 10.125 m³, además de contar con una cantidad limitada de tanques donde puede almacenarse el agua tratada cuya capacidad al día es de 8000 L.

La PTAR es una subdivisión importante en el área de sostenibilidad de la planta, que permite la descontaminación y desinfección de las aguas residuales producidas por la planta CEPIIS, esta es la zona principal que le permite al diseñador de la planta obtener el mínimo residuo posible, este tiene su gran ventaja que se encuentra en una zona oculta de la planta (bajo el piso) donde recibe estas aguas abajo, realiza sus actividades de desinfección y envía mediante su respectiva bomba el agua tratada hacia los tanques de almacenamiento disponibles en el cuarto de bombas.

Tabla 4.

Dimensiones para el tamaño de la PTAR.

Espacio disponible	Valor	Unidades
Largo	2.7	m
Ancho	1.5	m
Alto	2.5	m

Nota: La tabla anterior da las dimensiones de la planta de agua tratada en el centro CEPIIS.

Tabla 5.

Capacidad de almacenamiento para el agua tratada por la PTAR.

Requerimientos	Descripción	Unidades
Capacidad	8000	L/dia
Tanque de almacenamiento de agua lluvia	2000	L
Tanque de almacenamiento de agua residual	2000	L

Nota: Estos valores son aproximados según la información dada en la proyección inicial de la planta.

6.3. Tuberías y accesorios para las líneas de bombeo

Agua de proceso, emergencia, tratada y lluvia [14] :

Deben cumplir con las normas ASTM 26665-68 y CS-272-65 con normas ICONTEC. Se usan del tipo PAVCO o similar.

Tubería tipo PAVCO:

Tubería Sanitaria, Ventilación y Lluvia.

Está diseñada para transportar agua servida, residual doméstica, industrial, aguas lluvia y ventilación. Los tubos son de extremo liso y los accesorios con campana. El sistema de unión por medio de soldadura líquida, forman un conjunto homogéneo que desarrolla máxima resistencia en corto tiempo.

Las ventajas de usar esta tubería en este material específico son:

- Instalación en primer piso.
- Resistencia a la corrosión.
- Facilidad de instalación.
- Prefabricación de árboles.
- Durabilidad.
- Costos competitivos.

- Vida útil de hasta 50 años.
- Pared interna lisa.
- Liviana y resistente al impacto.

La utilización de estos sistemas para desagües sanitarios es práctica ya que permite eliminar las cajas que se usan cuando se usan otros tipos de tubería. Estos diseños contemplan adaptadores de limpieza en el punto de iniciación de la red. Estas tuberías sanitarias son fabricadas bajo la norma NTC 1087 y NTC 1341 los accesorios. [14]

Los tramos de tubería se describen a continuación dependiendo del tipo de fluido a transportar.

Tabla 6.

Tramos de tubería para agua de proceso

Tramos de tubería		
Disposición	Aspiración (m)	Impulsión (m)
Horizontal	1.5	77.4
Vertical Ascenso	0	12.5
Vertical descenso	3.85	15.65
Total	5.35	105.55
Total red	110.9	

Nota: desglose de la red de agua de proceso en tramos de disposición: Horizontal, vertical ascenso y vertical descenso para las secciones de impulsión y aspiración.

Tabla 7.

Tramos de tubería para agua de emergencia.

Tramos de tubería		
Disposición	Aspiración (m)	Impulsión (m)
Horizontal	1.5	44.8
Vertical Ascenso	0	5.2
Vertical descenso	3.85	14.95
Total	5.35	64.95
Total red	70.3	

Nota: desglose de la red de tubería de agua de emergencia en tramos de disposición: Horizontal, vertical ascenso y vertical descenso para las secciones de impulsión y aspiración.

Tabla 8.*Tramos de tubería para agua tratada*

Tramos de tubería	
Disposición	Medida en metros
Horizontal	12
Vertical Ascenso	14
Vertical descenso	0
Total	26

Nota: desglose de la red de tubería de agua tratada en tramos de disposición: Horizontal, vertical ascenso y vertical descenso.

Tabla 9.*Tramos de tubería para aguas lluvias*

Tramos de tubería	
Disposición	Medida en metros
Horizontal	8
Vertical Ascenso	0
Vertical descenso	15
Total	23

Nota: desglose de la red de tubería de agua lluvia en tramos de disposición: Horizontal, vertical ascenso y vertical descenso.

Accesorios:

Tabla 10.

Accesorios para la red de agua de proceso

Accesorios		
Tipo	cantidad Aspiración	Cantidad Impulsión
Conexiones en T	3	39
Codos de 90°	3	45
Conexión de válvula	2	32

Nota: Desglose de los accesorios necesarios para la red de agua de proceso

Tabla 11.

Accesorios para la red de agua de emergencia

Accesorios		
Tipo	cantidad Aspiración	Cantidad Impulsión
Conexiones en T	0	2
Codos de 90°	4	18

Nota: Desglose de los accesorios necesarios para la red de agua de emergencia

Tabla 12.
Accesorios para la red de agua tratada

Accesorios	
Tipo	cantidad
Conexiones en T	0
Codos de 90°	8
Conexión de válvula	0

Nota: Desglose de los accesorios necesarios para la red de agua tratada

Tabla 13.

Accesorios para la red de agua lluvia

Accesorios	
Tipo	cantidad
Conexiones en T	4
Codos de 90°	0
Conexión de válvula	0

Nota: Desglose de los accesorios necesarios para la red de agua lluvia

6.4. Tuberías para líneas de tubería bajo tierra

Para el siguiente literal, se describe que existirá una red de tubería que será dispuesta de manera subterránea, para permitir el paso de personal del edificio de almacenamiento al edificio principal, al mismo tiempo del paso de línea hidráulica, de señales, y de corriente, todo sin crear interferencias. Para ello se dispone el plan de instalación de tubería y accesorios como hace el acueducto en los diseños aprobados por EPM. Estas son denominadas instalación de tuberías en zanja que se realizan con excavaciones a cielo abierto, con equipos mecánicos o herramientas manuales, todo esto para ubicar la tubería en el fondo de la zanja con su debido soporte. Estas tuberías deben tener su prevención y precaución para no interferir con redes de otros servicios como lo son los de energía, telefonía, gas, acueducto y alcantarillado. [15]

Excavación de la zanja

Estas excavaciones se hacen según la norma de construcción de EPM: “*NC-MN-OC03-01 Excavaciones*”, en esta se establecen los requisitos técnicos para estas excavaciones a cielo abierto.

Estas se realizan por métodos manuales o mecánicos.

Para excavaciones de hasta 2 m de profundidad, a cada lado de la zanja, se deja una faja mínima de 0.6 m de ancho libre de tierra excavada, escombros, tubos u otros materiales. Con profundidades mayores de 2.0m, esta faja es de mínimo de 1 m.

El material retirado debajo de la cota de excavación debe ser reemplazado por material de igual o mejores características y debe ser compactado hasta la cota teórica de excavación. Además, se deben remover las rocas sueltas o cualquier material no deseable y los vacíos deben ser llenados con material de las mismas características anteriores.

En caso de haber sobreexcavación en las paredes esto debe garantizar que no se pierda la condición de zanja. Con esto se deben tomar las acciones pertinentes para proceder con el diseño de la cimentación en la nueva condición. En todo caso se debe verificar e informar al diseñador cuando se presenten estas situaciones en la obra. Cuando se realicen excavaciones en roca, tierra dura, pizarra o materiales similares, la línea de excavación se realiza según lo indicado en el diseño, si esta no se encuentra especificada, esta excavación se realiza hasta una profundidad de por lo menos 7.5 cm por debajo de la cota batea, con el fin de tener espacio para construir la cama de apoyo de la tubería. [15]

Estas excavaciones deben evitar la entrada de agua en la zanja y que se presente la flotación de tubos, si esto ocurre se realiza el manejo de aguas según la norma de construcción “Excavaciones”. Evitar la filtración de agua y permitir un buen ensamblaje de las tuberías. [15]

Ancho de las zanjas

El ancho mínimo de zanja aconsejable hasta la altura debe ser tal que permita la compactación adecuada del relleno a ambos lados de la tubería y el personal de instalación, este ancho no puede ser menor a los 0,70 m. Las paredes de las zanjas deben hacerse equidistantes del eje de instalación de la tubería, de tal forma que se mantengan verticales. Si se deben conformar taludes, la verticalidad de las paredes no se puede variar hasta no superar los 0.30 m por encima de la clave de la tubería que se va a instalar, o la altura necesaria para mantener la condición de zanja. [15]

Ahora bien, se indica los anchos de zanja para la instalación de tuberías según su material de fabricación:

Tabla 14.

Anchos de zanja para tubería según normativa nacional

Material de la tubería	Ancho de zanja (m)
Acero	1,50 DE + 0,20 m
CCP y Concreto	DE + 0,50 m
Glass Fiber Reinforced Plastic Pipe (GRP)	1,25 DE + 0,30 m
Hierro Dúctil (HD)	DE + 0,60 m
Policloruro de Vinilo (PVC)	DE + 0,40 m

Nota: Donde DE es el diámetro exterior. Si el resultado de estos valores resulta con valor inferior a 0.7 m, el ancho de la zanja será 0.7m. Tomado de: EPM. "NORMA DE CONSTRUCCIÓN INSTALACIÓN EN ZANJA DE TUBERÍAS DE PVC, HD, GRP, CCP Y ACERO EN REDES DE ACUEDUCTO".EPM. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL01_34_Instalacion_en_zanja_de_tuberia_de_PVC_HD_GRP_CCP_y_ACERO_en_redes_de_acueducto.pdf (accedido el 7 de abril de 2022).

Profundidad de la zanja [15]

Si estas excavaciones emplean equipo mecánico, estas se deben realizar hasta 0.2m por encima de la profundidad indicada por los planos, y el resto se realiza de forma manual, de tal manera que se presente un apoyo continuo en la totalidad del área de tubo en contacto con el suelo de fundación, con las campanas, de tal manera que la distribución de esfuerzos sea uniforme en la superficie de apoyo, evitando los esfuerzos de flexión.

La profundidad mínima debe colocarse la tubería de la red es de 1 m en vías vehiculares, tanto en zona rural como urbana, y de 0.6 m en vías peatonales o zonas verdes en zona urbana, y 1 m en zona rural, Tomado desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno, esto dispuesto en la Resolución Colombiana 0330 de 2017.

Donde se requiera una profundidad menor, se debe realizar un estudio que justifique la decisión con el comportamiento estructural de las tuberías.

Distancias mínimas a otras redes de servicios públicos. [15]

Se debe tener cuidado al realizar la excavación y colocación de tubería para no dañar las demás redes que cruzan por la instalación, para esto se debe tener un planteamiento de las redes existentes que se encuentran en un lugar. Dicha información se debe encontrar en planos y especificaciones del proyecto.

La ubicación de las redes de diseño se ubican según lo especificado en la norma *Diseño de acueducto de EPM* que se encuentran disponibles en documentos públicos que especifican las distancias verticales y horizontales que se deben cumplir para la correcta instalación de la red de acueducto. Estas distancias mínimas de redes primarias y secundarias respecto a otras redes según la norma *Diseño de acueducto de EPM* son las que corresponden:

Tabla 15.

Distancias de zanja dependiendo las redes que cruzan en la distribución de tubería

RED CON QUE SE CRUZA	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	DISTANCIA VERTICAL (m)
Red alcantarillado	1,5	0,3
Red de aguas lluvias	1	0,3
Red combinada	1,5	0,3

RED CON QUE SE CRUZA	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	DISTANCIA VERTICAL (m)
Red telefonía y eléctricas	1,5	0,3
Red de gas domiciliario	1,2	0,5

RED CON QUE SE CRUZA	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	DISTANCIA VERTICAL (m)
Red alcantarillado	1,5	0,5
Red de aguas lluvias	1	0,5
Red combinada	1,5	0,5
Red telefonía y eléctricas	1,5	0,5
Red de gas domiciliario	1,2	0,5

Nota: Distancias necesarias según las redes que se crucen. Tomado de: EPM. "Norma De Construcción Instalación En Zanja De Tuberías De Pvc, Hd, Grp, Ccp Y Acero En Redes De Acueducto". EPM. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL01_34_Instalacion_en_zanja_de_tuberia_de_PVC_HD_GRP_CCP_y_ACERO_en_redes_de_acueducto.pdf (accedido el 7 de abril de 2022).

6.5 Válvulas

En las obras y proyectos como este se incluyen todos los tipos de válvulas a usar, a continuación se indican las recomendaciones generales para la selección de estas. [16]

- En el cuarto de bombas, las válvulas de diámetro de 2" y superiores pueden ser de unión ranurada, roscada, soldada o bridada, y las de 1 ½" pueden ser de tipo roscada.
- Las válvulas en las redes generales de alrededor de 2" se recomienda usar las válvulas de unión ranurada o roscada.
- Las válvulas de paso directo, en tipo globo son del tipo Red White pesado o de características similares, todo soportado con la respectiva ficha técnica.
- Se usan válvulas de bola para diámetros de ½" y ¾" cuando se dé el pliego de cantidades
- Los materiales de las válvulas son en cuerpo total en hierro y asiento en bronce
- Las válvulas de retención de cuerpo de bronce debe tener extremos para soldar, roscar o ranurar, con asiento de teflón, disco de cobre, varilla de guía y resorte en acero inoxidable para instalación horizontal o vertical, deben ser iguales o similares a la válvula cheque de serie 600 watts regulator company.
- Para la descarga de las bombas eyectoras se instalará válvula de retención tipo cortina y la válvula de corte es en material plástico (PVC).

Válvulas reguladoras:

Estas se usan en diámetros mayores a las 2" y mayores para la unión bridada y tienen las siguientes características de fabricación:

- Cuerpo de fundición: Hierro
- Tapa de fundición: Hierro
- Tornillería: Acero inoxidable
- Resorte: Acero inoxidable
- Vástago: Acero inoxidable

6.6. Puntos de suministro de agua fría

Se usa tubería y accesorios de PVC presión para la red de distribución desde la salida del cuarto de bombas, pasando por los medidores de las unidades y llegando a los registros de control de cada unidad sanitaria. [17]

Dentro de las unidades sanitarias, luego del registro, se usa tubería de PVC presión con accesorios soldados.

6.7. Puntos sanitarios

Los puntos hidráulicos de duchas deben incluir el mezclador y el montaje de la red del agua combinada desde el mezclador hasta la descarga de ducha, este pequeño tramo de tubería CPVC RDE de alto impacto con la normativa ASTM D 2846. [17]

En el montaje de los lavamanos o puntos de alimentación de agua, se deben incluir acoples flexo metálico para realizar el empate en la entrada de los aparatos. Acompañado de una brida sanitaria, esta permite anclar al aparato con el propósito de mantenerlo permanentemente soportado al piso. Esta debe incluir los cauchos, tornillos y ranuras necesarias para el anclaje. [17]

6.8 Contadores de agua

Se especifican contadores Kent tipo JSM (o similar). Tanto la caja del medidor como su proceso de instalación cumplirán con las especificaciones y normas de la Empresa de Acueducto. Los medidores instalados en cajas enterradas tendrán un desagüe o filtro de drenaje en 3". Los medidores estarán provistos de una placa de identificación cuyas características serán [17]:

Material: Acrílico Tamaño: 0.08 x 0.05 x .005 ms. Colores: Fondo esmalte color rojo. Nomenclatura y flecha en color blanco. Letra imprenta.

Se medirá y pagará el suministro e instalación del medidor después de ser revisado y aprobado por la interventoría. La tubería se medirá y pagará por metros lineales (ML) y los accesorios, registros, cajas para medidores, plaquetas de identificación y la instalación del medidor por unidades (UN). [17]

6.9 Desinfección del sistema de agua potable

Antes de dar al servicio el sistema de agua potable se debe proceder a desinfectar siguiendo el proceso descrito a continuación. Se llenan las tuberías con una solución que contenga 50 partes por millón (PPM) de cloro disuelto durante seis horas, al cabo de las cuales se vaciará y se permitirá la circulación de agua potable a través de ellas para evacuar y lavar completamente la solución. Como procedimiento alternativo se puede emplear una solución de 100 partes por millón de cloro disuelto durante dos horas. Para todo tipo de tanque de agua potable se procederá a lavar su interior con una solución de 200 partes por millón de cloro disuelto. Después de lavar el tanque y eliminar los residuos de la solución se dejará un lapso mínimo de dos horas antes de proceder al llenado para su puesta en servicio. [17]

Se medirá y pagará en forma global (GL) la desinfección del sistema de agua potable después de ser revisado y aprobado por la interventoría. El precio al que se pagará será el consignado en el contrato. [17]

6.10. Pruebas

Descripción general

El procedimiento de control de calidad se realiza una vez que la tubería se ha instalado, y antes de ser puesta en servicio. La prueba consiste en someter un tramo de la tubería a una presión determinada, con el fin de determinar fugas o defectos en la instalación, para que éstos sean corregidos y de esta manera poder aprobar el funcionamiento del tramo instalado. [18]

Aspectos generales

La información que a continuación se suministrará hace parte del manual de pruebas hidráulicas publicado por la empresa colombiana EPM, que define los pasos y procedimientos necesarios para aplicar y validar la tubería, si su aplicación es correcta y se puede poner en funcionamiento el centro de procesos. Estas se realizan a todas las redes si son nuevas, existentes y en servicio, aún si son a ramales principales o derivaciones. [18]

La red nueva puede contener, collares de derivación, llaves de incorporación, bridas, tramos que contengan soldaduras o empalmes, válvulas, hidrantes, anillos y demás. Para reparaciones en tramos de red ya instalada no es necesaria la prueba de presión hidrostática. Esta se realiza con una bomba de émbolo con manómetro, que se instalan en la parte baja de la tubería, esta presión de prueba se tomará en el punto más bajo del tramo. [18]

Para cualquier tipo y material de tubería se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- En todo momento se debe garantizar en primera medida la seguridad de los operarios, el bien o la propiedad donde se realice el ensayo en conjunto con las condiciones ambientales que rodean el bien inmueble. Las zonas de trabajo se señalan para reducir el riesgo de accidentes y hacer más ágil el tránsito de usuarios y la movilidad entre las diferentes zonas de trabajo.
- La prueba de presión solamente se realiza con agua, nunca con otro tipo de fluido o incluso aire debido a los riesgos que se pueden presentar. El tramo se llena lentamente evitando que se presente una oleada o una trampa de aire. Toda trampa de aire se debe liberar, de ser necesario se debe permitir una salida de aire y válvulas de expulsión de aire al vacío (ventosas) apropiadas. Las válvulas o aberturas de aire al vacío son proveídas en los puntos altos de la tubería para que se expulsen las bolsas de aire a medida que se realice el llenado. De ser posible, el llenado se hace en los puntos bajos del sistema, que se aprovechan posteriormente para purgar la tubería.
- La tubería del agua no puede ser menor a los 5°C (40°F) o mayores a los 30°C (90°F). En caso de moverse fuera de estos rangos, se debe consultar con el fabricante para las recomendaciones y protección adicionales.
- El contratista es quien debe realizar esta prueba y se realiza bajo supervisión de la interventoría y el acueducto (en el caso de la ubicación en Bogotá), y si se solicita, se realizan ensayos adicionales.

- Las pruebas de presión hidrostática solo se realizan en tramos de máximo 500 m de tubería instalada. En las redes primarias, las longitudes son definidas por el contratista, así como el dimensionamiento de los anclajes y tapones requeridos, según el cronograma de trabajo y frentes de obra, que son validados por la interventoría y el acueducto.

Entre otros requisitos solicitados para este diseño es:

- Contar con una bomba capaz de elevar la presión en la tubería al valor de la presión de prueba, tanque de agua con volumen calibrado y medidor de caudal calibrado, manómetros calibrados, cronómetro y elementos de conexión entre la bomba y la tubería.
- La conexión de toma de agua limpia para lavado, llenado y prueba se debe preparar. El contratista selecciona el sistema más funcional y económico para el suministro de agua. Se revisan los accesorios como tapones, válvulas, ventosas, purgas, anclajes.
- Se debe limpiar manualmente la tubería, y si se necesita lavada con agua drenando hacia las purgas las suciedades y materiales extraños que se puedan quedar en la tubería. El agua producto se bombea a pozos húmedos o drenajes naturales. Los lodos, arenas y sedimentos se retiran y depositan en lugares adecuados.
- Se pueden usar tapones insertos en la tubería, calculada para equilibrar por fricción con el suelo circundante.

Manómetros

Estos manómetros a utilizar durante la prueba de presión hidrostática son de tipo digital o analógico contar con las siguientes características:

- Clase de precisión de 1 a 1.6
- La presión de la prueba de presión hidrostática debe estar entre el 25 y el 75% de la presión máxima que registra el manómetro
- Resolución 1 psi máximo
- Carátula vertical de 3” mínimo
- Protección IP 65
- Registro presión máxima (opcional para manómetro digital)
- Conexión vertical rosca ¼” o ½” NPT en acero inoxidable o en bronce.

- Certificado de calibración vigente, con un periodo de calibración no mayor a un año en el momento de realizar la prueba.

Procedimiento para la prueba de presión hidrostática según el material de la tubería.

Con las actividades preliminares y las recomendaciones especificadas, se procede a llenar la tubería, para esto se realiza el taponamiento de las válvulas de purga con elementos ciegos, y apertura del mecanismo. Se debe realizar la apertura de las válvulas de guarda, válvulas ventosas o elementos de venteo. [18]

Se instalan mínimo dos (2) manómetros para lecturas de la prueba en la abscisa acordar con interventoría. En caso que estos no se puedan instalar, se debe reevaluar el punto de instalación y se realizan correcciones de la cabeza hidrostática. Además, se debe tener un manómetro de repuesto en el momento de la prueba, adicionalmente se deben presentar los certificados de calibración. [10]

Estos manómetros se acoplan a una tubería de $\frac{1}{2}$ " y para los manómetros de rosca de $\frac{1}{4}$ " NPT se debe utilizar un adaptador roscado para conectar a la tubería. Una vez se llene la tubería, se verifica que no existan fugas durante el llenado y si existen se corrigen de inmediato mediante el ajuste de bridas y accesorios. [18]

Respecto a la resolución 0330 de 2017, artículo 87 *Presiones hidrostáticas y estanqueidad*, se llevan a cabo las pruebas sobre cada parte como tubería, válvulas y accesorios tomando como referencia los métodos que se describen en las normas NTC, AWWA (americanas), UNE (europeas). Teniendo en cuenta lo anterior, se dan los requisitos para el material seleccionado según la normativa.

Tubería PVC

Según la norma AWWA C 605, la prueba de presión hidrostática se ejecuta siguiendo el siguiente procedimiento:

Presión de prueba (P_p): La presión de prueba no debe ser menor que 1.25 veces la presión de trabajo (P_t) de la tubería medida en la elevación más alta a lo largo del tramo de prueba, y o

menos de 1.5 veces la presión de trabajo en la elevación más baja del tramo. Sin embargo, en ningún caso la presión de prueba (P_p) podrá exceder la presión de diseño de los anclajes, accesorios, tuberías y válvulas del tramo.

Duración de la prueba: la duración de la prueba de presión hidrostática sostenida es de 2 horas.

Tolerancia de la prueba: durante el tiempo de prueba, se requiere que el contratista evalúe la cantidad de agua que se inyecta al tramo de tubería para mantener la presión de prueba (P_p) con una variación de ± 5 psi (34 kPa). Si la cantidad de agua agregada es menor que el valor predeterminado por la ecuación que se presentará más adelante, la prueba se considera aceptable. La adición de agua mantiene la presión de prueba (P_p), que puede caer debido al aire atrapado en la tubería, a la absorción de agua por las paredes de la tubería y a las variaciones de temperatura durante la prueba. [18]

Para mantener la presión de prueba se bombea con una bomba de pistón desde un recipiente calibrado que permite tomar lecturas de volumen empleado o se debe insertar un medidor volumétrico. Se presenta el certificado de calibración del medidor. [18]

Durante la prueba de presión hidrostática, se evalúan las fugas de agua que se presenten en el tramo ensayado, las fugas no deben exceder los límites aceptables determinados por la siguiente expresión:

Ecuación 13

$$Q_f = \frac{L * D * \sqrt{P_p}}{795000}$$

Donde

- Q_f: Caudal de agua adicionada por fuga para mantener la presión de prueba (l/h)
- L: Longitud del tramo de tubería ensayado (m)
- D: Diámetro nominal de la tubería (mm)
- P_p: Presión de prueba del tramo de tubería ensayado (kPa)

Ninguna instalación se acepta si el caudal de fugas es mayor al límite mencionado y si la variación de la presión es mayor al valor especificado.

