



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

**Diseño hidráulico de cámara de bombeo de aguas
residuales en el distrito de Chorrillos, Lima 2021**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Jhan Pierre INGA ANCHIRAICO

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

Referencia bibliográfica

Inga, J. (2022). *Diseño hidráulico de cámara de bombeo de aguas residuales en el distrito de Chorrillos, Lima 2021*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

| Datos de autor | |
|----------------------------------|---|
| Nombres y apellidos | Jhan Pierre Inga Anchiraico |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 73906705 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0002-7848-4493 |
| Datos de asesor | |
| Nombres y apellidos | |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | |
| URL de ORCID | |
| Datos del jurado | |
| Presidente del jurado | |
| Nombres y apellidos | JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 09634918 |
| Miembro del jurado 1 | |
| Nombres y apellidos | MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 07930910 |
| Miembro del jurado 2 | |
| Nombres y apellidos | JORGE LUIS GASTELO VILLANUEVA |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 08434899 |
| Miembro del jurado 3 | |
| Nombres y apellidos | |
| Tipo de documento | DNI |

| | |
|--|--|
| Número de documento de identidad | |
| Datos de investigación | |
| Línea de investigación | A.2.5.1. Energética |
| Grupo de investigación | |
| Agencia de financiamiento | PROPIA |
| Ubicación geográfica de la investigación | País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Chorrillos Latitud: -12°12'27.27" Longitud: 77°0'18.25" |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | 2021 |
| URL de disciplinas OCDE | Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01 |



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

XIII CAP DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

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

Siendo las 15:00 horas del día viernes 2 de diciembre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Mg. Ing. JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS y con la asistencia de los miembros Mg. Ing. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ y el Dr. Ing. JORGE LUIS GASTELO VILLANUEVA, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación de la Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-3 Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

JHAN PIERRE INGA ANCHIRAICO

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller JHAN PIERRE INGA ANCHIRAICO, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada “DISEÑO HIDRÁULICO DE CÁMARA DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS, LIMA 2021”.

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

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

.....DIECISÉIS..... 16

El Presidente del Jurado Mg. Ing. JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller JHAN PIERRE INGA ANCHIRAICO Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 16:15 horas del mismo día, se levantó la sesión.

Mg. Ing. JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS
PRESIDENTE DEL JURADO

Mg. Ing. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ
MIEMBRO DEL JURADO

Dr. Ing. JORGE LUIS GASTELO VILLANUEVA
MIEMBRO DEL JURADO



UNMSM

Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.12.2022 19:55:33 -05:00

DR. WHUALKUER ENRIQUE LOZANO BARTRA
VICEDECANO ACADÉMICO FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

<https://us06web.zoom.us/j/81216267982?pwd=ZDR1U2FmT0hPdWVhFV0lJRnAycU5PQT09>

ID de reunión: 812 1626 7982

Código de acceso: 106843

Grabación archivada en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1lq6aqrCJ2zYUOh531-Sjena_x2woTE2m/view?usp=share_link

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado (1)
"DISEÑO HIDRÁULICO DE CÁMARA DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS, LIMA 2021"
7. Autor del documento (2)
JHAN PIERRE INGA ANCHIRAICO
8. Fecha de recepción del documento 19/11/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 21/11/22
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
4%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 30/12/22



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092262 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.01.2023 12:03:09 -05:00

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

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

Dedicado a mis padres, Pascual y Rubela, a mis hermanos, Paul y Fiorella, y a mi sobrino Anderson, quienes fueron mi gran apoyo en este camino de aprendizaje.

Agradecimientos

Agradecimiento a Dios, por darme fuerzas para superar las adversidades de cada día y por darme la bendición de tener a mis padres siempre en mi camino.

Resumen

La presente monografía relata sobre el diseño hidráulico de una cámara de bombeo de aguas residuales, que surge debido a la reubicación de la cámara de bombeo de desagüe proyectada N°01(CBDP-01) del proyecto de “Sectorización del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado la parte alta de Chorrillos”. El motivo de la reubicación es por la oposición de los pobladores de la Asociación Huertos de Villa del distrito de Chorrillos debido a que la construcción de la CBDP-01 implica la demoler el parque Huertos de Villa. La construcción de dicha cámara es de vital importancia para el proyecto en mención, por lo que se planteó la reubicación en la estación de bombeo existente N°65 (CD-65) por ser una zona cercana y disponible. Se realizó la inspección de la CD-65 y como resultado se plantearon 02 propuestas: construir la CBDP-01 en el área disponible de la CD-65 o construir una sola cámara de bombeo que reemplace a la CD-65 y la CBDP-01. Se optó por escoger la primera opción, construir la CBDP-01 que funcione de manera independiente de la CD-65. Para el diseño hidráulico se consideró los caudales de contribución de desagüe del área de drenaje proyectada y la línea de impulsión de la CBDP-01, el cual se encontraba construida. Como resultado del presente trabajo se obtuvo una cámara de bombeo tipo Caisson con cámara húmeda de volumen útil de 28.716 m^3 , un canal de aproximación con rejas para el cribado de sólidos y un sistema de tratamiento de olores con capacidad de renovación de $2877,40 \text{ m}^3/\text{hr}$, una cámara seca donde se instalará 03 bombas centrifugas con capacidad conjunta de bombeo de 423.00 l/s y una bomba en reserva, el cual tendrán un funcionamiento alternado y simultaneo en función de niveles de parada y encendido.

Palabra clave; bombas sumergibles, bombeo de aguas residuales, cámara de bombeo, inspección, diseño.

Tabla de Contenidos

| | |
|--|----|
| Capítulo 1 - Generalidades..... | 9 |
| 1.1. Introducción | 9 |
| 1.2. Importancia del tema..... | 10 |
| 1.3. Identificación del problema. | 10 |
| 1.4. Propuesta de solución | 12 |
| 1.4.1. Construir la CBDP-01 en el área disponible de la CD-65. | 13 |
| 1.4.2. Construir una cámara de bombeo que reemplace a la CD-65 y a la CBDP-01. ... | 14 |
| 1.5. Selección de la propuesta..... | 14 |
| 1.6. Objetivos de la monografía..... | 15 |
| 1.6.1. Objetivo General..... | 15 |
| 1.6.2. Objetivos específicos | 15 |
| Capítulo 2 – Marco Teórico | 16 |
| 2.1 Antecedentes | 16 |
| 2.2 Bases teóricas fundamentales | 18 |
| 2.2.1 Ecuación de Bernoulli..... | 18 |
| 2.2.2 Ecuación de continuidad..... | 19 |
| 2.2.3 Ecuación general de energía | 20 |
| 2.2.4 Ecuación de Hazen - Williams..... | 20 |
| 2.3 Bases teóricas de ingeniería..... | 22 |
| 2.3.1 Bombas hidráulicas..... | 22 |
| 2.3.2 Clasificación de Bombas Hidráulicas | 22 |
| 2.3.3 Sistema de bombeo | 24 |
| 2.3.4 Estación de bombeo de aguas residuales | 30 |
| 2.3.5 Línea de impulsión..... | 35 |
| 2.3.6 Fenómeno de golpe de ariete | 36 |
| Capítulo 3 – Proceso Metodológico..... | 40 |
| 3.1 Ubicación del proyecto | 40 |
| 3.2 Descripción de instalaciones de la CD-65 | 41 |
| 3.2.1 Estación de bombeo CD-65 | 41 |
| 3.2.2 Cámara de seca | 42 |
| 3.2.3 Tubería de impulsión | 43 |
| 3.2.4 Cámara de rejillas..... | 44 |
| 3.2.5 Sistema de tratamiento de olores | 44 |
| 3.2.6 Tablero eléctrico y grupo electrógeno | 45 |
| 3.3 Cálculos de ingeniería..... | 46 |
| 3.3.1 Consideraciones previas para el cálculo | 46 |
| 3.3.2 Área disponible para la CBDP-01..... | 47 |
| 3.3.3 Dimensiones de la CBDP-01 | 47 |
| 3.3.4 Análisis del volumen útil disponible de la cámara húmeda..... | 49 |
| 3.3.5 Cálculo del caudal de bombeo y volumen útil..... | 50 |
| 3.3.6 Cálculo del diámetro de tubería en la succión y descarga | 52 |
| 3.3.7 Cálculo de pérdida de carga en la succión y descarga | 53 |
| 3.3.8 Cálculo del diámetro de la tubería de descarga principal | 56 |
| 3.3.9 Cálculo de pérdida de carga en la descarga principal | 57 |