En la norma ANSI/AWWA C 605 para ver las tolerancias típicas de fugas para diferentes diámetros y presiones de prueba. [18]

6.11. Cajas de inspección

Comprende este ítem la mano de obra, herramientas, materiales, accesorios, etc., necesarios para la construcción de las cajas de inspección de la red de desagües y aguas lluvias bajo tierra. Características: Las cámaras de inspección son una estructura de ladrillo y concreto, de forma cuadrada de 0.8x0.8 m (interiores) y con tapa removible para permitir ventilación la ventilación, el acceso y el mantenimiento de los colectores. El espesor de la pared debe dar 0.12m. la parte inferior de la caja debe ser una placa cuadrada de concreto reforzada con resistencia $f_c=28 \text{ MPa}$ (280 kg/cm^2) con un tamaño máximo de agregado 19 mm y una malla de acero espaciado cada 0.15 cm en ambos sentidos, con barras cuya resistencia sea de 420 MPa (4200 kg/cm^2). En la base se debe construir cañuela en concreto. [17]

Las paredes deben ser construidas con ladrillo que cumpla con la norma NTC 4205, debe ser revestido con pañete impermeabilizado de espesor 0.01m, la placa de cubierta debe ser prefabricada en concreto reforzada con resistencia $c=MPa$ (350 kg/cm^2) y tamaño máximo de agregado 19 mm ($3/4"$). El diseño estructural de esta placa debe permitir su izaje para manipulaciones durante la construcción. [17]

Se medirá y se pagará en unidades (UN). El precio al que se pagará será el consignado en el contrato.

6.12. Canales de lámina

Los canales que recogen las aguas lluvias de cubierta serán de sección mostrada en los planos y en lámina galvanizada calibre 18 con soporte de estructura cada 1.50m para evitar que hojas de árboles y otros obstáculos la obstruyan se cubrirán con una malla de angeo. [17]

6.13 Extintores

Se plantea la instalación de extintores Polvo Químico ABC multipropósito con una capacidad de 10 libras cada uno, cargado de Polvo Químico seco ABC, Válvula metálica y de bronce, manguera y soporte de pared. Deben estar instalados a una distancia máxima de 3 metros cada uno. [17]

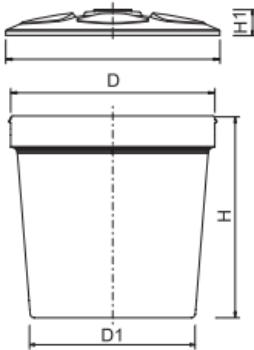
6.14 Tanques plásticos de almacenamiento

Los tanques de polietileno son adecuados para el almacenamiento de agua potable y la recolección de aguas lluvias. El polietileno es un material de bajo costo, no-tóxico, ligero, resistente a los esfuerzos mecánicos y químicos el cual es usado con frecuencia en las industrias envasadoras de productos de uso doméstico. [19]

Las medidas convencionales para este tipo de tanques las podemos encontrar en la siguiente tabla; en donde para este en concreto se utilizarán tanques de 2000 L. [19]

Tabla 16.

Capacidades comerciales para tanques de polietileno



Volumen bruto Litros	Dimensiones del tanque mm			Dimensiones de la tapa mm	
	D	D1	H	D2	H1
250	810	677	720	850	138.0
250 mini	932	815	443	989	124.4
500	931	758	934	975	170.0
1000	1.232	1.031	1.030	1.275	236.0
2000	1.520	1.220	1.550	1.585	280.0
6000	2.205	1.800	2.197	2.277	250.0
Agrotanque	932	815	443	-	-

Nota. Capacidades comerciales para tanques de polietileno. Tomado de: Eternit,

“tanques plásticos,” [Online]. Available:

<https://www.eternit.com.co/documents/32456/170778/FICHA+TECNICA+TANQUE+PLASTICOS.pdf/7ce436b6-e3ca-4580-8368-9c26dbab10ac>

6.15 Transporte, almacenamiento y manipulación

Para que el transporte de los tanques pueda realizarse de manera sencilla y sin ocupar demasiado espacio, estos pueden ser organizados en arrumes verticales de acuerdo a las cantidades que se indican en la *Tabla 17*. Estos arrumes pueden ser colocados sobre la plataforma del camión o sobre otros productos procurando siempre tener la precaución de hacerlo apoyándolos sobre cartón para evitar daños por rozamiento; de igual forma si el espacio en altura no es suficiente, los tanques se pueden cargar acostados y encajados uno entre otro, siempre colocando cartones de intermedio. [20]

Tabla 17.

Cantidad máxima de tanques por arrume.

Cantidad Máxima por arrume	
Litros	Tanques
6000	2
2000	5
1000	8
500	12
250	13
250 mini	15
Agro Tanque	15

Nota: Describe el requerimiento de tanques según el arrume seleccionado. Tomado de: Eternit, “tanques plásticos,” [Online]. Available: <https://www.eternit.com.co/documents/32456/170778/FICHA+TECNICA+TANQUES+PLASTICOS.pdf/7ce436b6-e3ca-4580-8368-9c26dbab10ac>.

6.16 Instrucciones de instalación para tanques

Según la ficha técnica de tanques plásticos eternit para la instalación adecuada de un estos tanques se deben tener en cuenta los siguientes ítems. [20]

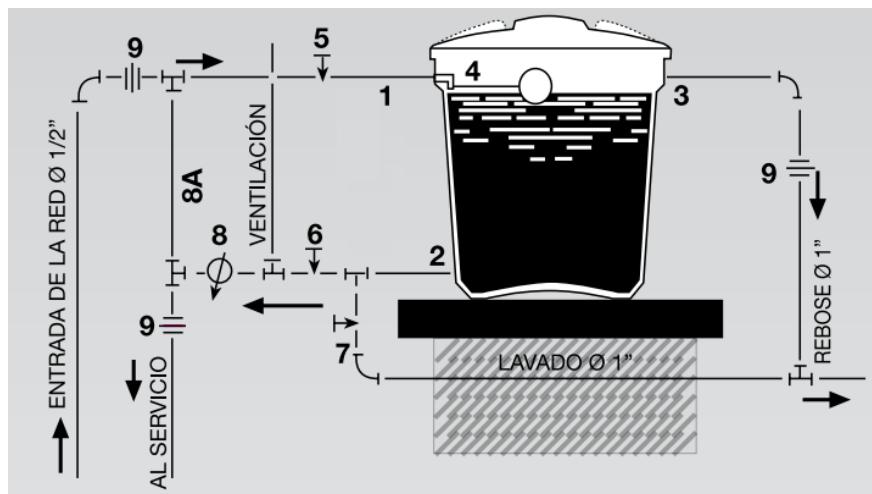
- Antes de instalar el tanque se recomienda lavar el interior con un desinfectante y enjuagar.
- La superficie que va a soportar el tanque debe ser totalmente horizontal, limpia y sin irregularidades que generen apoyos puntuales que lo deterioren o deformen.
- El área de la plataforma de apoyo debe ser mayor que el fondo del tanque para que no queden partes por fuera.
- La estructura de apoyo debe soportar un peso mayor al peso del tanque lleno. (Tener en cuenta la densidad del líquido).
- No almacene líquidos derivados del petróleo o solventes ya que pueden deteriorar el tanque.
- Las tuberías o mangueras empleadas para las instalaciones hidráulicas no deben estar torcidas, ni deben generar fuerzas o tensiones sobre el tanque.
- No hacer conexiones con tuberías torcidas o mangueras que halen el tanque.
- No enterrar el tanque bajo tierra.

6.17 Instalación hidráulica

Los tanques plásticos de almacenamientos cuentan con tres conexiones totales: la conexión de entrada, la conexión de salida y la conexión de rebose. Sin embargo, es necesaria la presencia de algunos accesorios más para su adecuado funcionamiento. [20]

Figura 34.

Esquema de instalación hidráulica para un tanque de almacenamiento.



Nota. Describe distancias y accesorios para la instalación de tanques de almacenamiento según su uso. *Tomado de:* Eternit, “tanques plásticos,” [Online].

Available:

<https://www.eternit.com.co/documents/32456/170778/FICHA+TECNICA+TANQUES+PLASTICOS.pdf/7ce436b6-e3ca-4580-8368-9c26dbab10ac>.

En donde cada uno de los elementos se designan de la siguiente manera [20]:

1. Conexión de entrada ø 1/2”.
2. Conexión de salida ø 1”.
3. Conexión de rebose ø 1”.
4. Válvula de entrada ø 1/2 “ y flotador.
5. Válvula de paso directo para interrumpir la entrada del agua en caso de reparación o lavado de tanque.
6. Válvula de paso para interrumpir la salida al servicio en caso de reparación o para lavado de tanque.
7. Válvula de paso, se abre solamente para lavar el tanque.
8. Cheque (8) y paso directo o bypass (8A), para aprovechar la presión del acueducto en la red interna de servicio.
9. Unión Universal.

6.18 Duchas y lavaojos

Especificaciones para duchas de emergencia.

Dimensiones críticas [13]

- 82 a 96 pulg. (2083 a 2438 mm) desde el cabezal de ducha hasta la superficie donde se encuentra el usuario.
- Para cuando el líquido de limpieza esté 60 pulg. (1524 mm) sobre la superficie donde se encuentra el usuario, el patrón de la boquilla rociadora debe tener un diámetro de 20 pulgadas. (508 mm).
- El centro del patrón de la boquilla rociadora debe estar a 16 pulgadas. (406 mm) de las obstrucciones.
- 69 pulgadas. (1753 mm) de altura máxima desde donde se encuentra el usuario hasta la válvula.

Criterios de rendimiento y mantenimiento [13]

- Líquido de limpieza mínimo de 20 GPM (75.7 LPM) a 30 PSI (2,1 bar) por 15 minutos.
- La válvula debe activarse fácilmente en un segundo o menos y mantenerse abierta hasta que sea cerrada intencionalmente.
- Si existe la posibilidad de congelamiento, se debe usar un producto diseñado específicamente para evitarlo.
- Las unidades con tubería se deben activar semanalmente por el suficiente tiempo para asegurarse de que éstas provean líquido de limpieza.
- Las unidades independientes se deben revisar visualmente y determinar si es necesario realizar una limpieza o cambiar el líquido de limpieza.
- Use un indicador de temperatura u otros medios para determinar si el líquido de limpieza está tibio (60° a 100° F [$15,5^{\circ}$ a $37,7^{\circ}$ C]).
- Determine si el líquido de limpieza se dispersa sustancialmente a través del patrón.

Especificaciones para lava ojos

Dimensiones críticas [13]

- 33 a 53 pulgadas. (838 a 1143 mm) desde las boquillas hasta la superficie donde se encuentra el usuario.
- Las boquillas deben también estar a al menos 6 pulgadas. (152 mm) de los muros o de cualquier tipo de obstrucción.
- Se debe utilizar un indicador de lavaojos para medir el patrón de flujo. Consulte la Ilustración 7 en la página 22 de ANSI/ISEA Z358.1-2014 para ver sus dimensiones exactas.
- Use un indicador de temperatura u otros medios para determinar si el líquido de limpieza está tibio (60° a 100° F [$15,5^{\circ}$ a $37,7^{\circ}$ C]).

Criterio de rendimiento y mantenimiento [13]

- Líquido de limpieza mínimo de 0,4 GPM (1,5 LPM) a 30 PSI (2.1 bar) por 15 minutos.
- La válvula debe activarse fácilmente en un segundo o menos y mantenerse abierta hasta que sea cerrada intencionalmente.
- Si existe la posibilidad de congelamiento, se debe usar un producto diseñado específicamente para evitarlo.
- Las unidades con tuberías se deben activar semanalmente por el tiempo suficiente para asegurarse de que éstas provean líquido de limpieza.
- Las unidades independientes no necesitan activación, pero sí una revisión visual para verificar que se disponga de suficiente líquido de limpieza.

6.19 Fluctuación en el rendimiento y operación del sistema de impulsión

La función básica que un sistema de bombeo debe cumplir es la de transportar un caudal determinado de un lugar a otro, contando además de esto normalmente con una condición mínima de presión a la que debe llegar el fluido; este sistema debe tener en cuenta que debe permitir un rango de variación tanto como para el caudal como para la presión. La variación del caudal o la presión pueden ocurrir por diferentes razones asociadas al impulsor/bomba o a la red de tubería por la cual el fluido se transporta o también al cambio de las condiciones climáticas.

Para el presente proyecto se tendrá en cuenta que para resguardar las condiciones mínimas de caudal de las redes diseñadas hará uso de un factor de seguridad de 0.3 como se observa previamente en los requerimientos de cada una de las redes. Además de ello en el momento de

realizar la selección del sistema de impulsión de cada red hay que verificar que cada bomba cumpla con la norma ISO 9906 que es la norma que define los valores permisibles de incertidumbre sistemática en el rendimiento de las bombas.

6.20 Nomenclatura de tubería

De acuerdo con la norma NTC 3458 que define la nomenclatura de instalación de tubería en estructuras, presentan un código para dar un nombre claro a los tipos de tubería que se aplicarán, respecto a esto, se presenta la siguiente información [21]:

Tabla 18.

Nomenclatura de tubería según el servicio en las edificaciones.

Contenido del tubo	Color de identificación	Código de indicaciones			Color de identificación
AGUA					
potable	verde		azul		verde
enfriamiento	verde		blanco		verde
alimento de caldera	verde	carmesí	blanco	carmesí	verde
condensado	verde	carmesí	verde esmeralda	carmesí	verde
enfriada	verde	blanco	verde esmeralda	blanco	verde
calefacción central < 100 °C	verde	azul ártico	carmesí	azul ártico	verde
calefacción central > 100 °C	verde	carmesí	azul ártico	carmesí	verde
fría, servicio descendente	Verde	blanco	azul ártico	blanco	verde
suministro agua caliente	Verde	blanco	carmesí	blanco	verde
potencia hidráulica	Verde		rosa salmón		verde
mar, río, no tratada			verde		
extinción de incendios	verde		rojo		verde

Nota: Describe la selección de color para aplicación según el tipo de fluido transportado. Tomado de: "Norma técnica colombiana NTC 3458 : higiene y seguridad. Identificación de tuberías y servicios". Google Books.

https://books.google.com.co/books/about/Norma_tecnica_colombiana_NTC_3458_higien.html?id=roTbMgEACAAJ (accedido el 14 de junio de 2022).

Entonces con la información anteriormente mencionada, se encuentran las siguientes denominaciones para las líneas de tubería, para cada uno de los siguientes fluidos de trabajo [21]:

- Tubería de agua de proceso o agua fría: Azul
- Tubería de agua fría de acueducto: Azul-Anillo blanco
- Tubería de agua fría contra incendio y de emergencia: Rojo

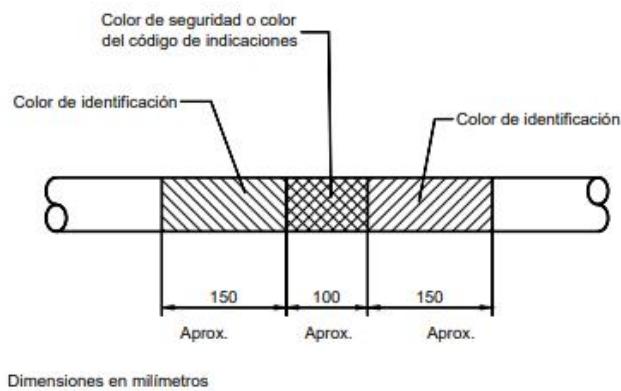
- Tubería de aguas residuales: Negro
- Tubería de aguas lluvias: Negro- Anillo azul

El método de aplicación es el siguiente [21]:

- Colores de identificación. Esto cuando solamente se requiera la identificación básica del fluido, el color de identificación se debe aplicar mediante alguno de los siguientes métodos:
- Pintado en el tubo sobre toda la longitud.
- Pintado en el tubo como banda en una longitud aproximada de 150 mm, en los puntos especificados más adelante.
- Aplicado por envolvimiento, alrededor del tubo, con una banda adhesiva o una grapa del color de identificación, en una longitud de 150 mm, como se especifica más adelante.

Figura 35.

Aplicación de colores de seguridad y colores del código de indicaciones



Nota. Aplicación de colores de seguridad del código de indicaciones. Tomado de: "Norma técnica colombiana NTC 3458 : higiene y seguridad. Identificación de tuberías y servicios".

Google

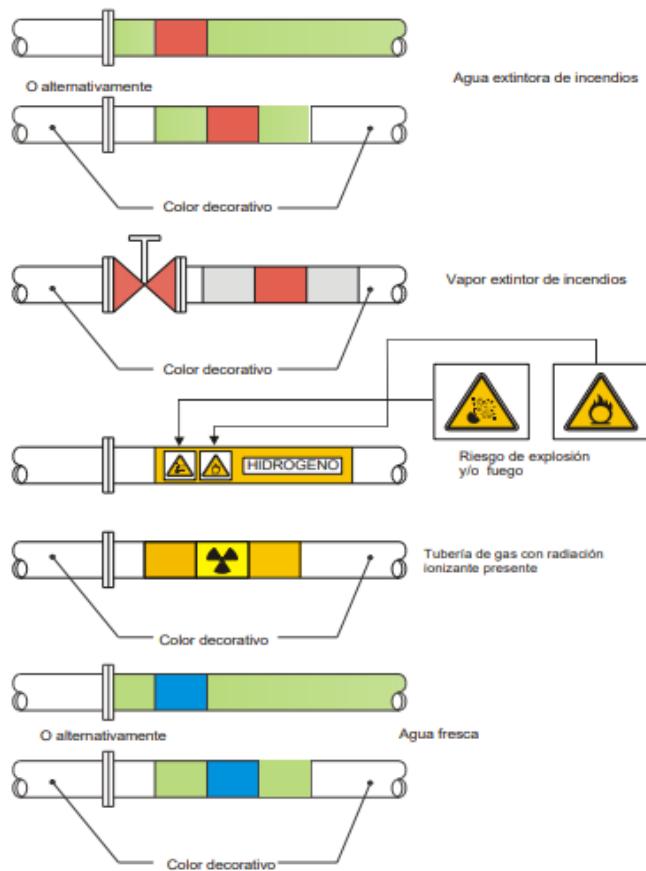
Books.

https://books.google.com.co/books/about/Norma_tecnica_colombiana_ntc_3458.html?id=roTbMgEACAAJ
(accedido el 14 de junio de 2022).

Para ejemplificar esto, se usarán las siguientes aplicaciones, como la siguiente figura

Figura 36.

Identificación de tubería según su color, basados en la norma NTC 3458



Nota. Identificación de tuberías según su color, basados en la norma NTC 3458. Tomado de: "Norma técnica colombiana NTC 3458 : higiene y seguridad. Identificación de tuberías y servicios". Google Books. https://books.google.com.co/books/about/Norma_tecnica_colombiana_NTC_3458_higien.html?id=roTbMgEACAAJ (accedido el 14 de junio de 2022).

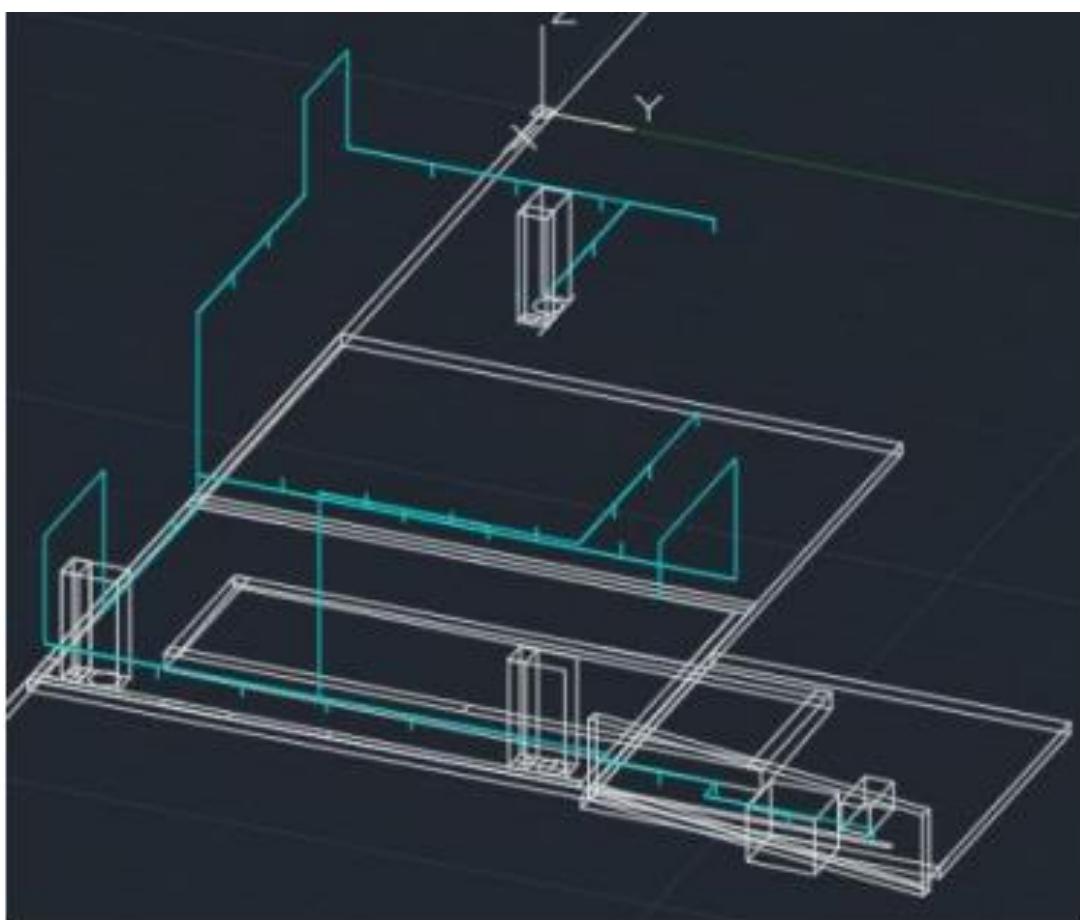
7. CÁLCULO HIDRÁULICO

7.1 Agua de proceso

El diseño de la red para el agua de proceso tiene como objetivo la alimentación de los equipos técnicos y de laboratorio que componen al CEPIIS, esto basados en la su respectiva disposición espacial dentro del edificio en donde la red comenzará en la PTAR y recorre el perímetro del edificio conectando con cada uno de los equipos disponibles, como se observa en la siguiente figura.

Figura 37.

Red de agua de proceso del CEPIIS



Nota: Esta figura es una ilustración de la distribución isométrica de la red de agua de proceso en la planta CEPIIS.

Para el diseño de la red se considera un punto de conexión cada 1.5m, con el fin de dar flexibilidad a la distribución de los equipos dentro de la planta piloto una vez se determine su ubicación final, o se adquieran nuevos equipos [10].

De acuerdo a la figura anterior para la distribución de la red de tubería para el agua de procesos se determinó los tramos de tubería de acuerdo a su disposición y la cantidad de accesorios requerida como se muestra en las tablas anteriores.

Con base en los datos recolectados se realizó el cálculo hidráulico para la red de agua de proceso, en donde a partir de la heurística que define el rango de las velocidades de flujo entre 1.2 m/s a 3 m/s [8]. Se determinó un valor óptimo para la red de 2.5 m/s; En donde por medio de este valor de velocidad y el caudal total para los equipos (8.58 m³/h - 0.002383 m³/s) despejando la *ecuación 2* se pudo determinar un diámetro de 0.03483 m o 34.83 mm.

Este valor se ingresa a la herramienta de cálculo dispuesta por los autores de “Diseño Esquemático de las redes de vapor, agua de proceso y agua residual de la planta piloto” la cual por medio de un valor teórico para el diámetro de la tubería y dependiendo del tipo de aplicación a la que se vaya a exponer arroja un resultado donde recomienda el material que debería tener la tubería y el calibre comercial adecuado para el respectivo valor teórico como se observa en la siguiente figura.

Figura 38:

Selección del calibre para la tubería de agua de proceso por medio de la herramienta de cálculo.

Diametro Nominal	42 mm 1 1/2 in
Diametro Interno(DI)	38.14 mm
Diametro Externo(DE)	42.2 mm
Calibre	21
Peso	0.395 kg/m
Espesor	2.01 mm

Nota: En esta figura se hace un análisis de la respectiva selección de tubería, diámetro según el requerimiento en la herramienta programada.

En este caso para una aplicación en agua de proceso y un diámetro teórico de 34.83 mm se determinó según el ítem 6.3 y al programa una tubería de PVC con un calibre 21, un diámetro interno de 38.14 mm y un espesor de 2.01 mm.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en la tubería es necesario determinar las propiedades del fluido para las condiciones requeridas de presión y temperatura, esto se realiza por medio del mismo programa previamente utilizado, en donde tenemos los siguientes datos de entrada; Presión de 2 bar y una temperatura de 13.1 °C la cual sería la temperatura promedio presentada en Bogotá según la página del IDEAM [22].

Figura 39.

Propiedades del agua para la red de agua de proceso por medio de la herramienta de cálculo.

Temperatura (T)	13.1 °C
Presión (P)	2 Bar
Servicio	Agua de Proceso <input type="button" value="▼"/>
Viscosidad(μ)	0.001198520 Pa*s
Densidad(p)	999.479063551 kg/m³

Nota: En la figura anterior se analizan las condiciones.

De acuerdo a los datos recolectados de las propiedades del fluido, el caudal, diámetro comercial, la longitud, rugosidad 0.0015 mm y accesorios de la tubería se pudo determinar las pérdidas de energía producidas por la tubería como por sus accesorios, gracias al programa creado por Danna Duran y Christian Monsalve con un resultado de 14.04116 m como se muestra a continuación.

Figura 40.

Pérdidas de energía producida por la tubería y por los accesorios para la red de agua de proceso por medio de la herramienta de cálculo programada

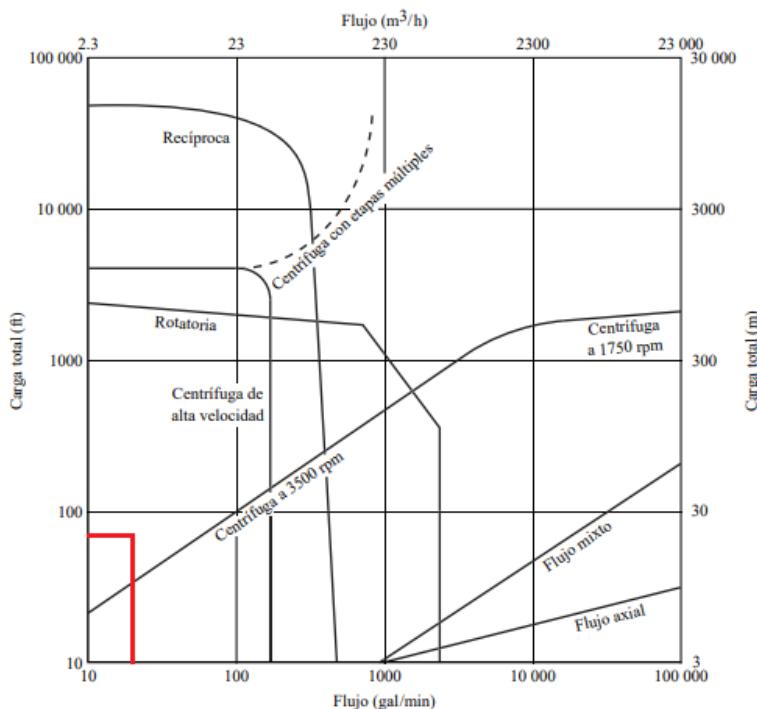
Densidad(ρ)	999.4790636 kg/m ³	PROPIEDADES	INICIO
Viscosidad(μ)	1.20E-03 Pa*s		
Caudal (Q)	8.58 m ³ /h		
CALCULAR PERDIDAS			
Longitud(L)	110.9 m		
Diametro (D)	3.51E-02 m		
Rugosidad(ϵ)	1.50E-06 m		
Accesorios	Perdida de Carga (hf) 14.041159 m		
Cantidad actual	Codo Estándar 90°	45	ADICIONAR ACCESORIOS
			QUITAR ACCESORIOS
			LIMPIAR
Tipo			
Angulo			
Diametro Menor			AGREGAR
Diametro Mayor			BORRAR
			Activar Windows

Nota: Aquí se realiza una programación donde se calcula la pérdida de carga en la tubería de red de proceso.

Por consiguiente el valor para la altura total o cabeza del sistema estaría definido por las pérdidas de energía del fluido con la superficie, las pérdidas por accesorios y la altura de máxima presentada en la red de agua de proceso que es de 12.5 m. Por lo tanto la cabeza o la altura a la que tendría que ser bombeada el agua de la red de proceso es de 26.54116 m. Con los resultados obtenidos de cabeza y caudal se determinó por medio del diagrama de selección la bomba adecuada que cumple con los requerimientos de la red de agua de proceso.

Figura 41.

Diagrama para la selección de bombas para la red de agua de proceso



Nota: Selección de Bomba según su carga y flujo. Tomado de: Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

Basado en las condiciones de caudal y cabeza de la red de agua de proceso la bomba que se adecua para esta aplicación son el tipo de bombas centrífugas de alta velocidad, la cuales “operan muy por encima de la velocidad de 3500 rpm determinada para los motores eléctricos estándar” se recomiendan para manejar cargas altas y capacidades moderadas [8].

En conjunto a la recomendación del diagrama en la figura anterior dada en el libro de Mecánica de Fluidos Mott se realizó una búsqueda exhaustiva de catálogos de bombas de alta velocidad la cuales cumplieran con los requerimientos de la red, de los catálogos y los modelos de bombas encontrados los más relevantes fueron: el catálogo Inoxpa con el modelo de bomba Centrifuga higiénica prolac con un rodamiento semicerrado de acero inoxidable AISI 316L de 8 alavés con mecanismo monoblock de diseño higiénico adecuada para su uso en la industria láctea, de bebidas y alimentaria en general, en su modelo HCP 40-150 (2900 rpm), un consumo de potencia de 1.25 KW con una eficiencia para las condiciones requeridas de 52% y la misma

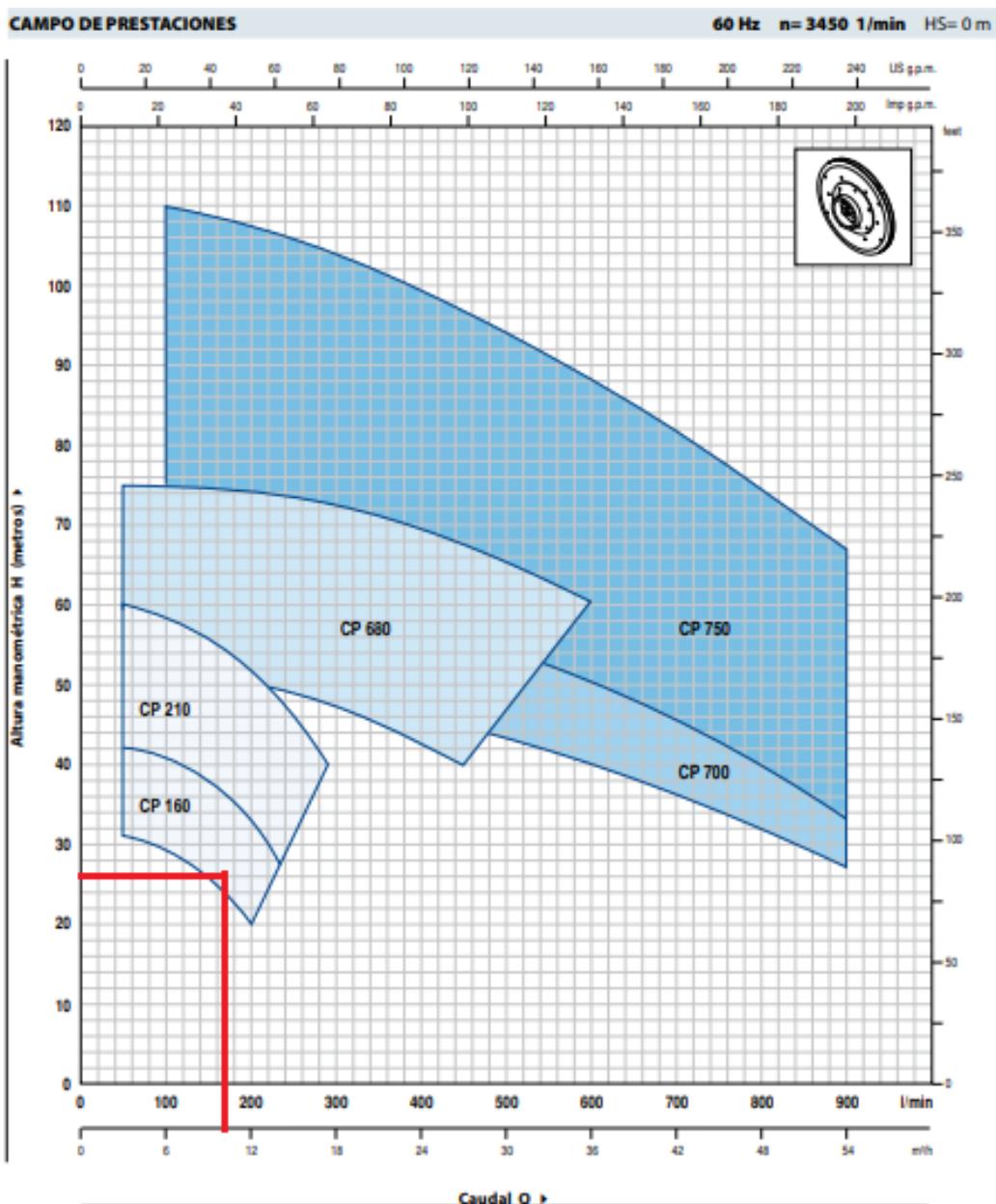
bomba con el modelo 40-150 (3500 rpm) con una eficiencia del 54.5% [23], también se encontró el catálogo FPS con la bomba centrífuga serie AG acoplada a motor diseñada para incrementar la potencia y el desempeño usada en aplicaciones como: Alimentación de Caldera, Tratamiento y Suministro de Agua, Lavaderos, Recirculación de Agua Caliente & Fría entre otros, el modelo más notable de esta bomba fue el A1.5 x 1-7 (Velocidad variable) con un tipo de rodete cerrado de Hierro Fundido, ASTM-A48 CL30 de 6 alavés la cual a pesar de tener velocidad variable cuenta con una eficiencia del 50% contando con un consumo de 2 KW [24]. Por último, se encontró en catalogo pedrollo electrobomba centrífuga con un tipo de rodete cerrado de latón de 6 alavés recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos, además por confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio uso en el sector civil, agrícola e industrial, para el suministro de agua, para instalaciones de acondicionamiento o de enfriamiento, el modelo más notable de esta bomba para la aplicación de este caso es el CP160B (3450 rpm) con una eficiencia del 56% con un consumo de 1.5 KW. [25]

Teniendo en cuenta las características de cada bomba se seleccionó la electrobomba centrífuga CP160B la cual fue seleccionada en comparación a las demás por su alta eficiencia y bajo consumo de potencia, aunque el modelo HCP 40-150 tiene una eficiencia que se le aproxima y consume medio kilo watt menos; sin embargo, la empleabilidad de ese modelo se concentra en aplicaciones higiénicas lo que hace que el uso de ese modelo en la red de agua de proceso no se acople a las condiciones específicas.

Para realizar la selección del modelo escogido dentro del catalogo pedrollo [25] como para las demás previamente nombradas; se recurre al diagrama de calificación de las bombas de cada uno como el de la siguiente figura, en donde por medio de los requerimientos de la red previamente definidos como lo son el caudal y la cabeza se realizó una selección preliminar de las bombas más adecuadas para esta aplicación.

Figura 42.

Diagrama de calificación compuesta para una línea de electrobombas centrífugas del catálogo general de la empresa Pedrollo.



Nota: Selección de electrobomba según las condiciones seleccionadas en el caso de estudio. Tomado de: Pedrollo. "Catálogo general". Casa del riego Ecuador. <https://www.casadelriegoecuador.com/wp-content/uploads/2020/09/CATALOGO-GENERAL-PEDROLLO-60Hz.pdf> (accedido el 11 de febrero de 2022).

De acuerdo al diagrama de calificación del catálogo pedrollo se encontró que la bomba CP 160 tiene la capacidad de cumplir con los requerimientos de caudal y cabeza de la red de agua de

proceso por lo que se procede a evaluar la curva característica de este modelo. Para ello es necesario comparar las curvas propuestas con la curva del sistema la cual está descrita por la ecuación 12.

Tabla 19.

Definición de resultados para la curva del sistema de la red de agua de proceso

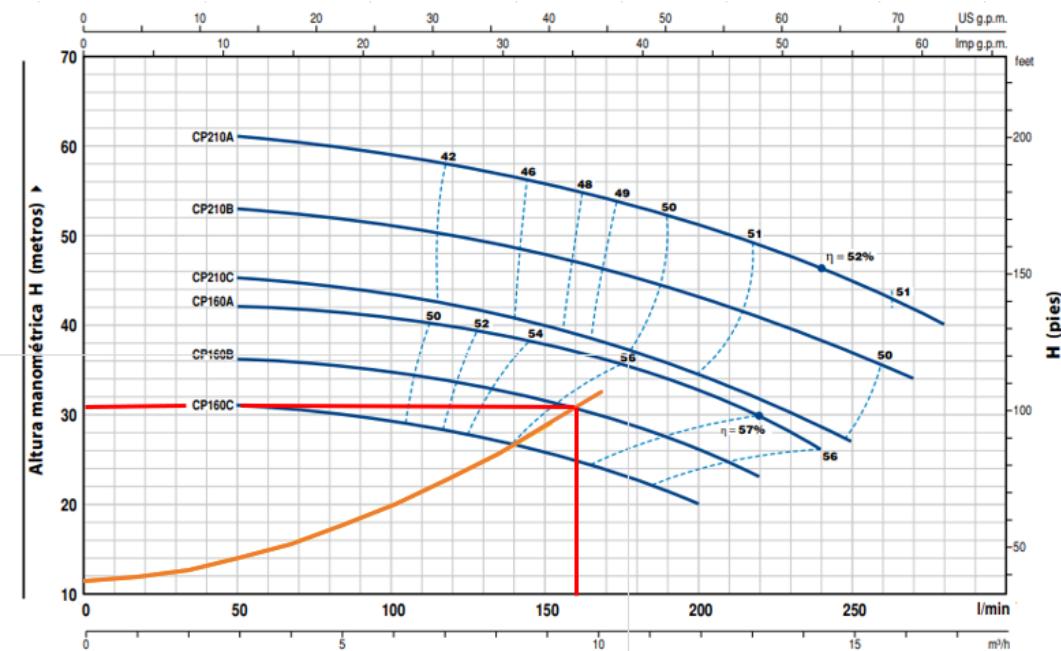
Cudal (Q (m ³ /h))	Hra	Hri	H
0	0.00	0.00	12.50
1	0.04	0.31	12.85
2	0.14	1.02	13.68
3	0.29	2.08	14.90
4	0.49	3.45	16.49
5	0.72	5.13	18.42
6	1.00	7.09	20.70
7	1.31	9.33	23.29
8	1.67	11.85	26.20
9	2.06	14.66	29.46
10	2.49	17.56	32.85

Nota: Esto crea la curva que permite obtener el punto de operación para la curva característica de la bomba.

Por medio de la herramienta programada [10] se realizó una tabulación del caudal utilizando la ecuación 12 cuyos resultados fueron graficados para determinar así la curva del sistema. La cual fue utilizada para sobreponerla a la curva de comportamiento de la bomba y así encontrar su punto de operación como se observa en la siguiente figura. Este ejercicio dio como resultado el comportamiento de la bomba respecto a la red de agua de proceso en donde para un caudal de 8.58 m³/h que se buscaba esta bomba arrojó en su punto de operación tendría un caudal aproximado de 9 m³/h con una presión de cabeza 31.5 m y una eficiencia del 56.2% por lo que de acuerdo a la tabla anterior para una caudal de 9m³/h la bomba debería tener una cabeza de 29.46 m por lo que esta bomba estaría cumpliendo con los requerimientos dados por la red, además de hacerlo con la mayor eficiencia encontrada respecto a los anteriores catálogos mencionados.

Figura 43.

Curva característica de la altura manométrica de la electrobomba centrífuga de 3450 rpm del catálogo general de la empresa Pedrollo.

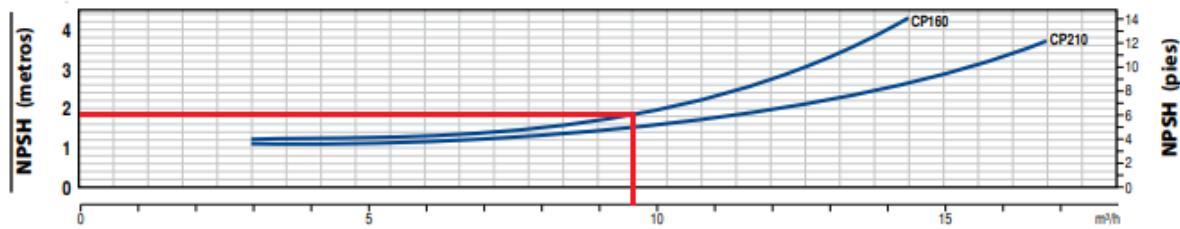


Nota: Selección de eficiencia según flujo y altura de bomba. Tomado de: Pedrollo. "Catálogo general". Casa del riego Ecuador. <https://www.casadelriegoecuador.com/wp-content/uploads/2020/09/CATALOGO-GENERAL-PEDROLLO-60Hz.pdf> (accedido el 11 de febrero de 2022).

Para la adecuada selección de una bomba es necesario verificar que los valores de NPSH cumplan con la regla de que el NPSH disponible debe ser mayor al NPSH requerido para evitar que exista cavitación dentro de la bomba. Para el caso de la bomba CP160B el NPSH requerido según la gráfica característica de la bomba es de 2 m como se evidencia en la siguiente figura.

Figura 44.

Curva característica de NPSH de la electrobomba centrífuga de 3450 rpm del catálogo general de la empresa Pedrollo.



Nota: Selección de eficiencia según flujo y NPSH. Tomado de: Pedrollo. "Catálogo general". Casa del riego Ecuador. <https://www.casadelriegoecuador.com/wp-content/uploads/2020/09/CATALOGO-GENERAL-PEDROLLO-60Hz.pdf> (accedido el 11 de febrero de 2022).

A partir del NPSH requerido obtenido de la gráfica anterior se procede a calcular el NPSH disponible por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 14.

$$NPSH_{disp} = H_{Ed} = \frac{P_l - P_b}{\rho g} \pm Ha - h_a$$

$$NPSH_{disp} = \frac{73970 \text{ pa} - 1510 \text{ pa}}{(999.47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}) * (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} + 3.35 \text{ m} - 2.49 \text{ m}$$

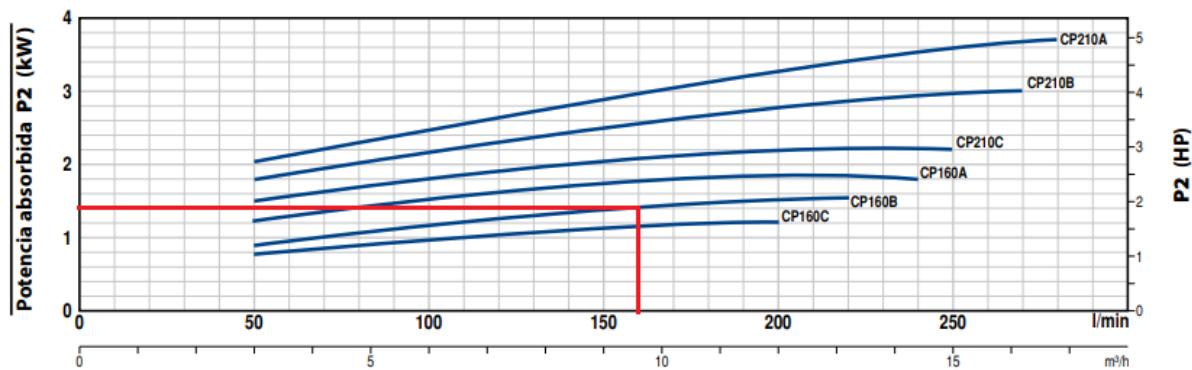
$$NPSH_{disp} = 8.25 \text{ m}$$

$$NPSH_{disp} (8.25 \text{ m}) \geq NPSH_{req} (2.5 \text{ m})$$

De acuerdo a los resultados arrojados por el NPSH disponible y el valor del NPSH requerido sacado de la gráfica de la bomba se evidencio que la carga neta positiva de la bomba en aspiración no es propensa a generar cavitación la cual pueda perjudicar el funcionamiento de la bomba o de sus componentes. Esto teniendo en cuenta el 0.5 de factor de seguridad para el NPSH requerido como se evidencia en los cálculos anteriores.

Figura 45.

Curva característica de potencia de la electrobomba centrífuga de 3450 rpm del catálogo general de la empresa Pedrollo.



Nota: Selección de potencia según flujo y tipo de bomba. Tomado de: Pedrollo. "Catálogo general". Casa del riego Ecuador. <https://www.casadelriegoecuador.com/wp-content/uploads/2020/09/CATALOGO-GENERAL-PEDROLLO-60Hz.pdf> (accedido el 11 de febrero de 2022).

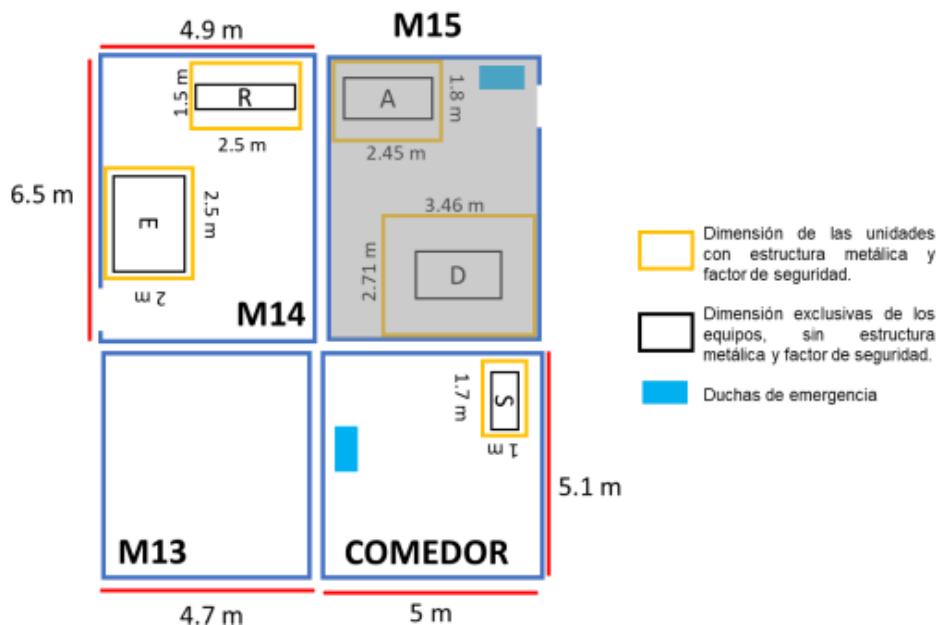
Por último se realiza por medio de la gráfica característica de la bomba la determinación de la potencia consumida en las condiciones del punto de operación de la bomba respecto al sistema y dando un valor de 1.4 KW lo cual está dentro de los valores que se encontró para las bombas de los catálogos revisados en el análisis previo.

7.2 Agua de lluvia

El diseño de la red de agua de lluvia se realiza para dar alivio a las precipitaciones que se presenten en el lugar del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible, teniendo en cuenta su ubicación en la sede de los cerros de la Fundación Universidad de América, para ello es necesario tener en cuenta el comportamiento pluvial descrito previamente en la sección 6.2.2 de agua lluvia además de las especificaciones estructurales de edificio del CEPIIS más específicamente de la superficie de influencia o de captación de agua lluvia.

Figura 46.

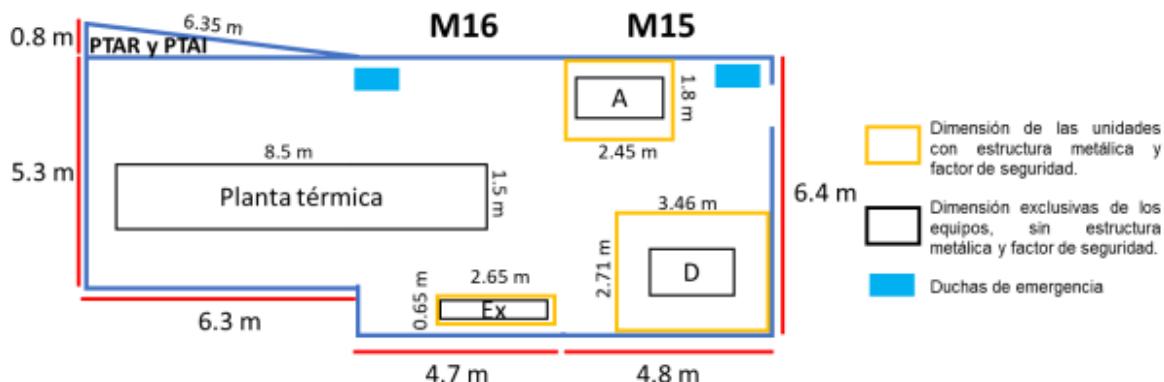
Plano de Distribución de unidades de proceso en el segundo nivel de la planta.



Nota: Selección de área de recolección de agua lluvia. Tomado de: D. Durán y C. Monsalve. "Diseño Esquemático De Las Redes De Vapor, Agua De Proceso Y Agua Residual De La Planta Piloto". Fundación Universidad de América. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8640> (accedido el 10 de marzo de 2022).