| | |
|-----------------|--|
| | 6 |
| 3.3.10 | Cálculo del diámetro de tubería en la impulsión 58 |
| 3.3.11 | Cálculo de pérdida en la impulsión..... 58 |
| 3.3.12 | Cálculo de la altura geométrica y altura dinámica total..... 60 |
| 3.3.13 | Cálculo de la curva característica del sistema..... 61 |
| 3.3.14 | Selección de equipo de bombeo y punto de operación 63 |
| 3.3.15 | Análisis de niveles de parada y arranque 66 |
| 3.3.16 | Recalculo de los puntos de operación del sistema de bombeo 68 |
| 3.3.17 | Curva características de la bomba con 1 bomba en funcionamiento 70 |
| 3.3.18 | Curvas de eficiencia de la bomba con 2 bombas en funcionamiento 71 |
| 3.3.19 | Curvas de eficiencia de la bomba con 3 bombas en funcionamiento 72 |
| 3.3.20 | Análisis del NPSH requerido y disponible 74 |
| 3.3.21 | Análisis del tiempo de retención..... 74 |
| 3.3.22 | Cálculo de golpe de ariete..... 76 |
| 3.3.23 | Cálculo de capacidad del sistema de tratamiento de olores 79 |
| 3.3.24 | Dimensionamiento de rejillas..... 80 |
| Capítulo 4 | – Resultados y Discusión 85 |
| 4.1 | Presentación, análisis e interpretación de resultados 85 |
| Conclusiones | 91 |
| Recomendaciones | 93 |
| Bibliografía | 94 |
| Anexos | 96 |

Lista de tablas

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabla 1 | Coeficiente de fricción – Hazen Williams | 21 |
| Tabla 2 | Coeficiente K para pérdida de carga local de accesorios | 25 |
| Tabla 3 | Clasificación de las estaciones de bombeo | 30 |
| Tabla 4 | Velocidades recomendadas en la tubería de succión y descarga. | 35 |
| Tabla 5 | Velocidades recomendadas en la impulsión | 36 |
| Tabla 6 | Valores de C en la ecuación de Mendiluce | 37 |
| Tabla 7 | Valores de K en la ecuación de Mendiluce | 38 |
| Tabla 8 | Criterios del tiempo de propagación | 38 |
| Tabla 9 | Criterios para el cálculo de sobrecarga por golpe de ariete | 39 |
| Tabla 10 | Caudales de contribución de desagüe | 46 |
| Tabla 11 | Escenarios de Funcionamiento de Bombeo | 52 |
| Tabla 12 | Caudales de funcionamiento paralelo de 3 bombas | 52 |
| Tabla 13 | Selección de diámetro de tubería de succión y descarga | 53 |
| Tabla 14 | Accesorios en la tubería de succión | 54 |
| Tabla 15 | Accesorios en la tubería de descarga | 55 |
| Tabla 16 | Selección de diámetro de tubería de descarga principal | 56 |
| Tabla 17 | Tabla de accesorios en la descarga principal | 57 |
| Tabla 18 | Selección de diámetro de tubería de impulsión | 58 |
| Tabla 19 | Tabla de accesorios en la impulsión | 59 |
| Tabla 20 | Resumen de pérdida de carga del sistema | 60 |
| Tabla 21 | Datos de niveles de CBDP-01 | 60 |
| Tabla 22 | Datos para el cálculo de la curva característica del sistema | 62 |
| Tabla 23 | Datos para la selección del equipo de bombeo | 63 |
| Tabla 24 | Características del equipo de bombeo seleccionado | 64 |
| Tabla 25 | Puntos de operación del sistema de bombeo | 64 |
| Tabla 26 | Niveles de funcionamiento de la cámara húmeda | 67 |
| Tabla 27 | Puntos de operación final del sistema de bombeo | 69 |
| Tabla 28 | Velocidades en la succión y descarga | 73 |
| Tabla 29 | Velocidades en la descarga principal e impulsión | 73 |
| Tabla 30 | Características del canal de aproximación | 80 |
| Tabla 31 | Especificaciones de reja | 81 |
| Tabla 32 | Pérdidas de carga en la reja manual | 82 |
| Tabla 33 | Características del diseño de reja mecánica | 82 |
| Tabla 34 | Especificaciones de reja mecánica | 83 |
| Tabla 35 | Pérdidas de carga en las rejillas | 84 |

Lista de Figuras

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | Esquema inicial de la ubicación de la CBDP-01 | 11 |
| Figura 2 | Parque Huertos de Villa - Chorrillos | 11 |
| Figura 3 | Esquema de Ubicación de CBDP-01 y CD-65 | 12 |
| Figura 4 | Ubicación de CD-65 | 13 |
| Figura 5 | Esquema de energía entre 2 puntos – Ecuación de Bernoulli | 18 |
| Figura 6 | Flujo a través de un tubo de corriente | 19 |
| Figura 7 | Equipo de bombeo de aguas residuales | 22 |
| Figura 8 | Clasificación de bombas hidráulicas | 23 |
| Figura 9 | Esquema de altura de elevación de una bomba | 27 |
| Figura 10 | Curva Característica de una Bomba Centrífuga | 28 |
| Figura 11 | Curva Característica de la Bomba y del Sistema | 29 |
| Figura 12 | Niveles de arranque y parada de bombas de la cámara húmeda | 33 |
| Figura 13 | Estación de Bombeo Convencional de Aguas Residuales | 34 |
| Figura 14 | Esquema de tubería de aspiración y descarga | 35 |
| Figura 15 | Ubicación de la Estación de Bombeo CD-65 - Chorrillos | 40 |
| Figura 16 | Exterior de la CD-65 | 41 |
| Figura 17 | Caseta de Seguridad de la CD-65 | 42 |
| Figura 18 | Tubería de descarga CD-65 | 42 |
| Figura 19 | Válvulas de la tubería de descarga CD-65 | 43 |
| Figura 20 | Tubería de Impulsión de la CD-65 | 43 |
| Figura 21 | Acceso a cámara de rejas manuales y rejas mecánicas | 44 |
| Figura 22 | Sistema de Tratamiento de Olores CD-65 | 45 |
| Figura 23 | Grupo Electrónico y Tableros Eléctricos CD-65 | 45 |
| Figura 24 | Área Disponible en la Estación de Bombeo CD-65 | 47 |
| Figura 25 | Proyección de la CBDP-01 | 48 |
| Figura 26 | Esquema de niveles de CBDP-01 | 49 |
| Figura 27 | Sumergencia mínima | 61 |
| Figura 28 | Matriz de cálculo de curva característica del sistema | 62 |
| Figura 29 | Curva característica del sistema | 63 |
| Figura 30 | Puntos de operación del sistema de bombeo | 65 |
| Figura 31 | Matriz de volumen mínimo requerido por bomba | 66 |
| Figura 32 | Curvas características del sistema en los 3 escenarios de funcionamiento | 68 |
| Figura 33 | Puntos de operación final en los 3 escenarios de funcionamiento | 69 |
| Figura 34 | Punto de operación con 1 bomba en funcionamiento | 70 |
| Figura 35 | Punto de operación con 2 bombas en funcionamiento | 71 |
| Figura 36 | Punto de operación con 3 bombas en funcionamiento | 72 |
| Figura 37 | Matriz de tiempo de retención de la cámara húmeda | 75 |

Capítulo 1 - Generalidades

1.1. Introducción

El acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario para la población es una necesidad de gran importancia que tiene un impacto positivo en el desarrollo social, económico y al medio Ambiente. Ante esta necesidad surgen los proyectos de abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario y tratamiento de las aguas residuales que en su conjunto forman un componente de primordial de una sociedad y/o país.

La descarga de aguas residuales es producto de los procesos de uso de las personas, fábricas, comercios, industrias, etc., que requieren de un tratamiento antes de ser vertidos a su disposición final, ya que de encontrarse estancadas desprenden gases tóxicos productos de la putrefacción de materiales orgánicos, y en consecuencia producir enfermedades en la población.