Figura 47.

Plano de Distribución de unidades de proceso en el primer nivel de la planta.



Nota: Selección de área de recolección de agua lluvia en la primera planta. Tomado de: D. Durán y C. Monsalve. "Diseño Esquemático De Las Redes De Vapor, Agua De Proceso Y Agua Residual De La Planta Piloto". Fundación Universidad de América. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8640> (accedido el 10 de marzo de 2022).

De acuerdo con las figuras anteriores y teniendo que el segundo nivel de la planta se sobrepone al primero el área de influencia para la captación de lluvia es de 113.17 m^2 sin embargo de acuerdo a la metodología de cálculo para bajantes de aguas lluvia con una intensidad diferente a 100 mm/h es necesario utilizar un factor de corrección para el área de influencia, el cual está definido como [26]:

Ecuación 15

$$f = \frac{i}{100}$$

Nota: (i) es la intensidad de lluvia alcanzada en la zona de estudio.

Por lo que de acuerdo a la intensidad de 123.6 mm/h encontrada previamente, el factor de corrección sería de 1.234, el cual al multiplicarse por el área de influencia da una corrección de 139.87812 m^2 . De acuerdo a este valor para la superficie de influencia corregida y por medio de la siguiente tabla se obtiene que el diámetro de las bajantes de la tubería de aguas lluvia es de 75 mm.

Tabla 20.

Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h.

Superficie en proyección horizontal servida (m²)	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Nota: Selección de proyección horizontal para diámetros de bajantes. Tomado de: "Documento básico". Código Técnico Org. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DccHS.pdf> (accedido el 11 de mayo de 2022).

De acuerdo la aplicación de la red y el diámetro obtenido por medio de la tabla para bajantes pluviales, se determinó por medio de la herramienta de cálculo un calibre comercial de 21 con un espesor de 4.24 mm para una tubería en PVC.

Figura 48.

Selección del calibre para la tubería de agua de lluvia por medio de la herramienta de cálculo.

Diametro Nominal	88 mm 3 1/2 in
Diametro Interno(DI)	80.42 mm
Diametro Externo(DE)	88.9 mm
Calibre	21
Peso	1.761 kg/m
Espesor	4.24 mm

Nota: Este permite realizar selección del calibre de tubería para la red de agua lluvia.

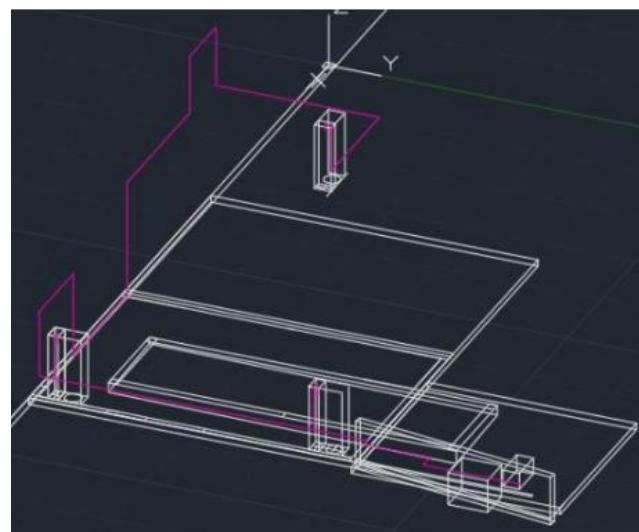
7.3 Agua de emergencia

Este tipo de red de emergencia comprende a las duchas de emergencia y lavaojos lo cuales son dispositivos imprescindibles para laboratorios u otros sitios donde se tenga riesgo de contaminación o

incendio, la red de distribución de agua de emergencia del CEPIIS consta de 3 duchas de emergencia con su respectivo lavaojos cada una como se muestra en la siguiente figura.

Figura 49.

Red de agua de emergencia del CEPIIS.



Nota: Esta es una red de distribución simulada mediante autocad.

Las condiciones de trabajo de las duchas de emergencia y los lavaojos están estipuladas por la norma ANSI/ISEA Z358.1-201 en donde para seguridad del diseño se aplica un factor de seguridad al flujo de agua de 0.3 a cada equipo; de acuerdo a el nuevo flujo calculado con el factor de seguridad y al tiempo mínimo de duración descrito por la norma [13], la capacidad requerida en tanques para alimentar la red de emergencia teniendo en cuenta el caso mas critico que sería cuando todos los equipos fueran abiertos al tiempo es de 4517.5 L, en donde para ello van a ser utilizados 3 tanques pulmón de 2000 L de capacidad quedando con 1482.5 L adicionales que suman aproximadamente 5 minutos a el tiempo disponible para la red.

Tabla 21.

Especificaciones Hidráulicas para duchas y lavaojos de emergencia.

Equipo de emergencia	cantidad	Flujo (m ³ /h) individual	Flujo individual con factor de seguridad (m ³ /h)	Presión (Bar)	Duración según la Norma (min)
Duchas de emergencia	3	5.455	7.0919	2.1	15
Lava ojos	3	0.109	0.1418	2.1	15

Nota: Esta es la especificación según requerimientos de la planta para realizar los respectivos cálculos de la red de emergencia.

Correspondiente a los datos recolectados en la norma se realizó el cálculo hidráulico para la red de agua de emergencia, en donde de acuerdo a la heurística previamente descrita [8], se determinó la velocidad para la red de 2.5 m/s; En donde para un flujo volumétrico de las tres duchas igual a 21.7 m³/h se calculó un diámetro de tubería de 0.05540 m. Este valor se ingresa a la herramienta de cálculo dispuesta por los autores de “Diseño Esquemático de las redes de vapor, agua de proceso y agua residual de la planta piloto” la cual por medio de un valor teórico para el diámetro de la tubería y dependiendo del tipo de aplicación a la que se vaya a exponer arroja un resultado donde recomienda el material y el calibre comercial para la tubería.

Figura 50.

Selección del calibre para la tubería de agua de emergencia por medio de la herramienta de cálculo.

Diametro Nominal	60 mm 2 1/2 in
Diametro Interno(DI)	55.7 mm
Diametro Externo(DE)	60.3 mm
Calibre	26
Peso	0.655 kg/m
Espesor	2.31 mm

Nota: La herramienta programada permite la selección del calibre de tubería según requerimiento.

De acuerdo a la herramienta de cálculo para la red de agua de emergencia y el diámetro teórico de 55.4 mm se determinó una tubería de PVC con un calibre 26, un diámetro interno de 55.7 mm y un espesor de 2.31 mm.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en la tubería se tomaron las propiedades del fluido usadas previamente ya que la calidad del agua va a ser la misma además de encontrarse almacenada en iguales condiciones, también se tomará en cuenta la longitud total de la tubería, la cantidad de accesorios cuyo valor se describe en la sección 6.3, el diámetro comercial de la tubería y su rugosidad.

Figura 51.

Pérdidas de energía producida por la tubería y por los accesorios para la red de agua de emergencia por medio de la herramienta de cálculo.

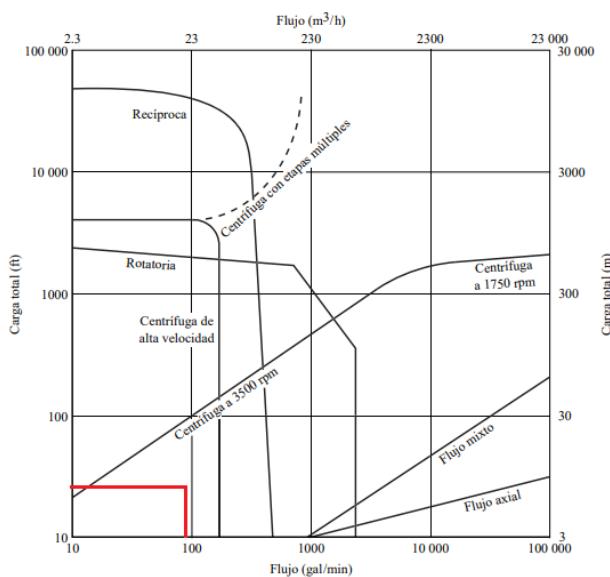
Densidad(ρ)	999.4790636 kg/m ³	PROPIEDADES	INICIO
Viscosidad(μ)	1.20E-03 Pa*s		
Caudal (Q)	21.7 m ³ /h		
CALCULAR PERDIDAS			
Longitud(L)	70.3 m		
Diametro (D)	5.57E-02 m		
Rugosidad(ϵ)	1.50E-06 m		
Accesorios	Perdida de Carga (hf) 7.4374775		
Cantidad actual	Codo Estándar 90°	22	ADICIONAR ACCESORIOS
			QUITAR ACCESORIOS
Tipo	LIMPIAR		
Angulo			
Diametro Menor			
Diametro Mayor			
	AGREGAR	BORRAR	Activar Windows

Nota: Esta hoja de cálculo permite hallar pérdida de carga para la red de agua de emergencia.

De acuerdo con el cálculo realizado, las pérdidas de energía por superficie y accesorios para la red de agua de emergencia es de 7,437 m en donde por medio de este valor y la altura total de la red de 5,2 m se determinó un valor para la cabeza de la bomba igual a 12.637 m; Con estos valores obtenidos de cabeza y caudal (21.7 m³/h) se determinó por medio del diagrama de selección la bomba adecuada que cumple con los requerimientos de la red de emergencia.

Figura 52.

Diagrama para la selección de bombas para la red de agua de emergencia.



Nota: Selección de Bomba según su carga y flujo. Tomado de: MOTT, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimp.). México: Pearson Educación.

La bomba que se adecua para la red de agua de emergencia coincide con dos tipos de bomba diferente: Las bombas centrífugas de alta velocidad y las bombas centrífugas de una sola etapa que trabajan a 3500 rpm, sin embargo de acuerdo a que las bombas de alta velocidad se recomiendan para manejar cargas altas y capacidades moderadas es mejor opción utilizar las bombas a 3500 rpm puesto que la recomendación para ellas está dada para caudales bajos y cargas moderadas [8].

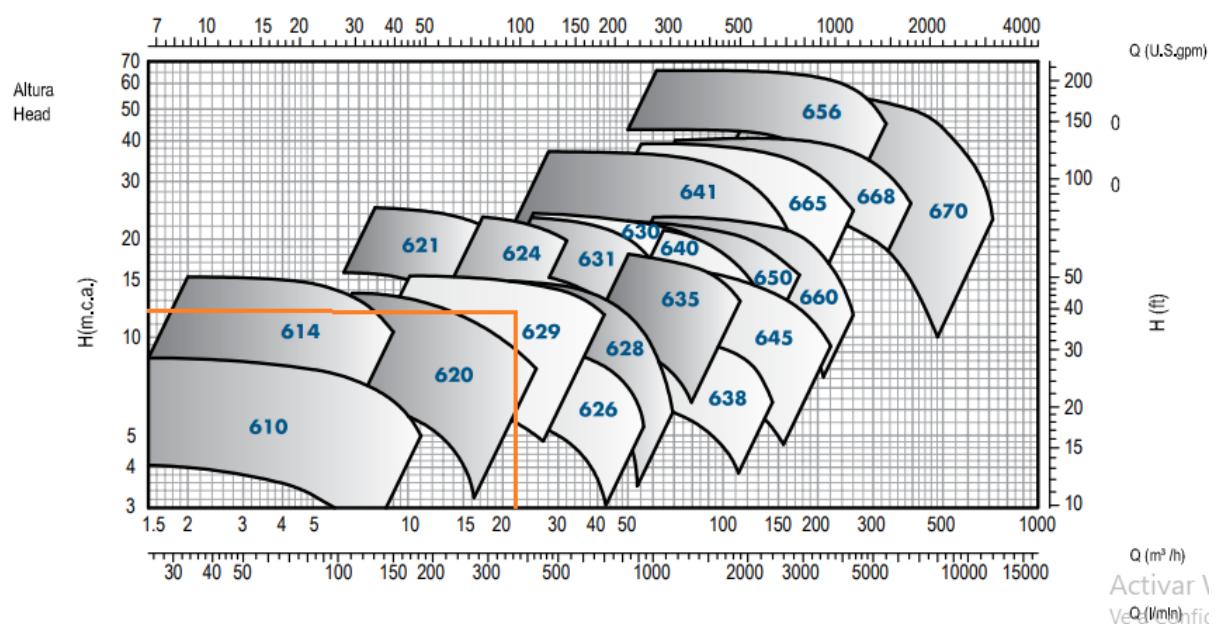
De acuerdo con los requerimientos de caudal y altura de cabeza encontrados previamente para la red de agua de emergencia y la recomendación dada por la figura 52 del libro de Mecánica de Fluidos Mott se realizó una búsqueda exhaustiva de diferentes fuentes bibliográficas, catálogos y páginas comerciales de bombas que se acoplaron a la demanda de la red de emergencia, encontrando entre gran variedad de curvas de bombas centrífugas el modelo N 629 200 a 1450 rpm del catálogo de VOGT, haciendo parte de una tipo de bombas centrífugas horizontales, monocelulares, de aspiración axial y descarga vertical, que están construidas dimensionalmente según norma DIN-24.255, este tipo bombas son utilizadas en aplicaciones

de equipos de protección contra incendios, alimentación de calderas y sistemas de condensación, sistemas de refrigeración y aire acondicionado (refrigerantes), aumento de presión para sistemas de lavado y limpieza, entre otros. este modelo seleccionado cuenta con una capacidad máxima de 50 m³/h y 17 m de altura manométrica, un impulsor cerrado de elevado rendimiento, fundido de una pieza, equilibrado hidráulica y dinámicamente, cuenta con un rango de temperaturas de -10 °C hasta 60 ° C y unas dimensiones de entrada y salida de la bomba de 2 ½" x 2". [27]

Al entrar en el catálogo de VOGT se realizó una selección del modelo de bomba apoyados en los diagramas de calificación de las mismas entrando a estas con los requerimientos previos como se muestra en la figura siguiente.

Figura 53.

Diagrama de calificación compuesta para las bombas centrífugas normalizadas del catálogo VOGT.



Nota: Selección de electrobomba según las condiciones seleccionadas en el caso de estudio. Tomado de: VOGT. "Bombas Centrífugas Normalizadas". Global Riego. <https://www.globalriego.cl/pdf/bomba-vogt.pdf> (accedido el 6 de abril de 2022).

Según la selección realizada en la figura anterior se encontró que el modelo de bomba centrífuga normalizada capaz de cumplir con los requerimientos de la red era el modelo 629, por lo que se procede a revisar su curva característica.

Tabla 22.

Definición de resultados para la curva del sistema de la red de agua de emergencia.

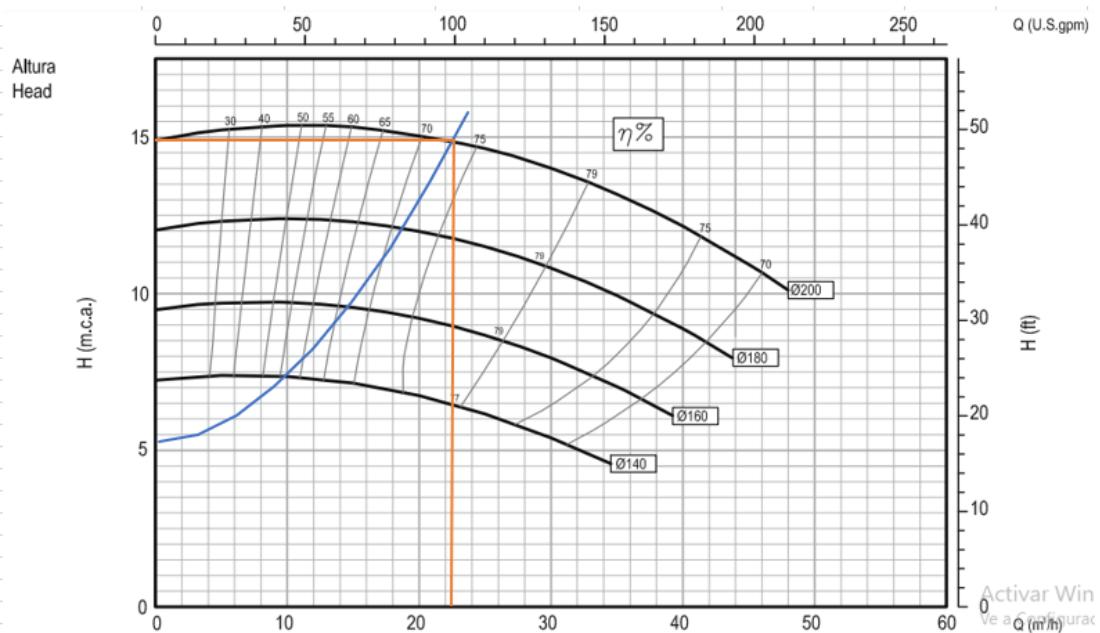
Cudal (Q (m ³ /h))	Hra	Hri	H
0	0.00	0.00	5.20
3	0.02	0.21	5.45
6	0.07	0.70	6.08
9	0.14	1.43	7.02
12	0.24	2.39	8.26
15	0.36	3.56	9.79
18	0.50	4.93	11.60
21	0.65	6.51	13.69
24	0.83	8.28	16.05
27	1.03	10.25	18.67

Nota: Iteración de la cabeza de la bomba según el caudal

Para definir el comportamiento real o el punto de operación que tendría esta bomba bajo las condiciones de la red de tuberías del agua de emergencia se realizó la curva del sistema para esta red por medio de la ecuación 12 para una variación de caudal de 3; los resultados obtenidos se muestran en la tabla anterior.

Figura 54

Curva característica de la bomba centrífuga modelo 690 del catálogo VOGT para diferentes diámetros de impulsor.

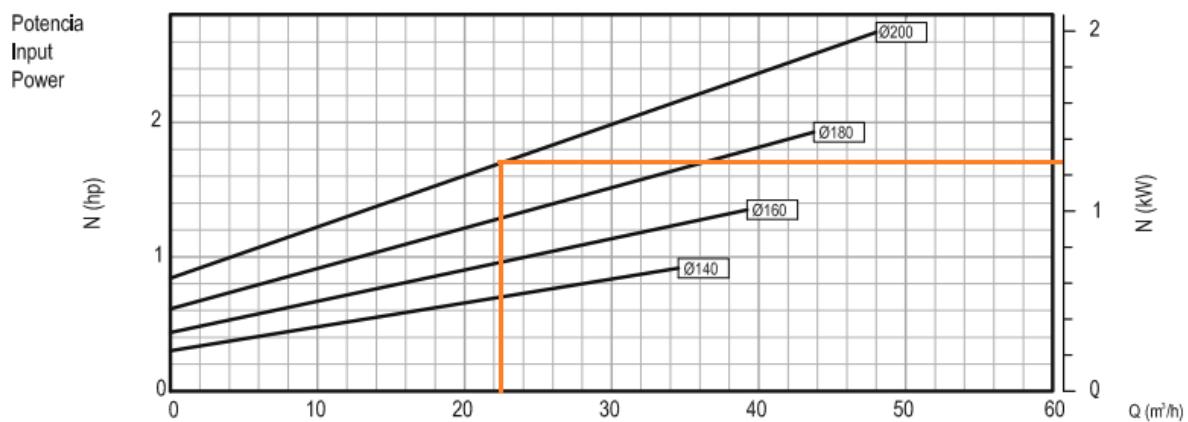


Nota: Selección de eficiencia según flujo y altura de bomba. Tomado de: VOGT. "Bombas Centrífugas Normalizadas". Global Riego. <https://www.globalriego.cl/pdf/bomba-vogt.pdf> (accedido el 6 de abril de 2022).

Se puede observar en la figura 54 que al comparar la curva del sistema con la curva características de la bomba centrífuga normalizada modelo 629 para una diámetro de impulsor de 200 mm, el punto de operación real que tendría la bomba estaría en un caudal de 22.1 m³/h y una altura manométrica de 15 m con una eficiencia de 72%, que de acuerdo a la altura manométrica calculadas para ese caudal de 22.1 m³/h por medio de la herramienta programable que es de 13.95 m se estaría cumpliendo con el requerimiento teniendo una variación del caudal mínimo previsto anteriormente de 0.4 m³/h más, que para esta red no representa ningún perjuicio.

Figura 55.

Curva característica de potencia de la bomba centrífuga modelo 690 del catálogo VOGT.

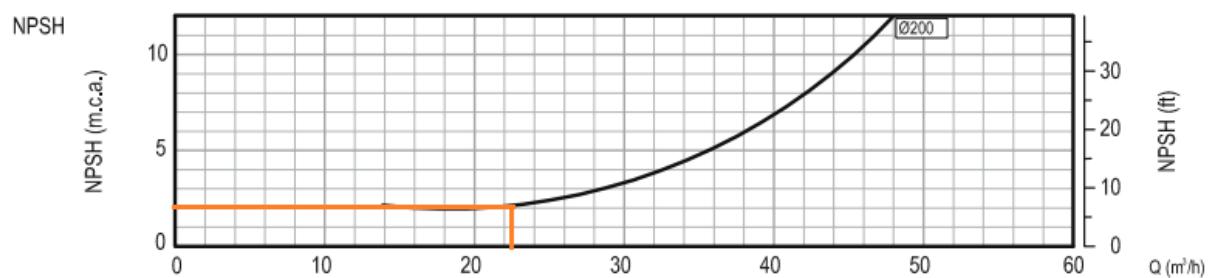


Nota: Selección de potencia según diámetro y caudal. Tomado de: VOGT. "Bombas Centrífugas Normalizadas". Global Riego. <https://www.globalriego.cl/pdf/bomba-vogt.pdf> (accedido el 6 de abril de 2022).

Teniendo en cuenta el punto de operación definido anteriormente se determinó que la potencia requerida por la bomba para realizar este trabajo según la figura 51, es de 1.3 KW para un diámetro de impulsor de 200 mm.

Figura 56.

Curva característica de NPSH de la bomba centrífuga modelo 690 del catálogo VOGT.



Nota: Selección de NPSH según caudal. Tomado de: VOGT. "Bombas Centrífugas Normalizadas". Global Riego. <https://www.globalriego.cl/pdf/bomba-vogt.pdf> (accedido el 6 de abril de 2022).

Para esta bomba como en el caso anterior se realiza el cálculo del NPSH disponible para así compararlo con el NPSH requerido por la bomba en la gráfica anterior, esto buscando que el NPSH disponible sea mayor al requerido para que así se evite generar fenómenos de cavitación.

$$NPSH_{disp} = H_{Ed} = \frac{P_l - P_b}{\rho g} \pm Ha - h_a$$

$$NPSH_{disp} = \frac{73970 \text{ pa} - 1510 \text{ pa}}{(999.47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}) * (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} + 3.35 \text{ m} - 0.83 \text{ m}$$

$$NPSH_{disp} = 9.91 \text{ m}$$

$$NPSH_{disp} (9.91 \text{ m}) \geq NPSH_{req}(2.5 \text{ m})$$

De acuerdo a los resultados arrojados por el NPSH disponible y el valor del NPSH requerido sacado del catálogo de VOGT [27] y con la adición del factor de 0.5 se puede observar que carga neta positiva de aspiración la bomba centrífuga serie N modelo 629 no va a tender a presentar cavitación bajo las condiciones de la red de agua de emergencia, además también se observa que la diferencia entre el NPSH disponible es casi cuatro veces mayor que el valor de NPSH requerido por la bomba, teniendo así de manera implícita un rango de seguridad para esta red de alta criticidad.

7.4 Agua tratada

La planta de acondicionamiento de aguas residuales está enfocada en el desarrollo de la industria sostenible, contribuyendo a la reducción y reutilización del agua; uno de los recursos naturales más importantes del planeta, esta se encargará de tratar el agua de procesos y lluvia que provienen del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible CEPIIS, que es una planta piloto que se conforma por unidades de separación, reacción y transformación de materia prima y procesos biológicos. Esta se creó con el principal objetivo de ser una herramienta educativa de docencia, investigación y expansión para el plantel universitario. Para esto se hará tratamiento de aguas con contenido de sustancias contaminantes, concentraciones que fluctúan constantemente y el tratamiento de aguas lluvias para ser aprovechadas en la sede de procesos.

Figura 57.

Diagrama de una planta Compacta de tratamiento de aguas residuales



Nota: Ejemplifica la estructura interna de una planta PTAR para aguas residuales. Tomado de: Syner Tech SAS. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. (4 de marzo de 2016). Accedido el 14 de junio de 2022. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=VpY5j-fVw8o>.

Se va a contar con un depósito de 1 m³, que va a ser el lugar que va a almacenar el agua tratada después de su paso por la PTAR, la cual por medio de una bomba sumergible se recirculara a los tanques, teniendo en cuenta su tránsito por los diferentes procesos a lo largo del día, por lo que se va a contar con un caudal de 3 m³/h para una recirculación rápida a los tanques para así tener disponible el tanque de almacenamiento de la PTAR el mayor tiempo posible. Partiendo del caudal y retomando la heurística previamente utilizada para la determinación de la velocidad cuyo valor óptimo es de 2.5 m/s se determinó un diámetro de 0.02060 m o 20.60 mm, el cual a partir de la herramienta de cálculo para encontrar el diámetro comercial más apropiado para este valor, arroja un calibre comercial para una tubería en PVC de 11 con un espesor de 2.42 mm.

Figura 58.

Selección del calibre para la tubería tratada por medio de la herramienta de cálculo.

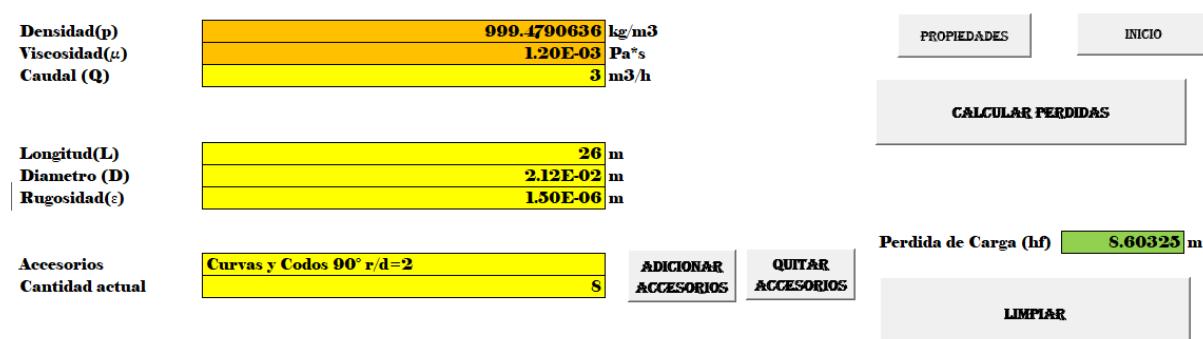
Diametro Nominal	26 mm 1 in
Diametro Interno(DI)	21.81 mm
Diametro Externo(DE)	26.67 mm
Calibre	11
Peso	0.304 kg/m
Espesor	2.43 mm

Nota: Esta herramienta de cálculo permite evidenciar el calibre de tubería a usar.

Luego por medio del diámetro, los accesorios y longitudes de la red además del requerimiento de caudal se realizó el cálculo hidráulico, donde se utilizaron las mismas condiciones de las anteriores redes de tuberías para definir las propiedades del fluido (agua tratada) para determinar las pérdidas de presión por superficie y accesorios cuyo valor es de 8.6 m para la red de agua tratada desde la PTAR hasta los tanques de almacenamiento.

Figura 59.

Pérdidas de energía producida por la tubería y por los accesorios para la red de agua tratada por medio de la herramienta de cálculo.



Nota: Esta herramienta permite el cálculo de las pérdidas de carga en la red de agua tratada.

Para el bombeo de la red de agua tratada es necesario utilizar por requerimientos de espacio de la PTAR una bomba sumergible, la cual a partir de la diferencia de alturas de 14 m y de los cálculos de pérdidas por superficie y accesorios debe contar con una cabeza de 22.6 m y un caudal de 3 m³/h.

Se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica a través de diferentes catálogos de bombas sumergibles, teniendo en cuenta no solo los requerimientos calculados previamente sino que también la características técnicas a las que se iba a exponer la bomba, algunos de los factores más relevantes son las dimensiones del pozo y los ciclos de máximos de la bomba, esto hizo reducir la búsqueda a modelos de bombas de drenaje las cuales son utilizadas para pozos de pequeña y mediana profundidad. El modelo seleccionado fue la electrobomba sumergible multicelular automática de la empresa pedrollo la cual funciona por medio de tres etapas las cuales le dan la potencia para llegar a alturas mayores que otro tipo de bombas sumergibles que cuentan con solo una etapa; cuenta con una capacidad máxima de 7.2 m³/h y una altura manométrica hasta 42 m, una temperatura máxima de fluido de hasta 40 °C, una potencia de 0.55 KW , cuenta también con un rodamiento cerrado hecho de una mezcla de resina de éter de polifenileno (PPE) y poliestireno (PS) que contiene un 20 % de vidrio reforzamiento tiene además un nivel de vaciado del fondo de hasta 22 mm del fondo, además de contar con un mecanismo automático de funcionamiento interno el cual es el que regula el apagado y el encendido de la bomba respecto al nivel de agua al que se encuentre el pozo de almacenamiento.

[28]

Tabla 23.

Definición de resultados para la curva del sistema de la red de agua tratada.

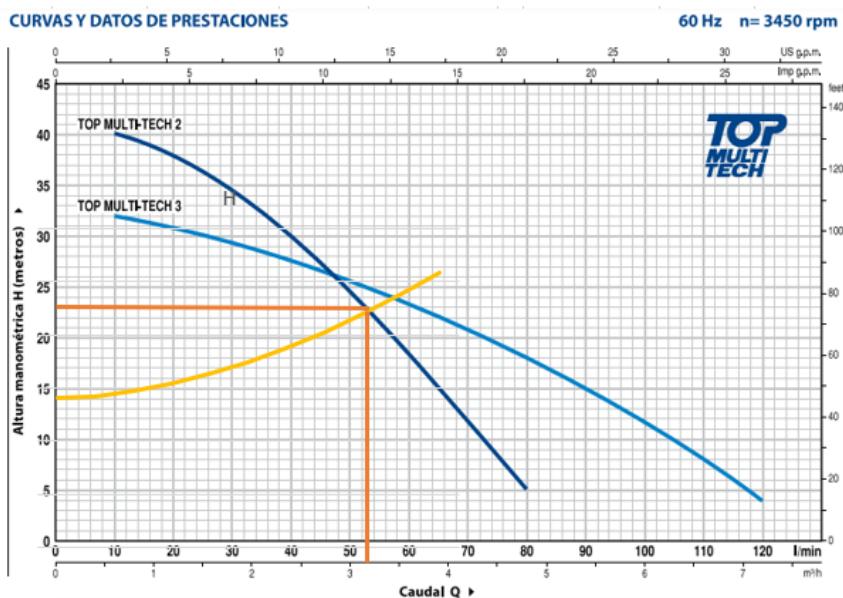
Cudal (Q (m ³ /h))	H _{ri}	H
0	0.00	14.00
0.4	0.20	14.21
0.8	0.67	14.69
1.2	1.36	15.40
1.6	2.25	16.32
2	3.34	17.45
2.4	4.61	18.77
2.8	6.06	20.28
3.2	7.69	21.98
3.6	9.49	23.85
4	11.45	25.90

Nota: Estos datos permiten construir la curva del sistema para el punto de operación de la bomba.

A partir de la preselección de la bomba se procede a realizar la curva del sistema para la red de agua tratada, esto a partir de la ecuación 12 y la herramienta programada. El resultado de la tabulación del caudal dio como resultado la tabla que se ve anteriormente (Tabla 21). Posteriormente se comparó la curva obtenida con las curvas características de la bomba como se ve en la figura siguiente.

Figura 60.

Diagrama de desempeño completo para una electrobomba sumergible multicelular a 3450 rpm y 60 Hz.



Nota: Selección de Bomba sumergible según caudal y altura manométrica. Tomado de: Pedrollo. "Electrobombas sumergibles multicelulares".

Pedrollo.

https://www.pedrollo.com.co/public/allegati/TOP%20MULTI_ES_60_Hz.pdf (accedido el 19 de mayo de 2022).

Como se observa en la *figura 60* el punto de funcionamiento de la electrobomba sumergible multicelular modelo (TOP MULTI-TECH 2) respecto a la curva del sistema es de un caudal de 3.2 m³/h para una altura manométrica de 23 m, lo cual de acuerdo a la *tabla 60* para una caudal de 3.2 m³/h la altura manométrica de requerimiento debe ser de 22.6 m lo que hace que esta bomba se cumpla con la demanda de caudal y presión de la red de agua tratada.

8. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA CEPIIS

El Centro de procesos e innovación para la industria sostenible (CEPIIS) es un espacio para la investigación y experimentación científica, el cual va a estar enfocado en el desarrollo de ingenieros preparados y competitivos para la industria, esto teniendo en cuenta el nuevo enfoque a nivel mundial a una transición hacia la industria sostenible como se ha venido viendo con los diferentes acuerdos y tratados internacionales, como el acuerdo de París y los (ODS) objetivos de desarrollo sostenible. Este edificio cuenta con un laboratorio biológico, una planta piloto, una planta térmica y una PTAR. Sin embargo, esta construcción no se limita a las funciones previamente mencionadas, puesto que también se tiene la proyección de realizar una ampliación del CEPIIS, implementando una espacio para el desarrollo e innovación de los procesos de generación eléctrica de manera limpia o también un laboratorio de automatización y desarrollo de mecanismos electrónicos para ingeniería, eso enfocado a las carreras de ingeniería de energías y mecatrónica recientemente adquirida por la universidad.

La planta de Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS) comprende un edificio enfocado a la investigación científica, desarrollado por la Universidad de América con el objetivo específico de ofrecer a los estudiantes las herramientas tecnológicas necesarias para desarrollar habilidades de aprendizaje y un acercamiento a la aplicación de los conocimientos adquiridos en las asignaturas, y los conceptos directamente relacionados a estos, como lo es la instalación de equipos, máquinas y un laboratorio completamente equipado para permitir el desarrollo de estas funciones.

Se creó una guía de tipo académico sobre el funcionamiento de la planta, además una idea de cómo se diseñó la red hidráulica, bajo qué parámetros, ecuaciones y también luego de su puesta en marcha como darle un correcto cuidado a los equipos de distribución y bombeo, mediante mantenimientos preventivos y correctivos a cada zona de importancia, bajo recomendación de la ley, fabricante y según los diseñadores consideran que darán el máximo de optimización.

El objetivo de este manual es dar un acercamiento a los estudiantes. Sabiendo esto se conocen los siguientes ítems que componen el manual:

- Unidades para las magnitudes en las operaciones y las propiedades
- Fórmulas aplicadas

- Constantes de accesorios, o información relevante para el cálculo
- Cálculo representativo
- Información general sobre las líneas, que incluye fotografías de la planta física
- Análisis What-if de la planta
- Mantenimiento de tuberías, válvulas y bombas.

Tabla 24.

Unidades de operación para el cálculo.

Cálculo	Unidades
Presión	Bar, kPa, m.c.a
Velocidad	m/s
Temperatura	°C
Longitud	m
Diámetro	in
Caudal	m ³ /h
Área	m ²
Rugosidad	mm
Viscosidad	Pa*s
Potencia	KW
Densidad	kg/m ³

Nota: Describe las unidades usadas en el proceso y cálculo hidráulico

8.1 Fórmulas

Estas ecuaciones son fundamentales ya que indican la expresión que relaciona todas las variables del sistema y permiten al diseñador tener una guía matemática que determine el comportamiento del sistema hidráulico. [10]

Ecuación de Bernoulli

Ecuación 16 .

$$v = \sqrt{2gh}$$

Ecuación de Bernoulli en términos de longitud o altura del fluido

Ecuación 17.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_p = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f$$

Ecuación de Bernoulli en términos de presión

Ecuación 18.

$$P_1 + \alpha_1 \frac{\rho v_1^2}{2} + \gamma z_1 + \gamma h_p = P_2 + \alpha_2 \frac{\rho v_2^2}{2} + \gamma z_2 + \gamma h_f$$

En las ecuaciones anteriores se define que

P= Presión del fluido

v= Velocidad del fluido

z= altura sobre un nivel de referencia de fluido

g= aceleración de la gravedad

hp= Potencia de una bomba o impulsor traducida a la altura de fluido

hf= pérdidas de presión en unidades de altura de fluido

γ = Peso específico del fluido

α = Parámetros de energía cinética

Los parámetros de energía cinética se basan en el régimen de flujo siendo 1 para flujo uniforme o altamente turbulento, 1,08 para flujo turbulento y 2 para flujo laminar.

Ecuación de Darcy- Weisbach para pérdidas mayores por fricción en tuberías

Ecuación 19.

$$h_f = h_{f\text{ mayor}} + h_{f\text{ menor}}$$

Ecuación de cálculo para hf mayor

Ecuación 20.

$$h_{f\text{ mayor}} = f * L/D * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación de cálculo para hf menor

Ecuación 21.

$$h_{f\text{ menor}} = \sum k * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación de cálculo para hf total

Ecuación 22.

$$h_f = \left(f * L/D + \sum k \right) \frac{v^2}{2g}$$

En este caso

f= factor de fricción de Darcy

L= longitud del tramo de tubería

D=Diámetro de la sección de la tubería analizada

k= Coeficiente de pérdidas para cada accesorio de tubería.

Cálculo del número de reynolds

Ecuación 23.

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{\rho * V * D}{\mu}$$

Correspondiente a lo anterior

V=Velocidad del fluido

D= Diámetro interno de la tubería

ν = viscosidad cinemática

μ = Viscosidad dinámica

Factor de fricción para régimen laminar

Ecuación 24.

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación para régimen transitorio sí $2100 < Re < 4000$

Ecuación 25.

$$f = 0,3164 Re^{-0,25}$$

Ecuación para régimen turbulento

Ecuación 26.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

Ecuación para régimen turbulento despejada

Ecuación 27.

$$f = \left(\frac{1}{-2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right)} \right)^2$$

Esta ecuación es iterativa, esto se saca tomando un valor de f , este se ingresa un valor inicial, recalculando el valor de f hasta que los valores entre el previo y el nuevo tengan una variación máxima de 1×10^{-8}

Cálculo de velocidad

Ecuación 28.

$$V = \sqrt{\frac{2gh_f}{f \frac{L}{D} + K}} = \sqrt{\frac{2gh_f}{f \left(\frac{L}{D} + \left(\frac{L}{D} \right)_{ac} \right)}}$$

Ya con este valor se puede calcular el caudal de la siguiente manera

Calculo de caudal

Ecuación 29.

$$Q = V * \frac{\pi}{4} * D^2$$

Cálculo velocidad para pérdidas en tubería

Ecuación 30.

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Relación de diámetro para el estrechamiento

Para esto se requiere conocer el cambio de diámetro, donde K se usa en la ecuación 18 si el ángulo es menor a 45° y si es mayor se usará la ecuación 19

Ecuación 31.

$$K = \frac{0,8 \operatorname{sen}(\theta/2)(1 - \beta^2)}{\beta^4}$$

K para estrechamiento con ángulo mayor a 45°

Ecuación 32.

$$K = \frac{0,5 * (1 - \beta^2) \sqrt{\operatorname{sen}(\theta/2)}}{\beta^4}$$

Relación de k para el ensanchamiento

Para esto, ocurre igual que en el caso anterior, se conoce que se usará la ecuación 20 si el ángulo es menor a los 45° , y la ecuación 21 si esta es mayor a los 45°

Ecuación 33.

$$K = \frac{2,6 \operatorname{sen}(\theta/2)(1 - \beta^2)}{\beta^4}$$

K para ensanchamiento con ángulo mayor a 45°

Ecuación 34.

$$K = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Cálculo para curva de sistema

Ecuación 35.

$$h_p = \frac{p_z - p_a}{\rho g} + Z_z - Z_A + \frac{{V_z}^2 - {V_A}^2}{2g} + H_{ra} + H_{ri}$$

Donde

P_a y P_z = Son las presiones manométricas a la entrada y salida de la bomba respectivamente.

Z_z y Z_A = Es la diferencia de alturas entre la salida y la entrada de la bomba.

H_{ra} = Pérdida de carga en zona de aspiración

H_{ri} = Pérdida de carga en zona de impulsión

Ahora si hacemos un desglose de la ecuación anterior

f = Coeficiente de fricción

L = longitud

D = Diámetro

Ecuación 35 ampliada

Ecuación 36

$$H_p = h_p = \frac{p_z - p_a}{\rho g} + Z_z - Z_A + \left[f_a \frac{L_a}{D_a} + \sum_{n=1}^j K_{aj} \right] \left(\frac{4Q}{\pi D_a^2} \right) \frac{1}{2g}$$
$$+ \left[f_i \frac{L_i}{D_i} + \sum_{n=1}^j K_{ij} \right] \left(\frac{4Q}{\pi D_i^2} \right) \frac{1}{2g}$$

De acuerdo a lo anterior

K_{aj}= Sumatoria de pérdidas en línea de aspiración

K_{ij}=Sumatoria de pérdidas en línea de impulsión

f_a=Factor de fricción en línea de aspiración

f_i= Factor de fricción en línea de impulsión

Cálculo del NPSH

Ecuación 37.

$$NPSH = H_{Ed} = \frac{P_l - P_b}{\rho g} \pm Ha - h_a$$

Constantes para accesorios, rugosidades, etc.

Tabla 25.

Constantes L/D para cada accesorio

Accesorios	
Accesorios	factor L/D
Codo Estándar 90°	30

Accesorios	
Codo Estándar 45°	16
Curvas 180° radio corto	50
Conexión estándar T flujo directo	60
Conexión estándar T flujo Desviado 90°	60
Curvas y Codos 90° r/d=1	20
Curvas y Codos 90° r/d=1.5	14
Curvas y Codos 90° r/d=2	12
Curvas y Codos 90° r/d=3	12
Curvas y Codos 90° r/d=4	14
Curvas y Codos 90° r/d=6	17
Curvas y Codos 90° r/d=8	24
Curvas y Codos 90° r/d=10	30
Curvas y Codos 90° r/d=12	34
Curvas y Codos 90° r/d=14	38
Curvas y Codos 90° r/d=16	42
Curvas y Codos 90° r/d=20	50
Curvas en Escuadra o Falsa Escuadra $\alpha=0^\circ$	2
Curvas en Escuadra o Falsa Escuadra $\alpha=15^\circ$	4
Curvas en Escuadra o Falsa Escuadra $\alpha=30^\circ$	8
Curvas en Escuadra o Falsa Escuadra $\alpha=45^\circ$	15
Curvas en Escuadra o Falsa Escuadra $\alpha=60^\circ$	25
Curvas en Escuadra o Falsa Escuadra $\alpha=75^\circ$	40

Accesorios	
Curvas en Escuadra o Falsa Escuadra $\alpha=90^\circ$	60
Salidas Con resalte	1
Salidas de Cantos Vivos	1
Salidas Redondeada	1
Entrada con resalte hacia el interior	0,78
Entrada de tubería a tope $r/d=0$	0,5
Entrada de tubería a tope $r/d=0.02$	0,28
Entrada de tubería a tope $r/d=0.04$	0,24
Entrada de tubería a tope $r/d=0.06$	0,15
Entrada de tubería a tope $r/d=0.10$	0,09
Entrada de tubería a tope $r/d=0.15$	0,04
Válvulas De Macho y Llaves Paso Directo	18
Válvulas De Macho y Llaves Tres Entradas 180°	30
Válvulas De Macho y Llaves Tres Entradas 90°	90
Válvulas de Compuerta	8
Válvulas de Retención de Disco Oscilante en Y	100
Válvulas de Retención de Disco Oscilante	50
Válvulas de Globo	340
Válvulas de Angular	55
Válvulas de Angular 90°	150
Válvula de Retención y Cierre Tipo Recto 1	400
Válvula de Retención y Cierre Tipo Recto 2	300

Accesorios	
Válvula de Retención y Cierre Tipo Recto 3	55
Válvula de Retención y Cierre Tipo Rectangular 1	200
Válvula de Retención y Cierre Tipo Rectangular 2	350
Válvula de Retención y Cierre Tipo Rectangular 3	55
Válvula Mariposa D entre 50 mm a 200 mm	45
Válvula Mariposa D entre 250 mm a 350 mm	35
Válvula Mariposa D entre 400 mm a 600 mm	25

Nota: Constantes de tablas usados para cálculo hidráulico en tubería.

Tomado de: D. Durán y C. Monsalve. "Diseño Esquemático De Las Redes De Vapor, Agua De Proceso Y Agua Residual De La Planta PiloTO". Fundación Universidad de América. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8640> (accedido el 10 de marzo de 2022).

Tabla 26.

Rugosidad para cada material

Pipe material	Roughness	
	in	mm
Riveted steel	0.035–0.35	0.9–9.0
Commercial steel/welded steel	0.0018	0.045
Cast iron	0.010	0.26
Galvanized iron	0.006	0.15
Asphalted cast iron	0.0047	0.12
Wrought iron	0.0018	0.045
PVC, drawn tubing, glass	0.000059	0.0015
Concrete	0.0118–0.118	0.3–3.0

Nota: valores de rugosidad para cada uno de los materiales usados comercialmente. Tomado de: Crane, Flujo De Fluidos En Válvulas, Accesorios Y Tuberías. México D. F: McGraw-Hill, 1987.

8.2 Parámetros de diseño para una red hidráulica

Según la norma emitida por EPM que sigue la misma normativa estipulada en la red de alcantarillado de Bogotá o bien llamado acueducto, se extraen los siguientes parámetros hidráulicos mínimos para alcanzar una consideración de flujo estacionario y que tendrán como resultado redes con una correcta autolimpieza y buen comportamiento hidráulico teniendo la consideración previa que se eliminan aquellos parámetros dedicados a alcantarillados directamente como los diámetros nominales ya que se está hablando de una red de capacidad menor con sus propios requerimientos. [29]

- La velocidad mínima es de 0,45 m/s para aguas residuales (planta PTAR, por lo tanto se espera el mismo valor de velocidad para el agua tratada y de proceso) y de 0,75 m/s para aguas lluvias y contaminadas.
- La velocidad máxima es de 10 m/s para tuberías plásticas y de 5 m/s para otros materiales.
- Se requiere que las tuberías cumplan con un esfuerzo cortante mínimo de 1,5 N/m², y en redes de lluvia son de 3 N/m² para caudal de diseño.
- Evitando el flujo crítico y quasi crítico se propone tener números de Froude por fuera del intervalo de 0.7 a 1.5 para el flujo uniforme.
- En tramos donde se presente una pendiente mayor al 10%, la distribución hidrostática de presiones no es válida. Entonces el análisis de flujo varía gradualmente.
- El valor máximo permisible de la profundidad hidráulica, se diseña según el diámetro de la tubería, donde se vería entre el 70 y 80% del diámetro real interno de cada uno de los tramos.
- La profundidad mínima a la cota clave es de 1.20m a la tubería. Donde no se cumpla el requerimiento se debe realizar un diseño de protección a la red.

8.3 Cálculo representativo

Para hacer que el cálculo realizados en el documento “DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA LAS REDES DE TUBERÍAS PARA EL AGUA DE PROCESO, TRATADA, LLUVIA Y DE EMERGENCIA DEL CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE DE LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA” se entendido de una manera fácil se realiza un cálculo representativo, el cual va a ilustrar el uso que se le dio a las ecuaciones mencionadas en su

mayoría y servirá de ayuda a cualquier estudiante que necesite una guia para la realizacion de calculos hidraulicos posteriormente. Para ello se va a calcular en forma de ejercicio paso a paso las pérdidas de carga producidas por superficie como por accesorios de la red de agua tratada diseñadas en la tesis mencionada anteriormente.

Se van a definir una serie de pasos para el cálculo de redes que tengan características que se acoplen a esta red, ya que es un ejercicio donde se conocen las longitudes, cantidad de accesorios, caudales y alturas.

Paso 1: Se determinará el problema o la necesidad de la red que vamos a tratar. En este caso se necesita calcular la altura manométrica de la red de agua tratada del CEPISIIS “Centro de Procesos e innovación para la industria sostenible de la Fundación Universidad de América” la cual encargada de bombear el agua tratada en la PTAR hasta los tanque para su posterior recirculación, para ello es necesario seleccionar el tipo de tubería más adecuada para la misma y proseguir a calcular las pérdidas producidas por la superficie de los tramos de tubería y por los accesorios presentes en ella.

Paso 2: Se determinarán los requerimientos de la red a calcular: el caudal que se va a requerir, la velocidad del fluido dentro de la tubería, los tramos de tubería, cantidad de accesorios presentes en la red de tubería, el plano geométrico o las medidas de alturas necesarias para el cálculo, las propiedades del fluido a las condiciones del lugar y el material adecuado para la aplicación específica y su rugosidad. Para la red de agua tratada del CEPISIIS esta información es la siguiente:

Caudal:

De acuerdo con el pozo de almacenamiento de la PTAR el cual tiene una dimensión de 1 m³ se determinó que se debe bombear de manera rápida este volumen para así tener el pozo la mayor cantidad de tiempo disponible por lo que se determinó un caudal de 3 m³/h.

Velocidad:

De acuerdo a valores de velocidad del flujo de agua en tuberías del libro de Mecánica de Fluidos Mott [8] los cuales están entre 1.2 m/s a 3 m/s y al manual técnico de PAVCO [14] el cual da un valor máximo de velocidad dentro de las tuberías de PVC de 4 m/s se seleccionó un valor

de velocidad entre los rangos encontrados igual a 2.5 m/s esto teniendo en cuenta su directa relación con las pérdidas de presión.