Para realizar la conducción de las aguas residuales hacia una planta de tratamiento, se realizan mediante colectores que conducen grandes cantidades de agua residual de una determinada área de drenaje, pero conducir las implica un análisis de muchos factores, uno de ellos es cuando la disposición final de estas aguas se encuentra en un nivel topográfico superior al área de drenaje. Para solucionar este tipo de problemas, en sus inicios se construía colectores muy profundos que implicaban mayores costos en su ejecución. En la actualidad, se construyen estaciones de bombeo, que básicamente está constituido por equipos de bombeo que tiene la función de otorgar energía al fluido para impulsarlas a través de un sistema de tuberías hacia un punto de interés.

De lo expuesto, el ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), como ente rector y en su capacidad de gestionar proyectos, desarrollo el proyecto de “Sectorización del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de la Parte Alta de Chorrillos: Matriz Próceres -

Chorrillos” el cual consistía en la ampliación y mejoramiento de los servicios de agua potable y alcantarillo en beneficio del distrito de Chorrillos, San Juan de Miraflores y Santiago de Surco, y para el caso del tema de interés, la evacuación de las aguas residuales del área de drenaje es conducido a través del colector proyectado Panamericana Sur hacia la CBDP-01, para luego ser impulsado hasta la PTAR La Chira para su respectivo tratamiento.

1.2. Importancia del tema.

El tema a desarrollar en la presente monografía, se eligió con la finalidad de realizar el correcto diseño hidráulico de una cámara de bombeo de desagüe, de tal manera que en su ejecución garantice el funcionamiento durante el período de diseño.

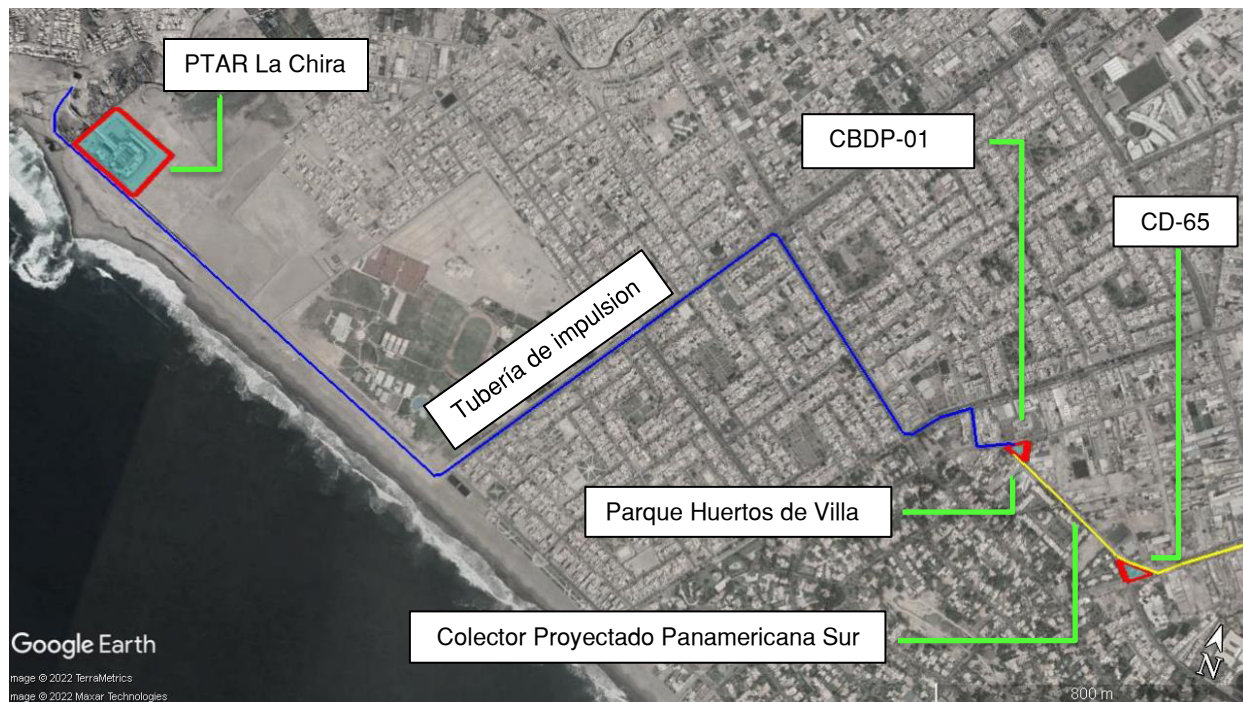
1.3. Identificación del problema.

En el año 2019, se dio inicio a la ejecución del proyecto en mención con fecha de finalización de obras el 16 de junio del 2021. De las actividades a ejecutar estaba la construcción de la CBDP-01 que impulsaría las aguas residuales hasta la PTAR La Chira, ver Figura 1. Durante la ejecución de obras de la CBDP-01, se presentaron diversos manifiestos de oposición, por parte de los pobladores de la Asociación Huertos de Villa. El motivo de los reclamos era porque la proyección de la CBDP-01 se ubica en el parque Huertos de Villa como se muestra en la Figura 2, y en consecuencia significaba la destrucción del parque en mención, el cual se consideraba de mucha importancia para los pobladores.

En vista de los problemas presentados se propuso reubicar la CBDP-01 en una zona estratégica, siendo esta dentro de las instalaciones de la CD-65, teniendo en consideración que la tubería de impulsión de la CBDP-01 se encuentra construida, por lo cual se tendrá que proyectar una extensión que se empalmará hasta la nueva ubicación de la CBDP-01.

Figura 1

Esquema inicial de la ubicación de la CBDP-01



Nota. Adaptado de *Google Earth*

Figura 2

Parque Huertos de Villa - Chorrillos



Nota. Adaptado de *Huertos de Villa [fotografía]*, por Huertos de Villa, 2020, *Facebook*

(<https://www.facebook.com/huertosdevilla.parque>).

1.4. Propuesta de solución

Expuesto los problemas para la ejecución de la CBDP-01 se determinó la nueva ubicación dentro de las instalaciones de la CD-65 por los siguientes motivos:

- a. El colector de llegada (Colector Panamericana Sur) a la ubicación inicial de la CBDP-01 pasa de manera paralela a la estación de bombeo CD-65, como se muestra en la Figura 3.
- b. La CD-65 cuenta con área disponible y se encuentra a una distancia aproximada de 400 m de la ubicación inicial de CBDP-01.

Luego de elegir el lugar de la reubicación de la CBDP-01 se plantearon dos opciones:

Figura 3

Esquema de Ubicación de CBDP-01 y CD-65



Nota. Adaptado de Google Earth

1.4.1. Construir la CBDP-01 en el área disponible de la CD-65.

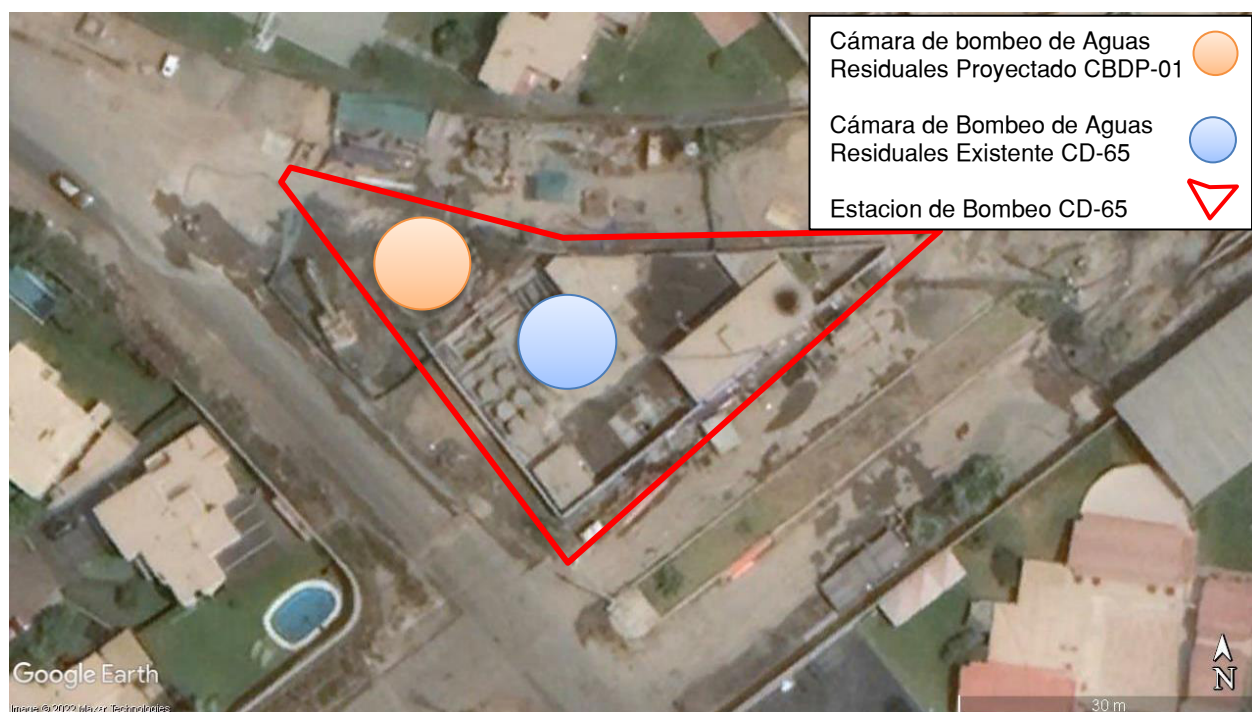
Esta propuesta consistía en construir la CBDP-01, en el área disponible dentro de las instalaciones de la CD-65 y que funcionaria de manera independientemente.

Para este planteamiento se tendría que realizar las siguientes actividades:

- a. Disponer de un área suficiente para la construcción de la CBDP-01 dentro de las instalaciones de la CD-65, como se muestra en la Figura 4.
- b. Modificar la distribución arquitectónica de la CD-65 para que la operación y mantenimiento de la cámara existente y la cámara proyectada CBDP-01 sea realice de manera eficiente.

Figura 4

Ubicación de CD-65



Nota. Adaptado de *Google Earth*

1.4.2. Construir una cámara de bombeo que reemplace a la CD-65 y a la CBDP-01.

Se propuso demoler la cámara de bombeo CD-65 y en su reemplazo construir una sola cámara de bombeo de aguas residuales que tenga la capacidad de bombear el área de drenaje existente de la CD-65 y el área de drenaje correspondiente a la CBDP-01.

Para este planteamiento se tendría que realizar las siguientes actividades:

- a.** Disponer de un área para construir una cámara de contingencias, el cual funcionaria como un reemplazo temporal de la CD-65, mientras se desarrollan las obras, además esta cámara de contingencias deberá tener sus componentes como grupo electrógeno, equipos de bombeo, cámara de rejillas, sistema de eliminación de olores, etc.
- b.** Reubicar el tramo del colector de llegada de la CD-65 hacia la cámara de contingencias.
- c.** Demoler la CD-65 para la construcción de la nueva cámara de bombeo.
- d.** Cambiar la tubería de impulsión de DN 600 mm de la CD-65 y la tubería de impulsión de DN 600 mm de la CDP-01, el cual se encuentra construida, por una sola tubería de impulsión de mayor diámetro.

1.5. Selección de la propuesta

Se optó por seleccionar la primera propuesta de solución por los siguientes motivos:

- a.** En la primera propuesta, construir la nueva CBDP-01, permitirá no hacer construcciones adicionales y además de utilizar la tubería de impulsión de la CBDP-01 que fue construida para la ubicación inicial.
- b.** En la segunda propuesta, construir una cámara de bombeo que reemplace a la CD-65 y a la CDP-01, implica un periodo mayor de tiempo de ejecución, por el

motivo que se tendría realizar actividades adicionales como: construir una cámara de contingencias, demolición de la cámara existente CD-65, etc. Además, la construcción de estas 2 cámaras de bombeo de aguas residuales (cámara de contingencia y la nueva cámara de bombeo de aguas residuales); y la nueva tubería de impulsión de DN 800 mm implican un costo adicional mayor para la ejecución de obras.

1.6. Objetivos de la monografía

1.6.1. Objetivo General

Realizar el diseño hidráulico de la Cámara de Bombeo de Desagüe Proyectado CBDP-01 en la nueva ubicación contemplando las condiciones para su diseño.

1.6.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos a mencionar son:

- a.** Efectuar el diseño hidráulico de la cámara húmeda.
- b.** Dimensionar la tubería de la línea de impulsión.
- c.** Determinar la curva característica del sistema.
- d.** Seleccionar el equipo de bombeo.
- e.** Determinar la capacidad del sistema de tratamiento de olores.
- f.** Dimensionar equipo de cámara de rejillas.

Capítulo 2 – Marco Teórico

2.1 Antecedentes

En el marco internacional se realizó la consulta de antecedentes relacionados al tema de estudio del diseño hidráulico de cámara de bombeo de aguas residuales, Tian et al. (2018), en su artículo de investigación titulado “Optimization of municipal pressure pumping station layout and sewage pipe network design”, exponen un método de análisis y optimización de diseño para un área de drenaje de aguas residuales, en la que se evalúa las estaciones de bombeo. El artículo de investigación concluye con la propuesta de un algoritmo en función de las bombas seleccionadas, costos de funcionamiento y capacidad de bombeo, demostrando que la reducción de costos anuales se puede reducir realizando un análisis exhaustivo del ciclo de funcionamiento de las bombas bajo un funcionamiento alternado o continuo.

En el marco nacional, Corredor (2014), en su trabajo de proyecto de grado “Hoja de cálculo programada para el diseño de una estación de bombeo de aguas residual con base de datos de bombas sumergibles” tenía como objetivo realizar una hoja de cálculo el cual establece un modelo óptimo para el diseño de la cámara de bombeo. El autor concluye con la idea de realizar la combinación óptima de diámetros de las tuberías del sistema, equipos de bombeo y otros, implica una disminución de los costos para su ejecución.

Huamani (2015), en su trabajo de suficiencia profesional titulado “Diseño e implementación de una estación de bombeo de aguas residuales para la urbanización Sol de Huampaní V Etapa – Chosica” tenía como objetivo diseñar una cámara de bombeo de aguas residuales para conducir las hasta una planta de tratamiento de aguas residuales. En su resultado final optó por realizar un tipo de bombeo alternado de 2 bombas sumergibles.

Totocayo (2021), en su tesis para la obtención de su título profesional “Análisis y diseño, de la cámara de bombeo para la evacuación de las aguas residuales, residencial Perlas del Altiplano Juliaca - 2021” planteo el análisis de la red de alcantarillado, así como las evaluaciones de las condiciones sanitarias del objeto en estudio. En el desarrollo menciona la importancia de las proyecciones de los caudales de contribución de desagüe y el análisis minucioso para el cálculo.

Pino y Quimis (2022), en su proyecto de titulación llamado “Propuesta de procedimiento para el diseño de estaciones de bombeo de aguas residuales” tiene como objetivo estudiar los cálculos para el diseño y propone los procedimientos para el diseño de una estación de bombeo. Pino concluye con una metodología para el diseño, así como permitir la disminución del tiempo para el diseño a nivel conceptual.

Garrido y Huamán (2022), en su tesis para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil “Análisis Hidráulico para el Rediseño de la Cámara de Bombeo de aguas Residuales del Sector Galagarza, Ica – 2021” plantea como objetivo específico la determinación de los parámetros hidráulicos necesarios para el rediseño, para dar solución al problema de la falta de capacidad actual de la cámara de bombeo. La tesis en mención concluye con un diseño en base al tiempo de retención mínimo y máximo, además del funcionamiento alternado de 2 bombas sumergibles para reducir el número de arranques, análisis entre el material de la tubería de impulsión existente de acero y del material propuesto de PVC.

2.2 Bases teóricas fundamentales

2.2.1 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli explica que la suma de la energía cinética ($V^2/2g$), donde “V” es la velocidad de una partícula y “g” la aceleración de la gravedad; y potencial ($p/\gamma + z$), donde “p” es la presión, “ γ ” el peso específico y “z” la altura; son constante a lo largo de una línea de corriente, como se muestra en la Figura 5, en un flujo de régimen permanente e irrotacional. Siendo estos términos expresados en energía por unidad de peso.