Tramos de tubería:

Por medio de un plano realizado en autocad por los ingenieros encargados se determinaron los tramos de tubería y así mismo los accesorios de esta red como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 27.

Tabla de longitud de tramos de tubería para la red de agua tratada del CEPIIS.

Accesorios	
Tipo	cantidad
Conexiones en T	0
Codos de 90°	8
Conexión de válvula	0

Nota: Accesorios necesarios para cálculo de red de agua tratada

Tabla 28.

*Tabla de accesorios para la red de agua tratada
del CEPPIIS.*

Accesorios	
Tipo	cantidad
Conexiones en T	0
Codos de 90°	8
Conexión de válvula	0

Nota: Accesorios necesarios para cálculo de red
de agua tratada

Altura:

Igualmente, por medio del plano realizado en Autocad por los ingenieros se definió una altura entre el nivel de la bomba y el tanque de almacenamiento es de 14 m.

Propiedades del fluido:

Para definir las propiedades del fluido es necesario primero determinar las condiciones de temperatura y presión a las cuales va a estar expuesto a través de la red. En este caso como la red de agua de emergencia se va a diseñar para el CEPPIIS ubicado en la sede de los cerros de la Universidad de América se tomará la temperatura promedio registrada en la página del IDEAM para la ciudad de Bogotá D.C. que es de 13.1°C [22].

Tabla 29.

Tabla de propiedades del agua (Densidad, Calor específico, Conductividad térmica, Viscosidad dinámica y Viscosidad cinemática).

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico c_p (J/kg°C)	Conductiv. térmica k (W/m°C)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ (N.sec/m ²)	Visc. cinem. $v \cdot 10^6$ (m ² /seg)
0	999,9	4226	0,558	1794	1,789
20	998,2	4182	0,597	1004	1,006
40	992,3	4178	0,633	653,0	0,658
60	983,2	4181	0,658	470,0	0,478
80	971,8	4194	0,673	353,7	0,364
100	958,4	4211	0,682	281,0	0,294
140	926,1	4279	0,687	198,2	0,214
180	887,0	4413	0,678	153,5	0,173
220	840,5	4606	0,656	126,0	0,150
260	784,0	4944	0,614	107,5	0,137
300	712,5	6594	0,543	94,1	0,132

Nota: Constantes de propiedades para agua. Tomado de: UNICAN. "Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones". UNICAN. <https://personales.unican.es/renedoc/Trasparencias%20WEB/Trasp%20Termo%20y%20MF/00%20GRADOS/Tablas%20Termo.pdf> (accedido el 16 de junio de 2022).

Con respecto a las condiciones mencionadas anteriormente se determinan los valores de densidad y viscosidad dinámica por medio de la *tabla 28*; esta tabla no nos muestra el valor específico de temperatura de nuestro caso específico por lo que se procede a interpolar encontrando los siguientes valores de densidad y viscosidad dinámica respectivamente: 999.47 kg/m³ y 0.00119 Pa*s.

Material de las tuberías:

Para definir el tipo de material para la red de agua de emergencia se acudió a la norma ASTM 26665-68 y CS-272-65 con normas ICONTEC. Las cuales no dicen que para este tipo de aplicación se usan tuberías tipo PAVCO o similar [14]. Este tipo de material de acuerdo a la *tabla 24* tiene una rugosidad superficial de 0.0015 mm.

Paso 3: Determinación del diámetro teórico y selección del diámetro comercial dependiendo del material escogido.

Teniendo en cuenta los valores de velocidad y caudal encontrados en los pasos anteriores se utilizó la ecuación 16 para encontrar el diámetro teórico para esta red.

$$Q = V * \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 3 \frac{m^3}{h}}{\pi * 2.5 \frac{m}{s} * 3600}} = 0.0206 m = 20.60 mm$$

Ahora por medio del valor del diámetro teórico encontrado previamente se dispone a realizar una búsqueda en los catálogos de tubería de PVC en donde se encontró que el diámetro interior más cercano al diámetro teórico encontrado es el de la tubería de calibre 11 con un diámetro interior de 21.81 mm y un espesor de 2.43 mm.

Paso 4: Se realiza el cálculo de pérdidas por superficie y accesorios, esto se hace por medio de las ecuaciones 6, 7 y 8. Sin embargo, para poder utilizar las ecuaciones anteriores es necesario calcular el número de reynolds y factor de fricción.

$$R = \frac{\rho * V * D}{\mu}$$

$$R = \frac{999.47 \frac{kg}{m^3} * 2.5 \frac{m}{s} * 0.0218 m}{0.00119 Pa * s} = 45774.04$$

Como el resultado del número de reynolds es mayor a 4000 esto quiere decir que el flujo dentro de la tubería es de carácter turbulento, por lo que se utiliza la siguiente ecuación para determinar el factor de fricción que se requiere para calcular las pérdidas en la ecuación 7.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

Para determinar el valor del factor de fricción por medio de la ecuación de anterior es necesario realizar una serie de iteraciones en las cuales se va a despejar una de las f (factor de fricción) de la ecuación mostrada anteriormente y se le va a dar un valor semilla al valor de fricción para comenzar las iteraciones, tomando el valor resultante como el valor a introducir en la siguiente iteración y así sucesivamente. En este caso se va a iniciar con un valor semilla de 0.015.

$$f = \left(\frac{1}{-2\log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right)} \right)^2$$

$$f = \left(\frac{1}{-2\log_{10} \left(\frac{0,0000015 \text{ m}}{3,7 * 0,02181 \text{ m}} + \frac{2,51}{45774,04 * \sqrt{0,015}} \right)} \right)^2 = 0,0225$$

Se vuelve a realizar la ecuación solo que esta vez el valor para f (factor de fricción) va a ser de 0.0225.

$$f = \left(\frac{1}{-2\log_{10} \left(\frac{0,0000015 \text{ m}}{3,7 * 0,02181 \text{ m}} + \frac{2,51}{45774,04 * \sqrt{0,0225}} \right)} \right)^2 = 0,02143$$

Nuevamente se realiza la misma tarea cambiando el valor de f por 0.02143.

$$f = \left(\frac{1}{-2\log_{10} \left(\frac{0,0000015 \text{ m}}{3,7 * 0,02181 \text{ m}} + \frac{2,51}{45774,04 * \sqrt{0,02143}} \right)} \right)^2 = 0,02156$$

Este proceso se repite hasta que el valor converja, este tipo de iteraciones se pueden realizar de manera más fácil a través de excel. En la siguiente tabla se muestra el resultado de las iteraciones hasta su punto de convergencia.

Tabla 30.

Tabla iterativa para el cálculo del factor de fricción.

f'	f
0.015	0.02253
0.0225	0.02143
0.02143	0.02156
0.02156	0.02154

0.02154	0.02154
---------	---------

Nota: Esta iteración es necesaria para el cálculo de las pérdidas de carga

Ya teniendo el valor del factor de fricción definido para el sistema se pueden calcular las pérdidas de energía por superficie de la red de agua tratada.

$$h_{f\ mayor} = f * L/D * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{f\ mayor} = 0.02154 * \frac{26\ m}{0.0218\ m} * \frac{(2.5\ \frac{m}{s})^2}{2 * (9.81\ \frac{m}{s^2})}$$

$$h_{f\ mayor} = 8.01\ m$$

Las pérdidas de carga por superficie son de 7.06 m. Sin embargo, hay que calcular también las pérdidas de carga que existen a causa de los accesorios en la tubería para lo que se recurre en este caso a las *tabla 6* que nos dice los accesorios presentes en la red y la *tabla 2* en la cual se encuentra la relación L/D para cada accesorio. Teniendo en cuenta la relación L/D se puede determinar el valor de K para el accesorio específico.

$$K = L/D * f$$

El coeficiente L/D para curvas y codos de 90° es de 12.

$$K_{codos} = 12 * 0.02154 = 0.258$$

A partir de los valores de K encontrados para los accesorios de la red se calculan las pérdidas por accesorios por medio de la ecuación 8.

$$h_{f\ menor} = \sum k * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{f\ codos} = 8 * 0.258 * \frac{(2.5\ \frac{m}{s})^2}{2 * (9.81\ \frac{m}{s^2})} = 0.6\ m$$

$$h_{f\ menor} = 0.6\ m$$

Por medio de los resultados para pérdidas de carga por superficie y pérdidas de carga por accesorios se determinan las pérdidas totales de la red.

$$h_f = h_{f\text{ mayor}} + h_{f\text{ menor}}$$
$$h_f = 8.01 \text{ m} + 0.6 \text{ m} = 8.61 \text{ m}$$

Por medio de estos resultados obtenidos se puede observar la relevancia de las pérdidas de energía dentro de un sistema, no sólo las producidas por la superficie que en la mayoría de los casos es la de mayor valor; también toman relevancia los accesorios puesto que son una parte imprescindible de cualquier red hidráulica.

8.4 Información de las líneas

Para este ítem se tomaron en cuenta los planos correspondientes del segundo objetivo, es decir, las figuras del autocad y los tramos correspondientes.

Además, se compararon con la construcción u obra civil que van en este momento para hacer una estimación sobre el avance de la planta CEPIIS.

Figura 61.

Vista trasera del cuarto de bombas y almacenamiento de reactivos



Nota: Ilustración de la vista trasera del cuarto de bombas de la planta CEPIIS

Figura 62.

Vista delantera del cuarto de bombas



Nota: Ilustración de la vista delantera del cuarto de bombas de la planta CEPIIS

Figura 63.

Vista de perfil del cuarto de bombas. Izquierda: Cuarto de bombas, derecha: almacenamiento de reactivos.



Nota: Ilustración de la vista de perfil del cuarto de bombas de la planta CEPIIS

Según lo anterior visto, en esta zona se instalarán las bombas que irán hacia la planta CEPIIS, que se tiene la siguiente vista superior

Figura 64.

Vista desde el cuarto de bombas hacia la planta CEPIIS



Nota: Ilustración de la vista del cuarto de bombas hacia la planta CEPIIS

Figura 65.

Vista superior-lateral de la planta CEPIIS.



Nota: Ilustración de la vista superior-lateral del cuarto de bombas de la planta CEPIIS

Figura 66.

Vista inferior-interna de la planta CEPPIIS, al respaldo de los árboles se encuentra el cuarto de bombas.



Nota: Ilustración de la vista inferior de la planta CEPPIIS

Según lo anterior, las estructuras y toda la planeación civil, aunque en esta zona no es completamente evidente por el bajo avance en la obra cuando se tomaron las fotografías, evidencian que toda la red fue diseñada para ser instalada de manera superficial y visible con fines académicos, excepto por aquella zona que va desde el cuarto de bombas a la planta CEPPIIS y pasa por el pasillo peatonal que da la entrada al laboratorio microbiológico.

Dando veracidad y correspondencia a los planos CAD presentados por la universidad como material de apoyo, donde muestra la ruta que siguen los caminos destinados, al igual que los tramos de tubería verifican que las medidas y los cálculos son correspondientes entre sí.

8.5 Mantenimiento para los equipos

A continuación se presenta un breve mantenimiento que se recomienda para cada equipo se realizan múltiples acciones que corrijan las fallas presentadas en cada parte del equipo. Entonces, se realiza un plan de mantenimiento basado en dos factores: primero, la

recomendación o plan expedido por el fabricante o en su defecto realizarlo en relación a las fallas que se presenten. O de otra manera, historial de fallas que se realiza en cada parada aplicada a la bomba en particular. En este caso, se aplicará dividido en 3 partes fundamentales (Bombas, Tuberías y Válvulas) además, se hace la aclaración de los accesorios no se agregan ya que van incluidos en la sección de tuberías ya que unen tramos menores de tubería y como la tubería no se limpia a tramos, la limpieza incluirá a los accesorios. [30]

Antes de esto, se hace un breve paréntesis sobre las partes de la bomba centrífuga para reconocer a qué zona remitirse según la falla o mantenimiento que se deba realizar. [30]

Se realizan principalmente dos tipos de mantenimiento que son el preventivo y el correctivo.

Mantenimiento preventivo: Refiere a la inspección o revisión periódica de un elemento mitigando que se presenten fallas. Esto se realiza con actividades como lubricación, pintado, limpieza, etc. [30]

Las razones principales que originan las fugas en los sistemas de distribución de agua son la infraestructura y la presión.

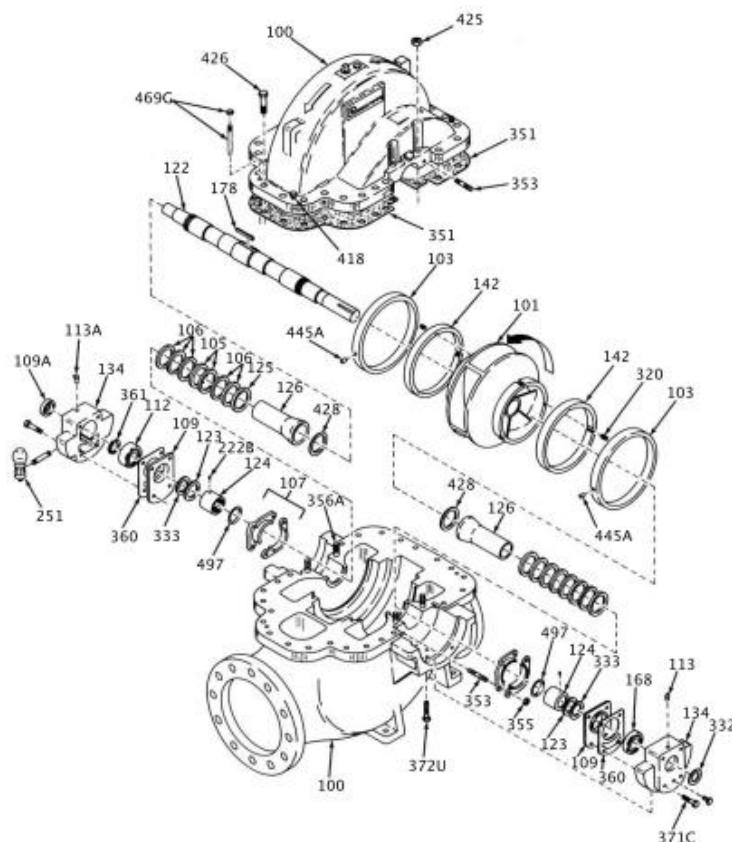
Mantenimiento correctivo: Este es un mantenimiento que radica en la reparación luego de que se presenta un fallo o rotura en el equipo o zona de análisis, este no se programa y se necesita luego de una avería. [30]

Este contiene cuatro periodos de tiempo claves:

1. Tiempo transcurrido desde que se produce la avería hasta su detección o el tiempo de respuesta:
2. Tiempo que transcurre hasta disponer de los recambios necesarios para reparar la avería.
3. Tiempo necesario para disponer del personal que realice la reparación (disponibilidad del técnico en mantenimiento).
4. Tiempo que demora en reparar la avería.

Figura 67.

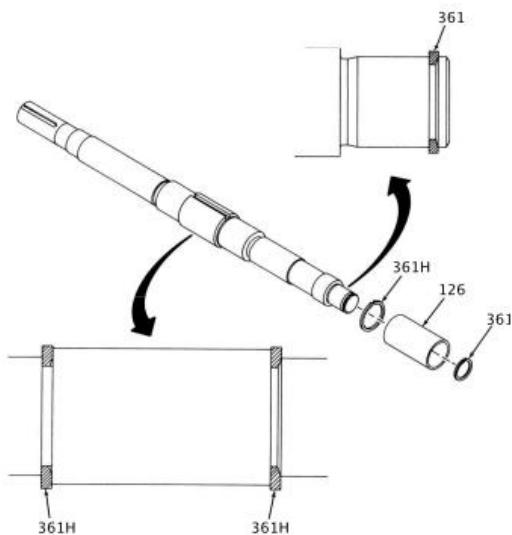
Vista esquemática de una bomba centrífuga



Nota: Desglose de las piezas de las bombas centrífugas. Tomado de: GOULDS PUMPS. "Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento Modelo 3410". GOULDS PUMPS. <https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/es-UY-2014-10-IOM-3410.pdf?ext=.pdf> (accedido el 20 de mayo de 2022).

Figura 68.

Configuración del anillo de retención



Nota: Desglose del anillo de retención de una bomba centrífuga. Tomado de: GOULDS PUMPS. "Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento Modelo 3410". GOULDS PUMPS.
<https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/es-UY-2014-10-IOM-3410.pdf?ext=.pdf> (accedido el 20 de mayo de 2022).

Lista de piezas

Tabla 31.

Lista de piezas para la figura 64.

Artículo	Cantidad por bomba	Nombre de la pieza	Con ajustes de bronce	Integral de hierro	Pieza rotatoria hierro/316	Todo de acero inoxidable 316
100	1 superior 1 inferior	Carcasa	1003	-	316	A743 CF-8M
101	1	Impulsor	1179	1000	316	
102	2	Tubería del sello (opcional)	Bronce	Acero	316	
103	2	Anillo de desgaste de la carcasa	1618	1000	1071	
105	2	Anillo interna	Teflón relleno de vidrio			
106	1 conjunto	Caja de empaquetadura	Empaquetaduras cuadradas libres de asbestos (en grupos moldeados S y M)			
107	2	Casquillo de la caja de empaquetadura	AISI 316			
109	2	Cubierta del extremo del cojinete	1000			
109A	1	Cubierta de extremo del rodamiento de empuje	Acero			
112	1	Cojinete de bolas de empuje	Acero			
113	2	Accesorio de grasa	Acero			
113A	2	Respiradero (solo lubricación con aceite)	Acero			
122	1	Eje	AISI 4140			
123	1	Deflector (opcional)	Laminado plástico			
124	1	Tuerca del manguito (solo en M, L y XL)	1618	1000	1071	

Artículo	Cantidad por bomba	Nombre de la pieza	Con ajustes de bronce	Integral de hierro	Pieza rotatoria hierro/316	Todo de acero inoxidable 316
125	2	Casquillo del prensaestopas	316			
126	2	Manguito del eje (opcional en grupo S)	1618	1000	316	
134	2	Porta-rodamientos	1000			
142	2	Anillo de desgaste del impulsor	1618	1000	316	
168	1	Cojinete de bolas de acoplamiento.	Acero			
178	1	Llave del impulsor	AISI 1018			
222B	4	Tornillos de fijación de tuerca de manguito	Acero			
250	2	Casquillo del sello mecánico (Normas de limpieza)	1179	1003	1002	316
	2	Casquillo del sello mecánico (FL-VT-DR, opcionales)	Acero			
251	2	Engrasador a la vista (lubricación con aceite, opcional)	Metal blanco y vidrio			
317	2	Sello mecánico de empuje (opcional)	Acero			
317A	1	Sello mecánico radial (opcional)	Acero			
320	6	Tornillo de fijación con retención (para anillo de desgaste de impulsor opcional)	Acero inoxidable 303			
332	1	Grasa exterior de sello del aceite	Goma buna			

332A	1	Exterior de sello laberíntico (opcional)	Acero	
333	1	Grasa interior de sello del aceite	Goma buna	
333A	1	Interior del sello laberíntico (opcional)	Acero	
351	1	Junta de la carcasa divisoria	1/32 pulg. sin asbestos	
353	4	Pasadores del casquillo	316	
353B	2	Tornillo de cabeza hexagonal con casquillo de sellado mecánico de hierro fundido	Acero	
	4	Tornillo de cabeza hexagonal con casquillo de sellado mecánico de acero	Acero	
355	4	Tuerca hexagonal del pasador del casquillo	304	
356A	4	Pasador divisor de la carcasa	Acero	
360	2	Junta, de la cubierta final a la carcasa del cojinete	Papel madera	
360Q	8	Junta, del casquillo a la carcasa	Libres de asbestos	
361	1	Anillo de retención del cojinetes de empuje	Acero	
361H	2	Anillo de retención del impulsor (solo en grupo S)	Acero	Acero inoxidable
371C	8	Tornillo de cabeza hexagonal	Acero	
372U	4	Tornillo de cabeza hexagonal	Acero	
418	2	Tornillo de cabeza hexagonal (elevación de la carcasa)	Acero	
425	4	Tuerca hexagonal divisoria	Acero	
426	Varía	Tornillo de cabeza hexagonal (divisor)	Acero	
428	2	Junta, del manguito al impulsor (solo en M, L y XL)	1/32 pulg. sin asbestos	
445A	2	Pasador antirrotación, anillo de desgaste de la carcasa	AISI 420	AISI 316
469G	2	Pasador cónico con tuerca hexagonal	Acero	
494	2	Conjunto de refrigeración (opcional)	Tubo conector de cobre	
497	2	Tuerca del manguito de la junta tórica (solo en M, L y XL)	Goma buna	

Nota: Descripción y material de las piezas de la bomba centrífuga. Tomado de: GOULDS PUMPS. "Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento Modelo 3410". GOULDS PUMPS. <https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/websit/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/es-UY-2014-10-IOM-3410.pdf?ext=.pdf> (accedido el 20 de mayo de 2022).

Materiales de Construcción

Tabla 32.

Materiales de construcción para la bomba centrífuga

Código	Detalle
1000	Hierro fundido - ASTM A48 clase 25B
1003	Hierro fundido - ASTM A48 clase 30B
1179	Bronce - ASTM B584-UNS C87600
304	Inoxidable forjado - ASTM A276, tipo 304
AISI 1018	ASTM A108, grado 1018 -B1112
AISI 420	ASTM A276, tipo 420
AISI 4140	ASTM A322, grado 4140
1618	Bronce - ASTM B584 aleación C80500
1071	Nitronic 60 - ASTM A743 Grado CF10SMnN

Nota: Material de construcción de bombas centrífugas. Tomado de: GOULDS PUMPS. "Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento Modelo 3410". GOULDS PUMPS. <https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/es-UY-2014-10-IOM-3410.pdf?ext=.pdf> (accedido el 20 de mayo de 2022).

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La admisión de fluido desde el depósito o tanque se realiza por medio de una entrada tipo filtro para evitar que ingresen cuerpos extraños a los equipos, y con esto se ingresa un dispositivo llamado válvula de pie para impedir que la bomba se vacíe de fluido mientras esté detenida. Con el propósito de evitar problemas por cavitación se ubica lo más baja posible, acortando lo máximo el tramo de tubería de aspiración que finaliza en la brida de entrada de la bomba.

La cavitación es el fenómeno que se produce cuando el líquido que se encuentra al interior de la bomba o el espacio donde fluye se vaporiza porque la presión que se presenta es inferior a la de vapor del fluido que se transporta. Esto hace que se formen burbujas de vapor que impiden el flujo y dañan la bomba porque existen presiones localizadas cuando estas apariciones se dan de forma brusca al alcanzar una zona de mayor presión. [31]

Para evitar esto, se crean vórtices en la zona de aspiración a alturas en el orden de la energía cinética de succión causada por la bomba al ponerla en funcionamiento; posteriormente, se instala una válvula de compuerta en la entrada a la zona de presión para evitar el golpe de ariete en las paradas bruscas que puedan provocar alteraciones a los equipos. [31]

Las válvulas de compuerta, debido a que solo permite las posiciones de abierto o cerrado, se emplean para poner en marcha la bomba. Debido a que la bomba se enciende con la válvula cerrada hasta que ésta aumente su presión, es ahí donde se abre la válvula lentamente para que el agua circule por la tubería de impulsión. [31]

Además, se instalan válvulas adicionales de cebado y purga para llenar inicialmente de fluido la bomba y retirar aire o burbujas de gas que se puedan encontrar retenidos en la tubería. Para regular el caudal, se coloca una válvula a la salida de la bomba, con esta, al cerrarla a cierto porcentaje de estrangulamiento, se producen pérdidas de carga que controlan el caudal bombeado. [31]

MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LAS BOMBAS

Tabla 33.

Plan de mantenimiento para las bombas

PIEZA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
EQUIPO COMPLETO	Verificar alineación	90 días
	Verificar estado físico de flecha	90 días
BOMBA	Verificar temperatura de cojinetes	15 días
	Lubricación de cojinetes	30 días
	Empacar prensa estopa	30 días
	Revisar impulsor	180 días
	Revisar caja o cuerpo	180 días
MOTOR	Lectura de voltaje y amperaje	15 días
	Verificar elementos térmicos	30 días
	Limpieza de arrancador	30 días

	Limpieza de interruptor de seguridad	30 días
	Verificar temperatura de cojinetes	15 días
	Lubricar cojinetes	30 días
	Cambio de baleros	360 días
	Lavado interior y barnizado	180 días

Nota: Plan de mantenimiento seleccionado correctivo para las bombas. Tomado de: AIU. "Mantenimiento De Instalaciones Hidráulicas Y Mantenimiento De Instalaciones De Frío Y De Calor". AIU. <https://cursos.aiu.edu/Mantenimiento%20Industrial/PDF/Tema%204.pdf> (accedido el 1 de junio de 2022).