Entonces la ecuación de Bernoulli se expresa como:

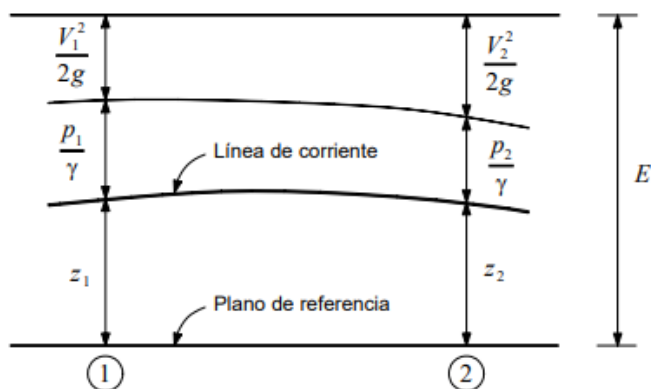
$$\frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{constante} \quad (1)$$

o en su forma desarrollada,

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad (2)$$

Figura 5

Esquema de energía entre 2 puntos – Ecuación de Bernoulli



Nota. La energía en el punto 1 es igual a la energía en el punto 2, en un fluido ideal. Tomado de *Hidráulica de tuberías y canales*, por Arturo Rocha ,2007.

2.2.2 Ecuación de continuidad

La ecuación está relacionada con la ecuación de la conservación de la masa, el cual indica que la masa de un fluido permanece constante entre dos áreas A_1 y A_2 a lo largo de un conducto, como se muestra en la Figura 6. La ecuación de continuidad se expresa de la siguiente manera:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (3)$$

Donde:

ρ = densidad del fluido, kg/m^3

A = área de sección transversal, m^2

V = velocidad, m/s

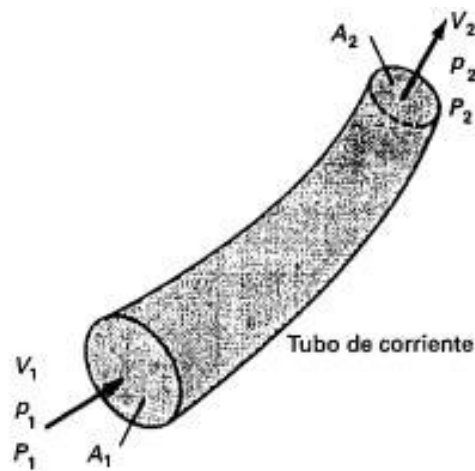
Q = caudal, m^3/s

Para un fluido incompresible, se cumple que $\rho_1 = \rho_2$, entonces:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q_1 = Q_2 \quad (4)$$

Figura 6

Flujo a través de un tubo de corriente



Nota. Tomado de *Ingeniería de Aguas Residuales, Redes de alcantarillado y bombeo*, por Metcalf & Eddy, 1995.

2.2.3 Ecuación general de energía

La ecuación de Bernoulli se da bajo condiciones ideales, pero en un fluido real existirá pérdida de energía entre dos puntos de una línea de corriente que se expresa como energía que se transforma en calor ocasionada por la fricción.

Entonces la ecuación de la energía se expresa como:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{f_{1-2}} \quad (5)$$

Donde el término $h_{f_{1-2}}$ expresa la pérdida de energía entre los puntos 1 y 2.

2.2.4 Ecuación de Hazen - Williams

La fórmula de Hazen y William es de tipo exponencial, se utiliza para el cálculo de velocidad del agua en tuberías circulares llenas o conductos cerrados, es decir, tuberías de conducción e impulsión. La ecuación de Hazen – Williams se expresa como:

$$V = 0.849CR^{0.63}S^{0.54} \quad (6)$$

Donde:

V = velocidad, m/s

C = coeficiente de rugosidad

R = radio hidráulico, m

S = pendiente de la línea de carga, m/m .

o expresada en términos de caudal,

$$h_f = 10.67 \frac{L}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \quad (7)$$

Donde:

h_f = pérdida de carga, m

C = coeficiente de Hazen - Williams

L = longitud de la tubería, m

D = diámetro de la tubería, m

Q = caudal, m^3/s

El valor del coeficiente C representan la rugosidad del material, en la Tabla 1 se muestra los valores para varios materiales.

Tabla 1

Coeficiente de fricción – Hazen Williams

| Material | C |
|----------------------------------|-----|
| Acero sin costura | 120 |
| Acero soldado en espiral | 100 |
| Cobre sin costura | 150 |
| Concreto | 110 |
| Fibra de vidrio | 150 |
| Hierro fundido | 100 |
| Hierro fundido con revestimiento | 140 |
| Hierro Galvanizado | 100 |
| Poliétileno, asbesto cemento | 140 |
| PVC | 150 |

Nota. Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones- RNE-OS.010 (p.36), por MVCS, 2006.

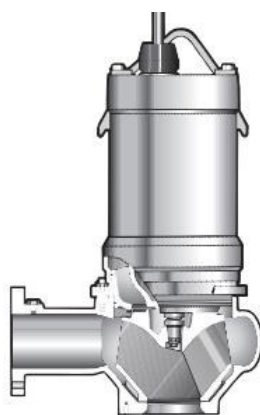
2.3 Bases teóricas de ingeniería

2.3.1 Bombas hidráulicas

Según Almandoz et. al (2007) las bombas son máquinas hidráulicas que convierten la energía mecánica en energía hidráulica con la finalidad de transportar un fluido. En la Figura 7 se muestra una bomba típica de aguas residuales.

Figura 7

Equipo de bombeo de aguas residuales



Nota. Bomba tipo sumergible para aguas residuales para instalación en seco y con motor vertical.

Adaptado de *Manual de Bombeo de Aguas Residuales* (p.28), por Grundfos, s.f.

2.3.2 Clasificación de Bombas Hidráulicas

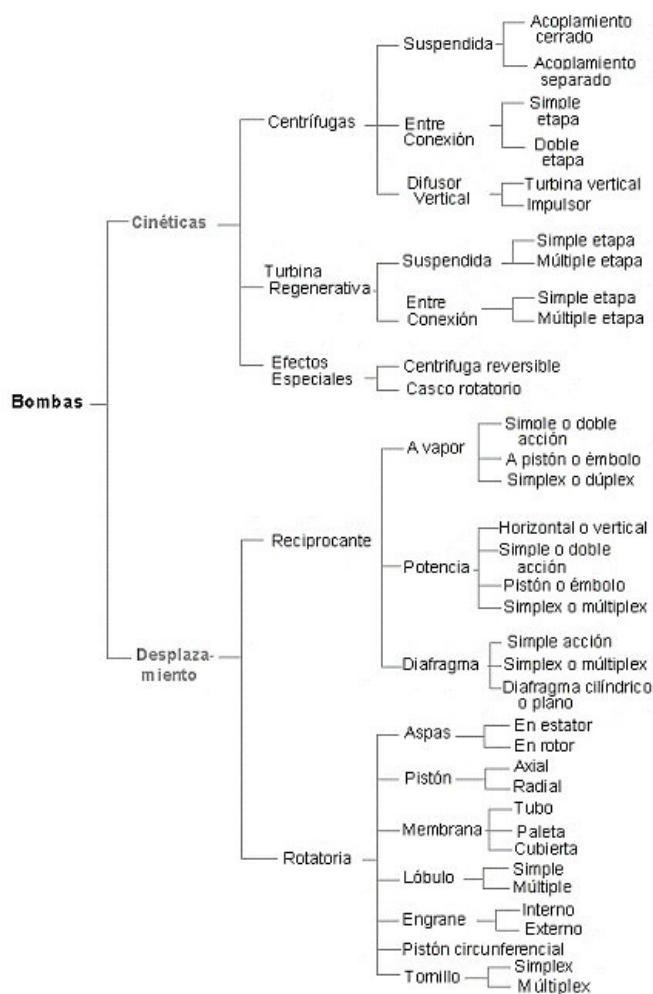
Según Metcalf & Eddy (1995), “De acuerdo con Hydraulic Institute, todas las bombas pueden clasificarse en dos grupos básico, las de energía cinética y las de desplazamiento positivo.” (p.307). En la Figura 8 se muestra la clasificación de bombas hidráulicas.

Según Mott (2006) las bombas de tipo cinéticas son aquellas que transfieren energía al fluido a través de la energía mecánica de rotación por medio de un impulsor. Además, menciona que el tipo de bomba cinética más común es la centrífuga de flujo radial.

Según Viejo Zubicaray (2002) el transporte del fluido en las bombas de tipo de desplazamiento positivo, a diferencia de las bombas cinéticas en las que el fluido es impulsado, es encauzado por toda la trayectoria. Además, aclara que el fluido siempre estará confinado entre el impulsor (aspa, diente de engranaje, embolo, etc.) y la carcasa durante su transporte.

Figura 8

Clasificación de bombas hidráulicas



Nota. Representa de la clasificación de las bombas publicada por Hydraulic Institute. Tomado de *Bombas, compresores y ventiladores, modulo I: bombas centrifugas*, por M. A. Ormeño Valeriano, s.f., Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

2.3.3 Sistema de bombeo

En el análisis de bombas sistemas hidráulicos de bombeo, se usan expresiones como altura o carga como la altura a impulsar medidos en metros de columna del líquido bombeado.

A continuación, se describen los términos mencionados y en la Figura 9 se grafican estos términos.

Altura geométrica total (H_g). Es la diferencia entre la altura geométrica de descarga y de succión ($h_d - h_s$), respecto a un plano de referencia como el eje la bomba.

Pérdidas primarias (h_f). Es la pérdida de altura o carga debido a la fricción entre el flujo del líquido y las paredes de la tubería de succión (h_{fs}) y tubería descarga (h_{fd}). La ecuación de Hazen y Williams se aplica para calcular las pérdidas primarias.

Pérdidas secundarias (h_l). Es la pérdida de altura o carga debido a la fricción del flujo con los accesorios instalados en la tubería de succión (h_{ls}) y de descarga (h_{ld}). La ecuación 8 se aplica para calcular las pérdidas secundarias.

$$h_l = K \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

Donde:

h_l = pérdida de altura o carga secundaria, m

K = coeficiente de pérdida de carga de accesorio

V = velocidad dentro de la tubería, m/s

g = aceleración de la gravedad, m/s^2 .

En la Tabla 2 se muestran los valores de pérdida de carga para distintos accesorios,

Tabla 2*Coeficiente K para pérdida de carga local de accesorios*

| Accesorio | K |
|------------------------------|----------|
| Ampliación gradual | 0.30* |
| Boquilla | 2.75 |
| Compuerta abierta | 1.00 |
| Controlador de caudal | 0.90 |
| Codo 90° | 0.90 |
| Codo 45° | 0.40 |
| Rejilla | 0.75 |
| Curva 90° | 0.40 |
| Curva 45° | 0.20 |
| Entrada normal (tubo) | 0.50 |
| Entrada de borde | 1.00 |
| Medidor de Venturi | 2.50* |
| Reducción gradual | 0.15* |
| Válvula de compuerta abierto | 0.20 |
| Válvula de globo abierto | 10.00 |
| Salida de tubo | 1.00 |
| T. pase directo | 0.60 |
| T. salida de lado | 1.30 |
| T. salida bilateral | 1.80 |
| Válvula de retención (Check) | 2.50 |
| Válvula de pie | 1.75 |

Nota. Adaptado de *Manual de Hidráulica* (p.122), por J. M. Azevedo Netto. 2005, Edgard

Blucher LTDA.

Altura de velocidad (h_v). Definida como la energía cinética del fluido bombeado en cualquier punto del sistema y se calcula con la siguiente ecuación:

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

Donde:

h_v = pérdida de carga por velocidad, m

V : velocidad dentro de la tubería, m/s

g : aceleración de la gravedad, m/s^2 .

Altura manométrica total (H_t). La altura manométrica total o también llamada como altura dinámica total (ADT) es la suma de la altura geométrica de succión y descarga, pérdidas primarias, pérdidas secundarias y altura de velocidad.

La bomba durante su funcionamiento trabaja con la altura manométrica total, es decir es la altura que necesita otorgar al sistema para vencer las pérdidas del sistema. Altura manométrica total se calcula con la siguiente ecuación:

$$H_t = H_g + h_{fs} + \sum h_{ls} + h_{fd} + \sum h_{ld} + \frac{V_d^2}{2g} \quad (10)$$

Donde:

$\sum h_{ls}$ ($\sum h_{ld}$) = sumatoria de pérdidas de cargas locales en la descarga (aspiración), m

V_d^2 = velocidad en la tubería de descarga, m/s

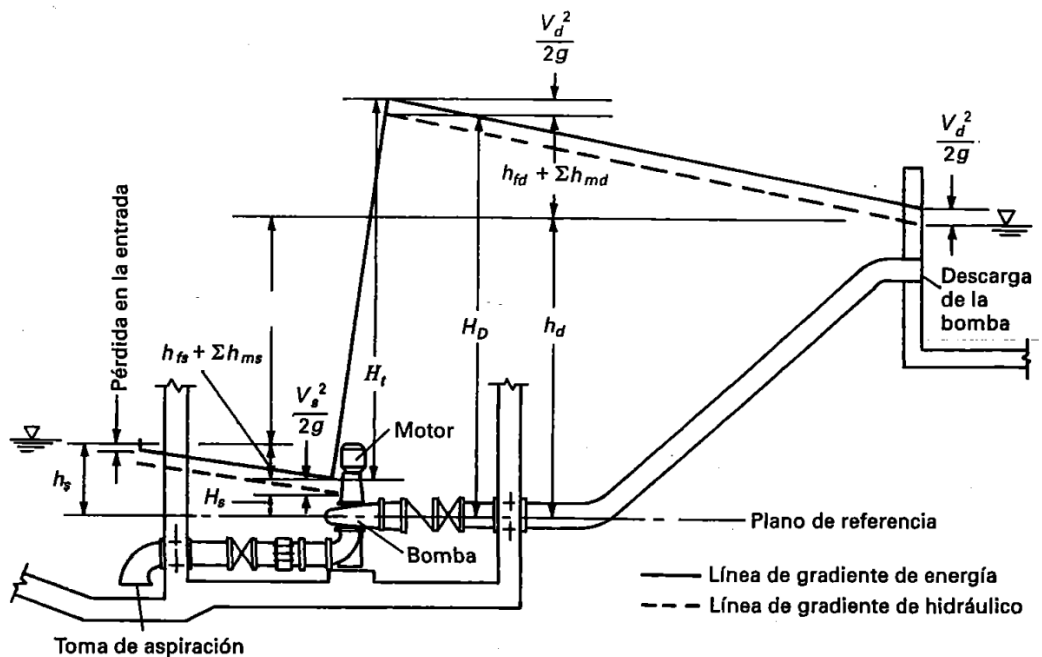
h_{fs} (h_{fd}) = pérdida de carga por rozamiento en la descarga (aspiración), m

H_t = altura manométrica total, m

H_g = altura geométrica total, m .

Figura 9

Esquema de altura de elevación de una bomba



Nota. Tomado de *Ingeniería de Aguas Residuales, Redes de alcantarillado y bombeo* (p.301), por Metcalf & Eddy, 1995, McGraw-Hill.

Potencia hidráulica

Según KSB Chile S.A. (2001) la potencia hidráulica es la energía entregada al fluido y se calcula por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\gamma Q H_t}{270} \quad (11)$$

Donde:

P = potencia hidráulica, CV

γ = peso específico del fluido, kg/dm^3

Q = caudal, m^3/h

H_t = altura manométrica total, m .

Rendimiento y potencia absorbida

El rendimiento es la relación de la potencia hidráulica y la potencia absorbida.