MANTENIMIENTO A LAS VÁLVULAS

Debido a que las válvulas son construcciones sencillas, el mantenimiento a estas partes es sencilla, pero las recomendaciones son las siguientes [31] :

- Para cualquier operación de mantenimiento, no se necesita desmontar la válvula de la instalación hidráulica, a menos que el cuerpo tenga afectaciones o deba ser reemplazado
- Comprobar en el mismo tiempo de mantenimiento de las bombas, y en cada parada completa de la planta el cierre completo de las válvulas (sin pérdidas) cuando se requiera realizar comando de CIERRE en las válvulas manuales de 3 vías. Si es necesario, además realizar reemplazo de diafragma de ser necesario.
- Limpiar cada 15 días el filtro de toma de presión, debido a la posible presencia de sólidos en suspensión que pueda llevar el agua.
- Drenar la cámara y el cuerpo de válvulas cuando se presenten condiciones muy bajas de temperatura y posibles heladas.
- Comprobar mensualmente el correcto funcionamiento de la válvula de control revisando la correcta regulación de presión, caudal o nivel, según sea la función en la red hidráulica
- Ocasionalmente, gira el mando de la válvula de tres vías para evitar que sólidos suspendidos precipitan en las tuberías.

- Programar de manera previa el mantenimiento de las diferentes válvulas.
- Se recomienda una tarjeta u hoja de registro en donde se registre la ubicación, número de vueltas, sentido de rotación, estado actual y las fechas programadas de mantenimiento.

Pasos a seguir para el mantenimiento de las válvulas [30]

1. Revisar el funcionamiento de las válvulas haciendo girar lentamente, evitando el golpe de ariete; estas deben abrir o cerrar fácilmente. No olvidar dejar la válvula tal como se encontró abierta o cerrada.
2. Abrir y cerrar cada válvula varias veces, con el fin de eliminar los sedimentos que se encuentren en la compuerta.
3. En las válvulas que tienen fugas por la contratuerca, en ese caso ajustela y si es desgaste de la estopa, realizar el cambio respectivo.
4. Si hay problemas manipulando la válvula o fugas que no se eliminan con el prensa-estopa, verifique la empaquetadura y si es necesario, reemplazarla.
5. Verificar que los pernos y tuercas estén bien sujetados.
6. Poner kerosene o aceite de baja viscosidad entre el vástagos y la contratuerca para facilitar el manejo.
7. Revisar el vástagos o eje del tornillo, observando si se encuentra torcido o afectado por el óxido. Cambiar la pieza si es necesario.
8. Pinte con pintura anticorrosiva, las válvulas y accesorios a la vista en la red.
9. Inspeccionar las cajas de las válvulas por si hay posibles filtraciones, defectos, empozamientos, tierra, cajas, candados o elementos de cierre deteriorados.
10. Realizar mensualmente una limpieza y revisión a las cajas de válvulas e inspeccionar las vías en que se encuentre bajo el suelo la red de distribución para verificar fugas o problemas.

MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS

En el caso tal que se requiera realizar alguna reparación en la red hidráulica, antes de esto se debe [31]:

- Realizar inspección visual para verificar que no existan fugas en ninguna de las redes de tubería

- Aislar el sector según la red donde se encuentre el daño, cerrando las válvulas respecto al sector.
- Realizar la corrección según corresponda.
- Limpiar bien la unión y el sello de caucho en especial la ranura de la unión.
- Colocar el sello asegurando que no haya fugas.
- Se lubrica de manera uniforme la mitad de la longitud del espigo (no el sello de caucho)
- Luego de asegurar que la tubería está instalada correctamente se procede a abrir las válvulas de la red donde se realicen reparaciones y se revisarán si existen fugas.

Ahora bien, para el mantenimiento como tal, se hace el siguiente mantenimiento de tipo preventivo:

Limpieza y desinfección de tuberías [30]

1. Programar el sector al que se le realizará la limpieza y desinfección con previa autorización de los directivos de la instalación, es decir, la Universidad de América.
2. La limpieza de la tubería existente se realiza por medio de lavados con agua y se realizan de forma anual como decreta la ley nacional.
3. Efectuar estos trabajos en horas de la tarde o noche, de manera que cuando se termine, exista un tiempo prudencial para adecuar de nuevo a condiciones de servicio y no interrumpa otros procesos de la planta CEPPIIS
4. Las tuberías se desinfectan con hipoclorito de sodio.
5. El hipoclorito de sodio se debe mantener en la tubería por un periodo no inferior a 24 hr.
6. Luego de realizar la desinfección, el sector se lavará cuidadosamente, hasta reducir la concentración de hipoclorito a la inicial presente en el agua de proceso que proviene de los tanques de almacenamiento o la alimentación del acueducto de Bogotá.
7. Usando hipoclorito de sodio, este se debe disolver primero en una cantidad suficiente de agua para formar una pasta, la cual diluirá en más agua hasta alcanzar una concentración de 2,5% (25.000 partes por millón), antes de introducirla en la tubería. La preparación de la solución requiere un (1) kilo de hipoclorito por cada veinticinco (25) litros de agua.
8. Adicionalmente a esto, se realizan tomas de muestras y exámenes bacteriológicos para determinar las concentraciones de microorganismos y la efectividad de la planta PTAR.

Mantenimiento para las bombas según la falla. (correctivo) [32]

Tabla 34.

Plan de mantenimiento correctivo según la falla

FALLA	CAUSA	MANTENIMIENTO
La bomba no suministra líquido	No se ha realizado cebado a la bomba	Cobar la bomba y comprobar que la línea de aspiración y la bomba contengan líquido
	La bomba no está lo suficientemente cebada	Revise que no haya fugas en la tubería. Ventile la carcasa. Revise el sello mecánico y la empaquetadura.
	El impulsor está obturado	Retrolave la bomba
	El impulsor tiene un eje mal ajustado	Revisar chaveta, tuerca de fijación y tornillos de fijación
	El eje gira en dirección contraria	Cambiar rotación, esta debe coincidir con la flecha de alojamiento de los rodamientos o la carcasa de la bomba.
	El eje no gira	Revise suministro eléctrico, acople, eje y

		chaveta.
	La apertura de la tubería de aspiración o la válvula no está sumergida.	Consulte al fabricante para revisar la profundidad adecuada, use un deflector.
	La elevación de aspiración es muy alta	Controle las obstrucciones a la entrada y verifique las válvulas que estén abiertas. Controle pérdidas por fricción. Use una aspiradora o calibrador para controlar el NPSH.
	La velocidad del motor es muy baja	Verifique el cableado del motor y que el voltaje sea correcto o que la turbina reciba presión de vapor según recomendación del fabricante. El motor puede tener fase abierta.
	La altura de impulsión es muy alta	Llame al fabricante para recibir recomendaciones sobre el tamaño de impulsor. Si no es posible, reducir pérdidas de tubería, aumentar la velocidad o ambas cosas.
	La distancia de sistema o de impulsión es muy alta	Controle pérdidas por fricción y que las válvulas estén abiertas. Se puede corregir con tuberías de diámetros más altos.

La bomba no distribuye suficiente líquido o la presión no es suficiente	La tubería de aspiración tiene fuga de aire	Revise que no haya bolsas ni fugas de aire en las tuberías.
	La empaquetadura o la caja tienen fugas de aire.	Revise los sellos y empaquetaduras y cambielos si considera necesario. Revise que el equipo se encuentre bien lubricado.
	La velocidad del motor es baja	Verifique que el cableado sea correcto y que reciba voltaje o que la turbina recibe presión de vapor.
	El cabezal de impulsión está demasiado alto	Controle pérdidas por fricción. Se pueden usar tuberías más grandes.
	La elevación de succión es demasiado alta	Controlar obstrucciones en la entrada y apertura de las válvulas.
	El impulsor está obstruido	Retrolave la bomba.
	La cantidad de NPSH disponible es muy baja	<ol style="list-style-type: none"> Para aumentar la aspiración positiva, baje la bomba o incremente el diámetro de la tubería de aspiración junto con los accesorios Presurice el recipiente de aspiración

	<p>El impulsor o los anillos están gastados o rotos</p>	<p>Revise el impulsor y los anillos de desgaste y reemplace si se dan los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El impulsor o anillo está dañado • Las secciones del vano están erosionadas • La holgura del anillo es tres veces mayor de lo normal.
	<p>La válvula de pie es muy pequeña o está obstruida</p>	<p>Revise la apertura de la válvula y si es muy pequeña, aumente la medida.</p>
	<p>La entrada de succión no está lo suficientemente sumergida</p>	<p>Si no se puede bajar la entrada o no se ve cambio, se recomienda encadenar un tablón en la tubería de aspiración. Este tablón se desplazará a los torbellinos y servirá de contención para el vórtice.</p>
	<p>El eje gira en dirección contraria.</p>	<p>Cambiar la rotación. Esta debe coincidir con la flecha de alojamiento de los rodamientos.</p>
	<p>La altura de elevación es muy alta</p>	<p>Verifique si puede usar un impulsor más grande. Si no es posible, trate de reducir pérdidas, aumentar velocidad o ambas.</p>

	El sello mecánico está gastado o roto	Repare o reemplace el sello según sea requerido
	Los canales de líquido están bloqueados.	Revise las válvulas de aspiración y descarga, desmonte la bomba y revise los canales, retire la obstrucción
	Hay aire o gases en el fluido	Consulte con su fabricante.
La bomba se enciende pero no bombea	La elevación de la succión es demasiado alta	Revise posibles obstrucciones y apertura de la válvula de aspiración. Así mismo revise las pérdidas, controle que no haya pérdidas por fricción en la tubería. Use una aspiradora para controlar la carga neta positiva disponible (NPSH)
	El impulsor está obturado	Retrolave la bomba
	Las tuberías de aspiración tienen fugas de aire	Controle que no haya bolsas o fugas de aire en las tuberías.
	La empaquetadura tiene fugas de aire	Revisar la empaquetadura o el sello y reemplazarlos si es necesario. Revise la lubricación y que sea apropiada.

	<p>La abertura de tubería o la válvula de pie no está lo suficientemente sumergida.</p>	Consulte la altura necesaria y realice el ajuste. Use un deflector para eliminar los remolinos.
	<p>Hay aire o gases en el líquido</p>	Revise con el fabricante
	<p>La carcasa está dañada</p>	Revise la junta y reemplace si es necesario.
Los rodamientos se sobrecalentan.	<p>El eje está torcido</p>	Enderece el eje o reemplace si lo requiere.
	<p>Los cojinetes están gastados o no bien lubricados</p>	Revise los cojinetes y reemplazarlos si lo requiere.
	<p>Hay tensión excesiva de la tubería en la carcasa</p>	Alivie la tensión y controle la alineación.
	<p>La bomba y la unidad motriz no están correctamente alineada</p>	Realinee la bomba y el conductor.
	<p>La lubricación no se realizó correctamente</p>	Verifique que la cantidad y el lubricante son adecuados.
	<p>La lubricación no se enfriá correctamente</p>	Verifique el sistema de refrigeración.
La bomba hace ruido o vibra	<p>La bomba y la unidad motriz no están correctamente alineadas</p>	Realinee boba y el conductor
	<p>El impulsor está bloqueado</p>	Retrolave la bomba

	El impulso o el eje están dañados o torcidos	Reemplace eje o impulsor según la necesidad.
	La base no está rígida	Ajuste los pernos de sujeción de la bomba y el motor, o ajuste los postes.
	Los rodamientos están desgastados	Reemplace rodamientos
	Las piezas rotatorias están trabajadas	Verifique las holguras correctas de las partes desgastadas internas.
	La bomba cavita	Ubique y corrija el problema del sistema.
La bomba tiene fuga excesiva en la caja de la empaquetadura	El eje está torcido	Enderece o reemplace el eje
	La bomba y la unidad motriz no están correctamente alineadas	Realinee la bomba y el conductor.
	Los cojinetes están gastados o mal lubricados	Revise los cojinetes y reemplacelos
La caja de la empaquetadura se recalienta	La caja tiene fugas de aire	Controlar la empaquetadura y el sello y reemplazarlos de ser necesario.
	La caja está empaquetada incorrectamente	Controle la empaquetadura y vuelva a empaquetar la caja. Si la empaquetadura está muy ceñida, procure liberar la presión del casquillo y vuelva a ceñir

	Se instaló una empaquetadura o sello mecánico incorrectos	Consulte con el fabricante
	El sello mecánico está dañado	Revise y reemplace según su necesidad.
	La manga del eje está ranurada	Mecanice o reemplace la manga del eje según sea necesario.
	La empaquetadura está muy ceñida o el sello no se ajustó apropiadamente	Controle y ajuste la empaquetadura. Reemplace las piezas que sean necesarias. Ajusta los sellos mecánicos. Consulte las instrucciones del fabricante del sello o el fabricante de la bomba
El motor requiere una potencia excesiva	El cabezal de descarga ha descendido bajo el punto nominal y bombea demasiado líquido	Instale una válvula de estrangulación, si esto no es efectivo, recorte el diámetro del impulsor.
	El líquido es más pesado de lo esperado	Controla la gravedad y la viscosidad específicas.
	El eje gira en dirección errónea	Cambie la rotación. Esta debe coincidir con el alojamiento de los rodamientos o la carcasa de la bomba
	El impulsor está dañado	Inspeccione y reemplace el impulsor si es

		necesario
	Las piezas rotatorias están dañadas	Verifique las holguras de las partes desgastadas internas.
	El eje está torcido	Enderece el eje o reemplace.
	La velocidad del motor es demasiado alta	Controle el voltaje del motor o la presión de vapor que reciben las turbinas. Asegúrese de que la velocidad del motor es la misma que la de la placa de identificación.
	La empaquetadura está empaquetada incorrectamente	Controle la empaquetadura y vuelva a empaquetar, si está muy ceñida, trate de liberar la presión del casquillo y ciña de nuevo.
	Los cojinetes están gastados o tienen una lubricación deficiente	REvise los cojinetes y reemplazarlos si es necesario
	Las holguras de funcionamiento entre anillos son incorrectas	Controle que haya holguras apropiadas. Reemplace los anillos de desgaste o del impulsor si es necesario.
	Hay tensión excesiva de la tubería en la carcasa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumente la carga de aspiración positiva, baje la bomba o aumente el

		tamaño de tubería de aspiración y sus accesorios 2. Presurice el recipiente de aspiración
	La cantidad de NPSH disponible no es suficiente	Realinee la bomba y el conductor
	La bomba y el motor no están alineados	Si no se puede bajar la entrada o el problema continúa luego de bajar la entrada, encadene un tablón a la tubería de aspiración.
	La entrada de aspiración no está lo suficientemente sumergida .	Controlar la alineación. Revise que no existan roces entre el impulsor y la carcasa. Reemplace las piezas dañadas y rearme las tuberías.
La pieza se pone dura o tiene rozaduras	el eje está torcido	Enderece el eje o reemplace.
	Las holguras de funcionamiento entre los anillos son incorrectas	Controle que haya holguras apropiadas. Reemplace los anillos de desgaste de la carcasa o impulsor.
	Hay una tensión excesiva de la tubería	Alivie la tensión y revise la tensión
	Hay una desviación excesiva en los anillos del eje o del impulsor	Revise las piezas rotatorias y los cojinetes. Reemplace piezas gastadas o dañadas.

	Hay suciedad en el anillo de la carcasa o entre los anillos de desgaste del impulsor	Limpie y revise los anillos de desgaste. Reemplace lo gastado o dañado y retire la fuente de suciedad.
--	--	--

Nota: Plan de mantenimiento correctivo seleccionado para las bombas centrífugas basado en la falla. Tomado de: GOULDS PUMPS. "Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento Modelo 3410". GOULDS PUMPS. <https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/es-UY-2014-10-IOM-3410.pdf?ext=.pdf> (accedido el 20 de mayo de 2022).

Para conocer sobre cómo realizar estos procedimientos de mantenimiento como retrolavado, lubricación, desarme, reemplazo de impulsor, etc. Remitirse a la referencia [32] presente en la bibliografía.

8.6 Análisis what-if de la red hidráulica cepiis

El análisis de riesgo es un enfoque hacia los problemas de seguridad de proceso, como por ejemplo, los efectos de la liberación o fuga de material por las tuberías hacia el exterior, un mal funcionamiento de la PTAR, estas estudian todos los posibles efectos de los escenarios producidos en la planta CEPIIS. La importancia de la priorización para los proyectos que involucren altos niveles de peligro.

La implementación de programas de Administración de Seguridad de Procesos como un What-if es capaz de ayudar a los operarios para manejar el riesgo en una instalación a través de su vida útil. El diseñador, debe ser capaz de desarrollar y mejorar el comportamiento de los equipos pueden contribuir al riesgo de las operaciones en las plantas. Y el desarrollo de una técnica de implementación What-if comprende tres momentos específicos, ¿Qué puede ir mal?, ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra? y ¿Cuáles pueden ser las consecuencias?

Esta comprensión da a entender de qué tanta información el diseñador o la empresa posee respecto a accidentes potenciales y la circunstancia que hace la organización para comprender la información del riesgo. Sí la organización cuenta con experiencia respecto al proceso u operación determinada, solo se necesita realizar análisis formal.

En este proyecto, no se realiza análisis Hazop ya que el alcance del proyecto verifica los posibles escenarios, pero no realiza un análisis a profundidad sobre este y además, este análisis se encuentra ligado a otro proyecto de grado que se encuentra en línea a esta planta, en la referencia [33] de la cual se cita la matriz de calificación de riesgos a continuación. En aquellos casos donde la criticidad de los posibles casos obliga a una detención completa de la planta CEPIIS hasta realizar la solución de este y verificar la correcta operación de los equipos.

A continuación, se evalúan los factores de riesgo que se puedan presentar en la instalación, esta se realiza con la metodología de evaluación What-if, en los escenarios posibles durante el funcionamiento de la planta CEPIIS. Para esto, se construye la matriz usando solo la calificación aplicada en el proyecto de los estudiantes Espitia y Vargas, también participantes del proyecto CEPIIS. Los colores identifican la peligrosidad que representan en caso de su

ocurrencia, y según esto se toman las medidas o acciones correctivas correspondientes a cada caso.

Tabla 35:

Matriz de calificación de riesgos [33]

Riesgo	Rango	Acción
Bajo	0.04 a 0.16	Mantener las medidas de control existentes, pero se deben considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo es aún tolerable; Aceptable
Medio	0.2 a 0.36	Mejorar si es posible, justificar la intervención y rentabilidad; Aceptable
Alto	0.4 a 0.64	Corregir y adoptar medidas de control inmediato. Evaluar en conjunto con el dueño de proceso y el grupo HSEQ si se requiere suspensión de actividades; riesgo no aceptable o aceptable con control específico.
Crítico	0.8 a 1	Situación grave, suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control; riesgo no aceptable.

Nota: Matriz de evaluación para la elaboración del What-if. Tomado de: M. Espitia, M.S. Vargaz, *Propuesta De Un Plan De Gestión De Riesgo En El Centro De Procesos E Innovación Para La Industria Sostenible De La Universidad De América Utilizando Las Herramientas De Análisis De Riesgo What If, Hazop Y La Metodología Bow-Tie*, Bogota D.C, 2022

Tabla 36.

Análisis What-if de la red hidráulica CEPIS

¿Qué pasaría si...	Consecuencias	Riesgo	Salvaguardias
¿Se presenta un fallo en las bombas...	Detención absoluta de operaciones en el CEPIS	Crítico	Realizar el adecuado mantenimiento dentro de la periodicidad programada comprobando así el buen estado de los mecanismos de la bomba.
			El sistema de bombeo debe contar con un back up
		Crítico	Comprobar el estado de la bomba antes de ponerla en marcha para prevenir fallos de montajes incorrectos.
	Falla en el sistema de agua de proceso		Comprobar el estado de la bomba antes de ponerla en marcha para prevenir fallos de montajes incorrectos.
	Falla en el sistema de agua tratada	Alto	Desempeñar el mantenimiento programado adecuadamente comprobando así el buen estado de las bombas.
			Comprobar el estado de la bomba antes de ponerla en marcha para prevenir fallos de montajes incorrectos.
			Verificar la hermeticidad de la bomba y sus componentes eléctricos antes de sumergirla en el tanque de almacenamiento.

			Realizar el adecuado mantenimiento y limpieza de la bomba.
Falla en el sistema de agua de emergencia	Crítico		Realizar pruebas o simulacros periódicamente para verificar el adecuado funcionamiento del sistema de red de aguas de emergencia, al igual que las duchas y el lavaojos.
			Realizar el mantenimiento y limpieza de las bombas y sistema de red de aguas de emergencia.
			Comprobar el estado de la bomba antes de ponerla en marcha para prevenir fallos de montajes incorrectos.
			El sistema de bombeo debe contar con un back up
¿Se pone en funcionamiento la bomba en vacío?	Recalentamiento del motor		Antes de utilizar la bomba comprobar que la tubería de succión esté completamente llena y no exista presencia de aire en la misma o en el cuerpo de la bomba.
			Tener un sensor de nivel dentro del tanque de alimentación el cual detenga la bomba en caso de bajos niveles de fluido.
	Se presenta rotura en el eje de transmisión de la bomba		Antes de utilizar la bomba comprobar que la tubería de succión esté completamente

			llena y no exista presencia de aire en la misma o en el cuerpo de la bomba.
			Verificar la alineación del eje de rotación de la bomba.
	Se presentan fallos en los cojinetes	Alto	Realizar el adecuado mantenimiento y limpieza de las bombas y sus sistemas mecánicos.
			Verificar que los cojinetes estén adecuadamente lubricados.
Hay cavitación en la bomba?	Daño en el impulsor de la bomba	Medio	Antes de utilizar la bomba comprobar que la tubería de succión esté completamente llena y no exista presencia de aire en la misma o en el cuerpo de la bomba.
		Medio	Realizar una selección adecuada de la bomba, teniendo en cuenta sus valores de NPSH disponible y requerido.
	Daño en elementos hidráulicos de la red como valvulas y tuberia	Medio	Realizar el mantenimiento de las redes de tubería y sus accesorios para verificar su estado.
		Medio	Identificar de manera rápida la cavitación en la bomba gracias a los ruidos o vibraciones excesivas para evitar daños a largo plazo.
¿Se presenta	Fallos en la tubería por	Crítico	Estrangular gradualmente la

¿Aponamiento u obstrucción de la tubería?	elevación de la presión de la tubería y golpe de ariete		corriente del fluido, evitando cierres abruptos en las válvulas.
			Contar con válvulas de alivio para dispersar la presión que se pueda acomular en las tuberías.
	Pérdidas de fluido por fugas dentro de la tubería o la bomba	Media	Realizar el adecuado mantenimiento y limpieza de las bombas y las redes de tubería.
			Verificación de los sellos de las bombas
¿Se presenta corrosión en los accesorios de la tubería?	Condiciones inadecuadas de funcionamiento para equipos, accesorios y tubería	Media	Realizar el mantenimiento de la red de tubería dentro de la periodicidad programada
	Desbordamiento o apozamiento de agua lluvia.	Media	Realizar el mantenimiento de los sistemas de captación y las bajantes de la red de agua lluvia dentro de la periodicidad programada.
¿Se presenta corrosión en los accesorios de la tubería?	Pérdidas de fluido por fugas en accesorios.	Media	Realizar el mantenimiento de la red de tubería y accesorios dentro de la periodicidad programada
	Bajadas de rendimiento y eficiencia en el sistema de bombeo.	Media	Comprobar el estado de la bomba y la red de tubería antes de ponerla en marcha para identificar posibles fallos.
			Realizar el mantenimiento de la red de tubería y accesorios dentro de la periodicidad programada

¿No se realiza mantenimiento?	Falla en el funcionamiento de la bomba, en el sistema de red de aguas de emergencia y mal funcionamiento de los equipos	Crítico	Realizar mantenimiento al sistema de bombeo y red de aguas de emergencias, la red de agua de proceso y la red de agua tratada periódicamente, para evitar daños en los equipos debido a un mal funcionamiento.
-------------------------------	---	----------------	--

Nota: What-if de los posibles escenarios presentados en la planta CEPII

9. CONCLUSIONES

Se realizó una recopilación bibliográfica de los aspectos a tener en cuenta para la construcción de una red hidráulica en Bogotá, y Colombia, no solo de parámetros técnicos sino también legales o que deban ser parte del conocimiento básico para el diseñador de red, donde se ejemplifica cómo instalar una red y además ponerla en marcha realizando pruebas de confiabilidad, basadas en la experiencia y en proyectos de aplicación actuales.

Por otra parte, los requerimientos de la red de agua de proceso se encontraron por medio de las fichas técnicas de cada equipo: Banco de reactores, Planta destilación continua, Planta de absorción de gases, Planta de extracción de sólido-líquido y líquido-líquido, secador de bandejas y tren de evaporadores. De acuerdo a las fichas técnicas se determinó que el único equipo que no requiere un flujo de agua es el secador de bandejas; el resto de equipos cuentan con flujos de 1 m³/h a 1.8 m³/h en donde al sumar cada una de las ramificaciones de la red para cada equipo se obtiene un flujo total de 6.6 m³/h. Sin embargo, de acuerdo a la importancia en el funcionamiento de cada equipo y teniendo en cuenta que se calculó un caudal mínimo para la red se utilizó un factor de seguridad de 0.3 para asegurar la operatividad y constancia del CEPIIS, dando así un caudal de 8,58 m³/h.