Según Grundfos (s.f.) la potencia absorbida de una bomba es dada por la ecuación.

$$P = \frac{\rho Q g H_t}{\eta} \quad (12)$$

Donde:

P = potencia absorbida, W

ρ = densidad del líquido, kg/m^3

Q = caudal, m^3/s

H_t = altura manométrica total, m

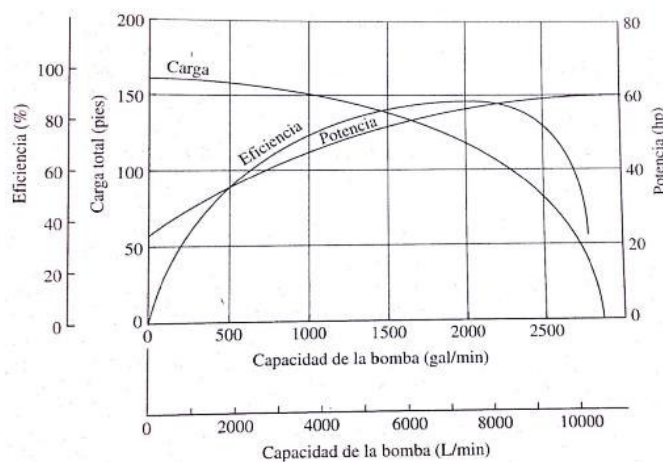
η = rendimiento %

Curva característica de la bomba

La curva característica de una bomba es una representación gráfica de la altura manométrica a distintos caudales, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Curva Característica de una Bomba Centrífuga



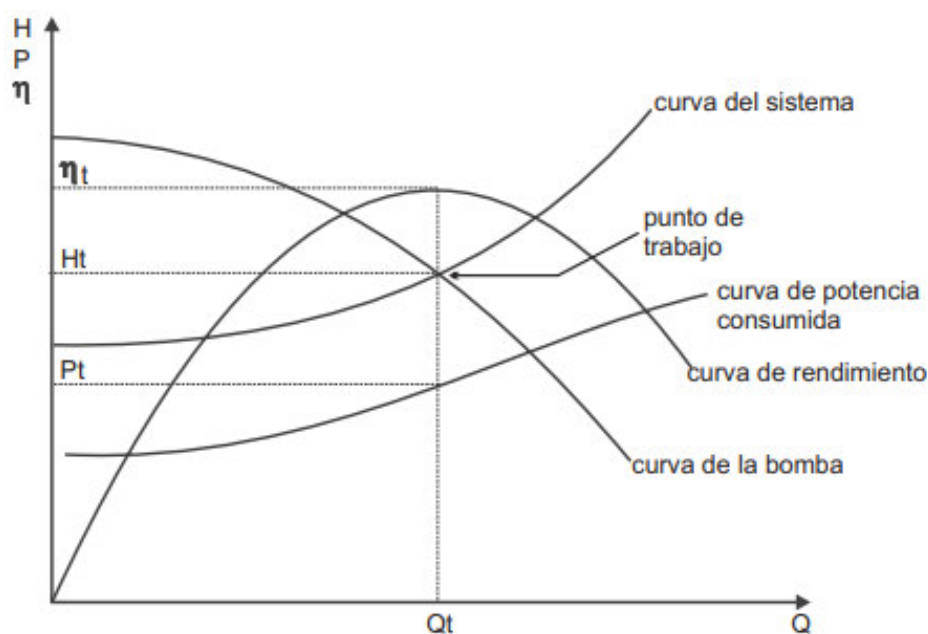
Nota. Tomado de *Mecánica de fluidos aplicada* por Mott, R. L. 2006.

Curva característica del sistema

La curva característica del sistema es la representación gráfica de los distintos puntos de altura manométrica total en función de distintos caudales del sistema. La intersección de la curva característica del sistema y de la bomba, como se observa en la Figura 11, determinará el punto de trabajo de una bomba en el sistema.

Figura 11

Curva Característica de la Bomba y del Sistema



Nota. El gráfico indica el punto de operación o trabajo de la bomba con un caudal Q_t y altura manométrica total de H_t , potencia consumida P_t y rendimiento η . Tomado de *Manual de entrenamiento, selección y aplicación de bombas centrifugas*, por KSB Chile S.A., 2001, Centro de entrenamiento de productos.

2.3.4 Estación de bombeo de aguas residuales

Una cámara de bombeo es una estructura hidráulica que tiene la finalidad de almacenar agua para luego ser transportadas por equipos de bombeo de tipo estacionario o sumergible a través de tuberías hacia una cota superior.

Tipos de estación de bombeo

Existen diversas formas de clasificación de las estaciones, una de ellas es la que se muestra en la Tabla 3, el cual se clasifica según el método constructivo y capacidad.

Tabla 3

Clasificación de las estaciones de bombeo

| Clase/tipo | Intervalo de capacidad, m ³ /s |
|----------------------|---|
| Eyectores neumáticos | < 0.02 |
| Prefabricado | |
| Cámara de aspiración | 0.006 – 0.03 |
| Cámara Seca | 0.006 - > 0.1 |
| Convencional | |
| Pequeña | 0.2 – 0.09 |
| Mediana | 0.06 – 0.65 |
| Grande | > 0.65 |

Nota. Tomado de *Ingeniería de Aguas Residuales, Redes de alcantarillado y bombeo* (p.383), por Metcalf & Eddy, 1995, McGraw-Hill.

Cámara de húmeda o de aspiración

Es la estructura donde se almacena las aguas residuales antes del bombeo. Para Metcalf & Eddy (1966) las funciones de la cámara de aspiración son: contener el volumen suficiente para evitar ciclos muy cortos de funcionamiento de la bomba, disponer de la sumergencia necesaria para evitar la formación de vórtices en la tubería de aspiración.

Volumen útil de cámara húmeda

Según Metcalf & Eddy (1995), el cálculo del caudal de bombeo y volumen útil de la cámara húmeda se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$(K - a)k_1^2 - (a - K^2)k_1 + K(K - 1)(1 + a) = 0 \quad (13)$$

$$K = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} \quad (14)$$

$$a = \frac{t_1}{t} \quad (15)$$

$$V_{util} = tQK \frac{(k_1 - 1)}{(k_1 + K - 1)} \quad (16)$$

$$Q_b = Q \min(k_1) \quad (17)$$

Donde:

V_{util} = volumen útil, l

Q_b = caudal de bombeo, l/s

Q_{max} = caudal máximo de contribución de desagüe, l/s

Q_{min} = caudal mínimo de contribución de desagüe, l/s

t_1 = tiempo de retención máximo, *minutos*

t = tiempo de retención mínimo, *minutos*.

Volumen útil mínimo de cámara húmeda

Para el caso cuando una bomba opera con un caudal de ingreso variable, el tiempo de ciclo mínimo ocurrirá cuando el caudal de ingreso es igual a la mitad de la capacidad de bombeo, dando como resultado un volumen útil mínimo, calculado con la siguiente fórmula:

$$V_{min} = T_{min} \left(\frac{Q_b}{4} \right) \quad (18)$$

Donde:

V_{min} = volumen útil mínimo, m^3

T_{min} = ciclo mínimo de una bomba, min

Q_b = caudal de bombeo, m^3/min .

Ciclo de una bomba se determina mediante el número de arranques de una bomba con respecto a la tensión mecánica del aumento de temperatura en el motor.

Volumen útil mínimo de cámara húmeda con dos o más bombas

Para el caso del funcionamiento de varias bombas idénticas, el volumen de la cámara húmeda se puede minimizar con un funcionamiento secuencial de las bombas, es decir el arranque de las bombas se realizará a medida que el nivel del agua aumenta por el ingreso del caudal y se detienen en orden inverso cuando el nivel del agua disminuye.

Entre los niveles de funcionamiento de los equipos de bombeo existe un diferencial ΔH como se observa la Figura 12, según Flygt (2015) este valor debe ser lo suficientemente grande como para evitar arranques inesperados ocasionados por las turbulencias de la superficie del agua o sensores de nivel defectuosos. Según Valdivia (2011) el valor ΔH esta comprendido generalmente entre 150 a 200 mm.