A diferencia de la red de agua de proceso para la determinación de los requerimientos de la red de emergencia se llevó a cabo por medio de la revisión de la norma ANSI/ISEA Z358.1-201 cuyas especificaciones para el flujo de caudal de duchas- lavaojos es de 5.455 m³/h y 0.109 m³/h respectivamente.

Para la red de agua lluvias se concluyó que el valor en mm de las precipitaciones sobre la ciudad de Bogotá D.C. durante un año que se encontraba en la página del IDEAM no era suficiente para la realización de los cálculos de las bajantes de agua lluvia del CEPIIS puesto que al contemplar la metodología de cálculo se debía contar con un valor de intensidad el cual se encontraba en las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) en las bases de datos del IDEAM las cuales dan los valores de intensidad de lluvia respecto a las duración de la misma siendo los primeros minutos de la precipitación el de mayor flujo por lo tanto el más crítico por lo que se determinó un valor de 126.3 mm para los primeros 15 minutos de lluvia. En el caso de la red de agua tratada se encontró que los requerimientos que iban a limitar el flujo a través de

la misma estaban dados por la capacidad y el espacio que se tuvieran dispuestos por parte de la PTAR encontrando que para el bombeo del agua tratada se contaba con una pozo de almacenamiento de 1 m³ y por lo que la bomba que debía estar dentro del pozo debía impulsar el agua de forma rápida dejando nuevamente el espacio para el almacenamiento.

Para el desarrollo de los cálculos hidráulicos, se contó con la ayuda de la herramienta programada “HERRAMIENTA PROGRAMADA PARA EL DISEÑO DE LAS REDES DE SERVICIO AGUA DE PROCESO, AGUA RESIDUAL Y VAPOR PARA LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD AMÉRICA” se calculó las pérdidas de carga para cada red, en donde la red de agua de proceso tiene pérdidas de 14.04 m para una tubería de 1 ½” en PVC, la red de agua de emergencia de 7.5 m para una tubería de 2 ½” en PVC, la red de agua tratada de 6.9 m para una tubería de 1” en PVC. respecto a las perdidas encontradas se seleccionó: una electrobomba centrífuga electrobomba centrífuga con un tipo de rodete cerrado de latón de 6 alaves modelo CP160B (3450 rpm) del catalogo pedrollo con una eficiencia del 56.2% y una potencia de 1.4 KW, una tipo de bombas centrífuga horizontal, monocelular, de aspiración axial y descarga vertical modelo N 629 B 200 a 1450 rpm del catálogo de VOGT con una eficiencia del 72% y una potencia de 1.3 KW y por último una electrobomba sumergible multicelular automática de la empresa pedrollo con rodete cerrado hecho de una mezcla de resina de éter de polifenileno (PPE) y poliestireno (PS) que contiene un 20 % de vidrio reforzado con una potencia de consumo de 0.55 KW y una capacidad vaciado del fondo de hasta 22 mm del fondo. En el caso de las bajantes de agua lluvia se seleccionó una tubería en PVC de calibre 21 y de diámetro nominal de 3 ½”.

Para terminar obtuvo un manual guía el cual cuenta con información general acerca del proceso que se llevó a cabo en esta tesis, reuniendo información fundamental para las redes diseñadas y para futuros proyecto o estudiantes que quieran profundizar en el cálculo, selección y diseño de redes hidráulicas. Donde se realizó un análisis sobre el funcionamiento y mantenimiento de una red hidráulica luego de su construcción y puesta en marcha, se aplicaron los conceptos de mantenimiento o tipos como el correctivo y preventivo, basados en recomendaciones que se dan en proyectos para líneas de acueducto o catálogos de bombas comerciales, además de todos los casos posibles en la planta, en forma de matriz de análisis What-if con los casos críticos y medio, junto con su recomendación o acción en caso de falla.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. N. G. Rafael, O. Ortiz, L. Javier, E. Chidoy, and U. N. D. E. C. Bogotá, "Tipos De Tubería," Universidad Nacional De Colombia, 2016.
- [2] M. Ductile and E. Unidos, "Tubería de hierro dúctil," 2009. [Online]. Available: <https://www.mcwaneinternational.com/upl/downloads/catalog/products/iso-en-tuber-a-de-hierro-d-ctil-651dfd91.pdf>.
- [3] Motorex, «Motorex,» Motorex, 5 de agosto de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.motorex.com.pe/blog/diferencia-tuberias-cobre/> [Último acceso: 10 de septiembre de 2021].
- [4] «Tipos De Tuberías Plásticas, Diferencias Y Sus Usos,» Foncal, [En línea]. Available: <https://www.foncal.es/tuberias-y-accesorios/tipos-de-tuberias-plasticas-diferencias-y-sus-usos> [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [5] JRUIVAL609, «Tipos De Tuberías Según El Tipo De Instalación,» Integración de las Tecnologías en el Taller de Instalaciones, 23 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/conectandoima/2020/01/24/tipos-de-tuberias-segun-el-tipo-de-instalacion/> [Último acceso: 11 septiembre 2021].
- [6] «Tipos de tuberías según su material y características,» NETJET, 19 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.netjet.es/tipos-de-tuberias-segun-su-material-y-caracteristicas/> [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [7] «Tuberías y accesorios de polietileno, pvc, polipropileno,,» Hidroplast Lleida, [En línea]. Available: <https://hidroplastlleidasite.wordpress.com/tuberias-y-accesorios/> [Último acceso: 2021 Septiembre 12].
- [8] R J Mott Untener Mecánica de fluidos. México, D.F.: Pearson Educación,(2015)
- [9] Mott, R. L. (2006). Mecánica De Fluidos (6a. ed., 1a. reimpr.). México: Pearson Educación.
- [10] D. Duran y C. Monsalve. "Diseño Esquemático De Las Redes De Vapor, Agua De Proceso Y Agua Residual De La Planta Piloto". Fundación Universidad de América. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8640> (accedido el 10 de marzo de 2022).
- [11]"Estudio De La Caracterización Climática De Bogotá Y Cuenca Alta Del Río Tunjuelo". IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa> (accedido el 5 de abril de 2022).

- [12] "CURVAS IDF - CURVAS IDF - IDEAM". IDEAM - IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf/>
[/document_library_display/WiU2xPoyv4KA/view/24541172?_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_topLink=home&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_delta2=20&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_keywords=&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_advancedSearch=false&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_andOperator=true&p_r_p_564233524_resetCur=false&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_cur2=2](https://document_library_display/WiU2xPoyv4KA/view/24541172?_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_topLink=home&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_delta2=20&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_keywords=&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_advancedSearch=false&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_andOperator=true&p_r_p_564233524_resetCur=false&_110_INSTANCE_WiU2xPoyv4KA_cur2=2) (accedido el 13 de junio de 2022).
- [13] Bradley_Safety_ANSIGuide, "Una guía para la norma ANSI / ISEA Z358 . 1-2014," pp. 1–3, 2016.
- [14] "Manual Técnico Tubosistemas PAVCO". Nal Eléctricos. <https://www.nalelectricos.com.co/archivos//PAVCO-sanitaria.pdf> (accedido el 8 de marzo de 2022).
- [15] EPM. "Norma De Construcción Instalación En Zanja De Tuberías De Pvc, Hd, Grp, Ccp Y Acero En Redes De Acueducto".EPM. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL01_34_Instalacion_en_zanja_de_tuberia_de_PVC_HD_GRP_CCP_y_ACERO_en_redes_de_acueducto.pdf (accedido el 7 de abril de 2022).
- [16] "Diseño Hidráulico, Sanitario Y Red Contra Incendio". UNAL. [http://contratacion.bogota.unal.edu.co/documentos/CON-BOG-003-2019/pdf/CON-BOG-003-2019-ANEXO%20Especificaciones%20HyS%20\(1\).pdf](http://contratacion.bogota.unal.edu.co/documentos/CON-BOG-003-2019/pdf/CON-BOG-003-2019-ANEXO%20Especificaciones%20HyS%20(1).pdf) (accedido el 9 de marzo de 2022).
- [17] Instituto Amazónico De Investigación Científicas Sinchi Sede Inirida. (n.d.). *Sinchi Colombia*. Sinchi Colombia. Retrieved August 26, 2021, from <https://sinchi.org.co/files/CONVOCATORIAS/PDF/4.Especificaciones%20Hidraulicas%20Inirida.pdf>
- [18]"Norma De Construcción Para Prueba De Presión Hidrostática En Redes De Agua Potable". EPM. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL01_31_Prueba_de_presion_hidrostatica.pdf (accedido el 16 de marzo de 2022).
- [19] I. E. R. GIRÓN, "Estudio De Las Propiedades Y Aplicaciones Industriales Del Polietileno De Alta Densidad (Pead)," Universidad De San Carlos De Guatemala Facultad, 2005

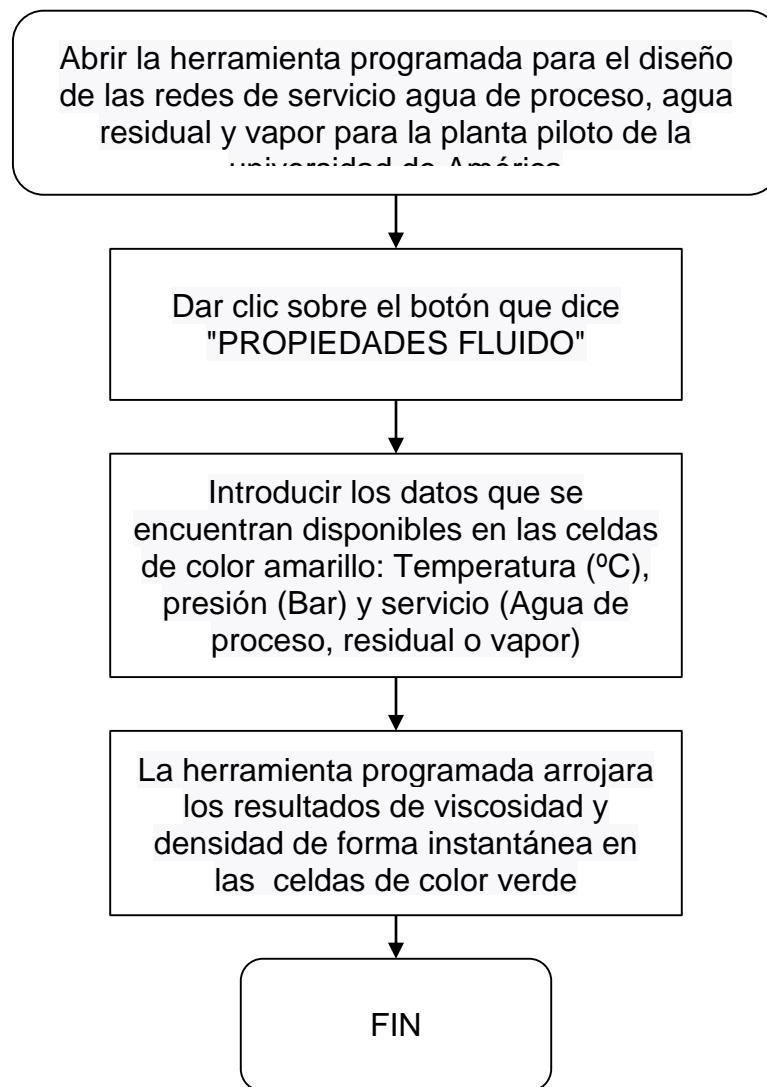
- [20] Eternit, "tanques plásticos," [Online]. Available: <https://www.eternit.com.co/documents/32456/170778/FICHA+TECNICA+TANQUES+PLASTICOS.pdf/7ce436b6-e3ca-4580-8368-9c26dbab10ac>.
- [21] "Norma técnica colombiana NTC 3458 : higiene y seguridad. Identificación de tuberías y servicios ``.Google Books. https://books.google.com.co/books/about/Norma_tecnica_colombiana_NTC_3458_higien.html?id=roTbMgEACAAJ (accedido el 14 de junio de 2022).
- [22] (s. f.). IDEAM - IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>
- [23] Inoxpa. "Curvas Características Performance Curves Prolac HCP". INOXPA. <https://www.inoxpa.com/uploads/document/Corbes/HCP/01.030.12.0051.pdf> (accedido el 4 de abril de 2022).
- [24]"Bombas Centrífugas", *Franklinagua.com*, 2022. [Online]. Available: <https://franklinagua.com/media/22378/Mi4071-AG-Series-Catalog-05-14sp-ODP.pdf>. [Accedido: 14- Jun- 2022].
- [25]Pedrollo. "Catálogo general". Casa del riego Ecuador. <https://www.casadelriegoecuador.com/wp-content/uploads/2020/09/CATALOGO-GENERAL-PEDROLLO-60Hz.pdf> (accedido el 11 de febrero de 2022).
- [26] "Documento básico". Código Técnico Org. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DccHS.pdf> (accedido el 11 de mayo de 2022).
- [27] "Bombas Centrífugas Normalizadas". Global Riego. <https://www.globalriego.cl/pdf/bomba-vogt.pdf> (accedido el 6 de abril de 2022).
- [28] Pedrollo. "Electrobombas sumergibles multicelulares". Pedrollo. https://www.pedrollo.com.co/public/allegati/TOP%20MULTI_ES_60Hz.pdf (accedido el 19 de mayo de 2022).
- [29] EPM. "Guía para el diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado". EPM. https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/GuiaDisenoHidraulicoRedesAlcantarillado.pdf (accedido el 12 de mayo de 2022).

- [30] Movilla, J. (2012). *Manual De Operación Y Mantenimiento De Redes De Agua Potable*. EMDUPAR. <https://www.emduper.gov.co/index.php/la-entidad/sistema-integrado-de-gestion/Planeacion/Manuales/MA-GM-02%20MANUAL%20DE%20OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20DE%20REDES%20DE%20AC.pdf>/download
- [31] AIU. "Mantenimiento De Instalaciones Hidráulicas Y Mantenimiento De Instalaciones De Frío Y De Calor". AIU. <https://cursos.aiu.edu/Mantenimiento%20Industrial/PDF/Tema%204.pdf> (accedido el 1 de junio de 2022).
- [32] GOULDS PUMPS. "Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento Modelo 3410". GOULDS PUMPS. <https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/es-UY-2014-10-IOM-3410.pdf?ext=.pdf> (accedido el 20 de mayo de 2022).
- [33] M. Espitia, M.S. Vargaz, *Propuesta De Un Plan De Gestión De Riesgo En El Centro De Procesos E Innovación Para La Industria Sostenible De La Universidad De América Utilizando Las Herramientas De Análisis De Riesgo What If, Hazop Y La Metodología Bow-Tie*, Bogota D.C, 2022

ANEXOS

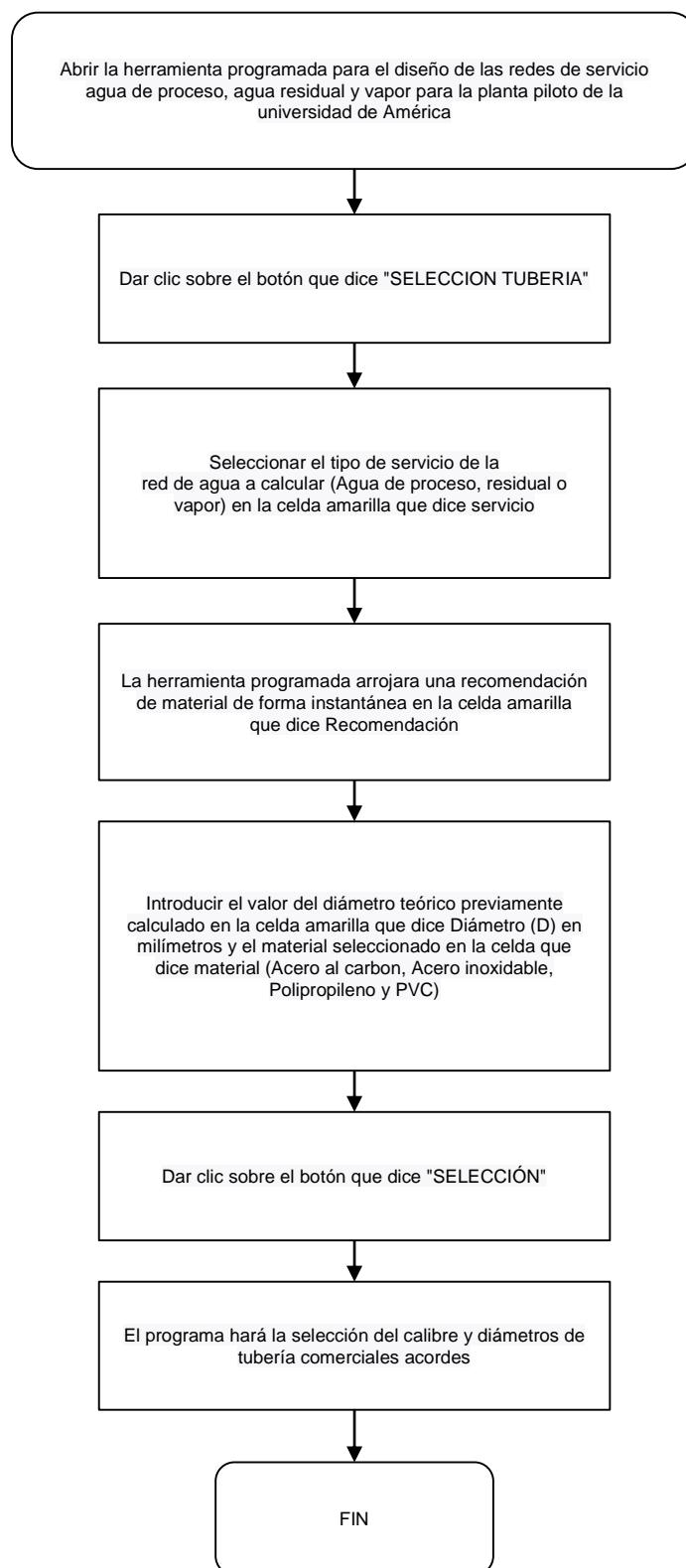
ANEXO 1

Cálculo por medio de la herramienta programada de la viscosidad y la densidad del fluido.



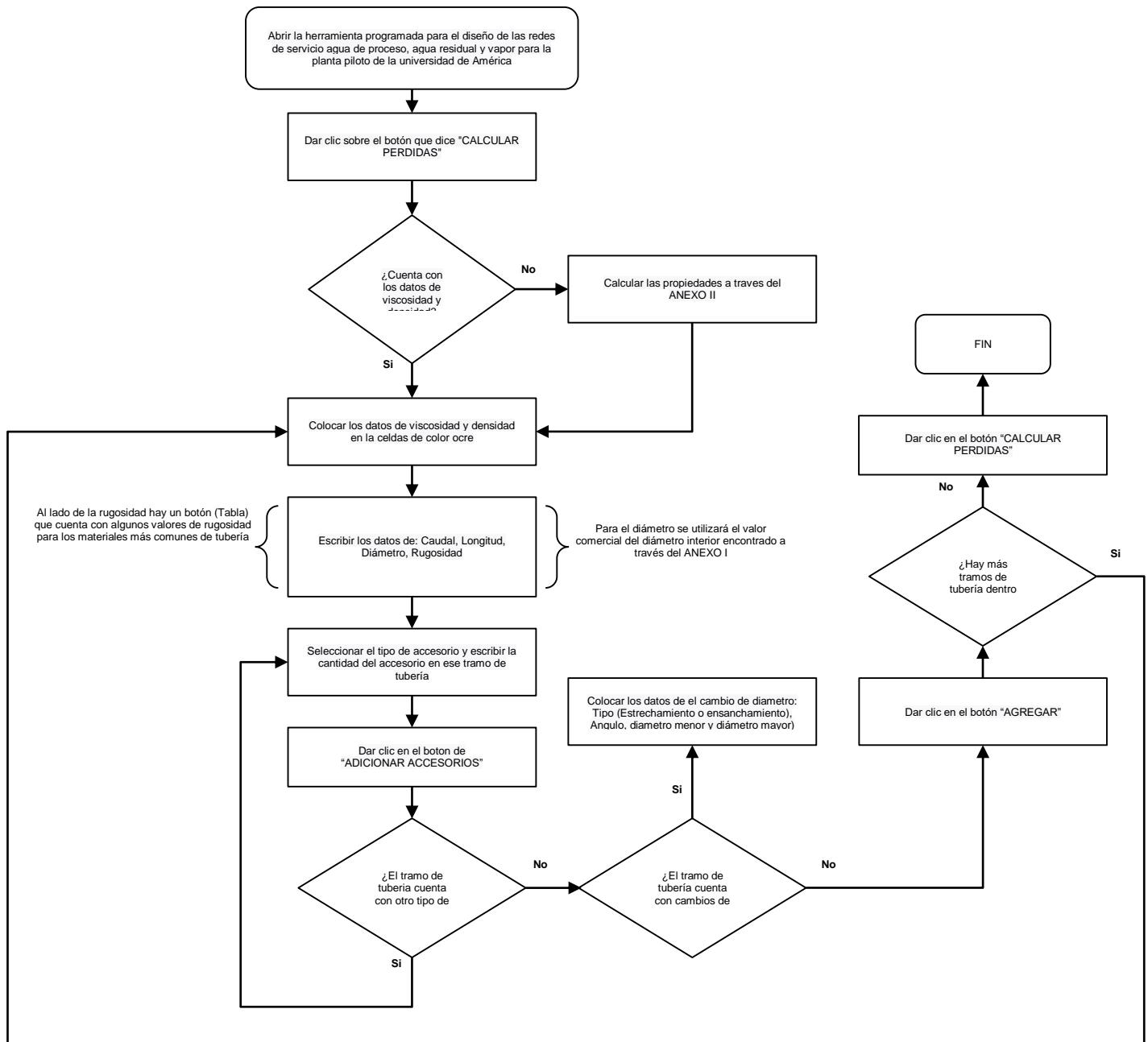
ANEXO 2

Selección comercial de tubería por medio de la herramienta programada



ANEXO 3

Cálculo por medio de la herramienta programada de las pérdidas en la red de tubería.



ANEXO 4

RECOMENDACIONES-PROYECCIÓN A FUTURO DE LA PLANTA CEPIIS

La planta CEPIIS contempla a futuro el avance y evolución de los materiales, estudios de experimentación y la capacidad de producción en investigación, para esto se realiza un breve análisis de los posibles cambios que se contemplan en el proyecto.

1. Adición de equipos que requieran alimentación de agua de proceso, desagües, accesorios y que aumenten el caudal mínimo requerido, y a pesar de esto, no afectarán los escenarios de utilización de la bomba de agua de proceso, o los requerimientos de almacenamiento ya que esto se contempla en los planes de contingencia de la planta.
2. Es posible aumentar la capacidad de almacenamiento de agua mediante la adición de tanques de almacenamiento, manteniendo la premisa de sostenibilidad de la planta CEPIIS en la Universidad de América, teniendo en cuenta que se debe realizar un estudio de localización de estos tanques y su adecuación a la red hidráulica.
3. Adición de equipos hidráulicos como lo son válvulas, accesorios, bombas back-up para la corrección de fallas se contemplan dentro de los cálculos y no afectan generalmente la selección de las bombas inicialmente indicadas en el capítulo de cálculos hidráulicos.
4. La trazabilidad y confiabilidad de los cálculos hidráulicos y de la herramienta de apoyo se realizó mediante la comprobación de datos y selección con resultados reales de aplicación, como por ejemplo, ejercicios del libro mott, aplicación de las bombas centrífugas comerciales según el fabricante, los cuales dan veracidad de los datos obtenidos en la sección número 7.
5. Los fabricantes de las bombas poseen garantía y servicio de mantenimiento durante los primeros años de operación de los equipos en caso tal de presentar fallas críticas desde su puesta en marcha así mismo ofreciendo asesoría en caso que se requiera.
6. Para la línea de agua lluvia específicamente, se espera realizar un mayor aprovechamiento del área proyectada de recolección añadiendo mediante tuberías y un acople a la red hidráulica usando las bajantes de la zona de salones de economía, siendo estos los salones M de la sede de Bienestar de la Universidad de América afectando en mínima medida la red hidráulica establecida inicialmente.
7. En el techo de la planta CEPIIS, se deja abierto el espacio para la recolección de aguas lluvias, pero en la perspectiva de sostenibilidad, es posible instalar en esta área paneles solares para la recolección de luz solar aprovechable en planta, y que, en teoría, no afectaría el caudal recolectado, ya que esta selección de caudal se realizó en función de casos extremos de pluviosidad en la zona, así que no sobrepasará los límites establecidos.