El cálculo del volumen útil total se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{tot} = V_{min} + (n - 1)(\Delta H) S \quad (19)$$

Donde:

V_{min} = volumen útil mínimo para una sola bomba, m^3

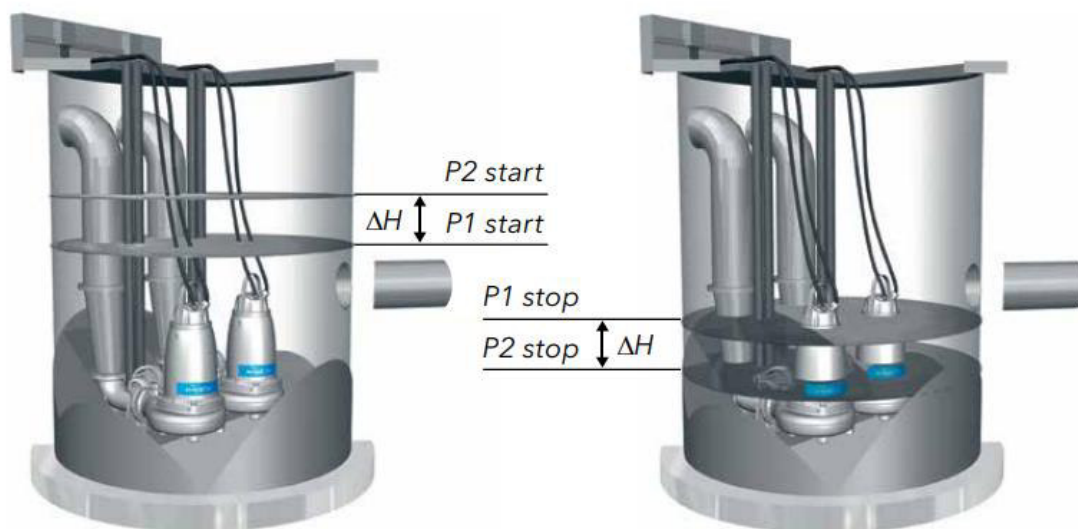
n = número de bomba

ΔH = incremento entre los niveles de funcionamiento (arranque - parada), m

S = área de fondo de cámara húmeda, m^2

Figura 12

Niveles de arranque y parada de bombas de la cámara húmeda



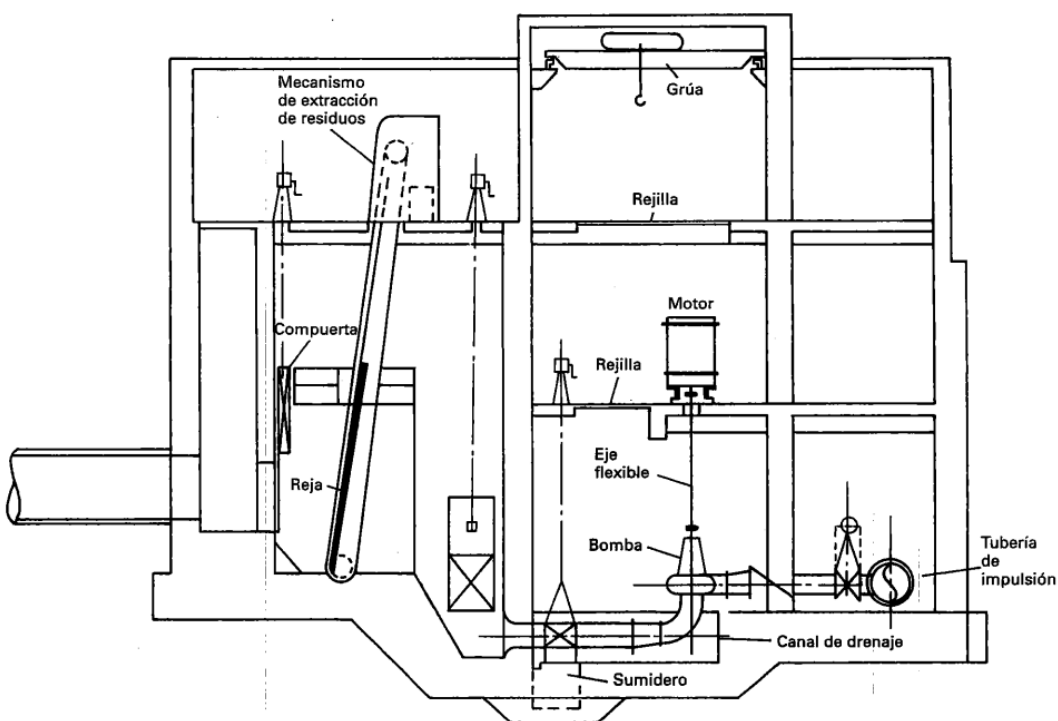
Nota. Tomado de *Desing Recommendations, for Pump Station whith Midrange Centrifugal Flygt Wastewater* (p.6), por Flygt, 2015, Xylem Inc.

Cámara seca

Es la estructura adyacente a la cámara de aspiración en las estaciones de bombeo convencional, donde se ubica las bombas, tuberías de aspiración, descarga e impulsión, válvulas, bomba de drenaje para la recolección de las pérdidas que se produzcan y para la limpieza de la cámara seca, escalera de ingreso así y otros componentes como se muestran en la Figura 13.

Figura 13

Estación de Bombeo Convencional de Aguas Residuales



Nota. Tomado de *Ingeniería de Aguas Residuales, Redes de alcantarillado y bombeo* (p.393), por Metcalf & Eddy, 1995, McGraw-Hill.

Tuberías de aspiración y descarga

Para Metcalf & Eddy (1995), como se observa en la Tabla 4, en la aspiración el valor de las velocidades está en el rango de 1,2 a 1,8 m/s, para lo cual se recomienda instalar un reductor excéntrico en la conexión con la boquilla de aspiración. Y en la descarga el valor de las

velocidades está en el rango de 1,8 a 2,4 m/s para el caudal máximo, lo cual se recomienda instalar un cono de ampliación concéntrico como se presenta en la Figura 14.

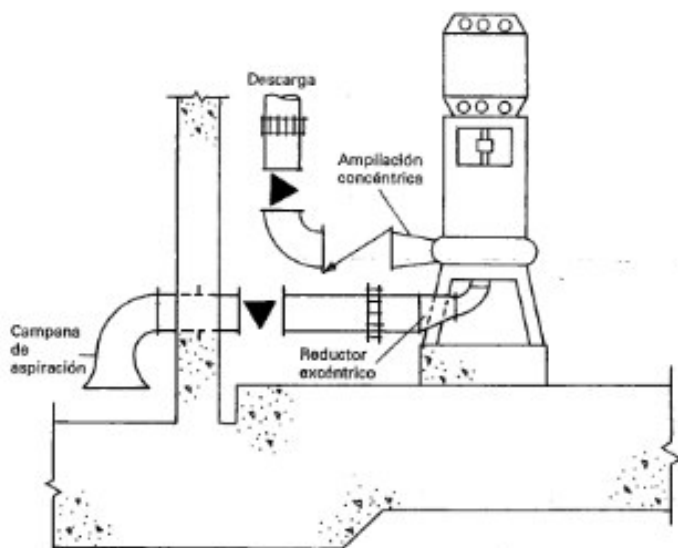
Tabla 4

Velocidades recomendadas en la tubería de succión y descarga.

| Tubería | Velocidad mínima (m/s) | Velocidad máxima (m/s) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Aspiración | 1.2 | 1.8 |
| Descarga | 1.8 | 2.4 |

Figura 14

Esquema de tubería de aspiración y descarga



Nota. Bomba de agua residual típica con ampliación concéntrica y reducción excéntrica. Tomado de *Ingeniería de aguas residuales*, por Metcalf & Eddy.

2.3.5 Línea de impulsión

Para el caso de alcantarillado sanitario, se define como impulsión a la tubería que recibe las aguas residuales evacuadas por la estación de bombeo para ser transportadas por presión hacia una red colectora o planta de tratamiento.

Diámetro de la tubería de impulsión

Para Metcalf & Eddy (1995), el diámetro de la tubería de impulsión se restringe a mantener velocidades mayor o igual a 0.6 m/s que eviten la sedimentación de sólidos para un caudal mínimo y a la vez una velocidad mayor o igual a 1.1 m/s que pueda generar el arrastre suficiente de los sólidos depositados. (p.424)

En la Tabla 5 se muestran velocidades recomendadas para estaciones de mayor tamaño que están conformadas por más de 3 bombas. En tuberías de gran longitud es de vital importancia incorporar el criterio de diámetro económico que brinde velocidades adecuadas para el intervalo de caudales.

Tabla 5

Velocidades recomendadas en la impulsión

| Tubería | Orden de velocidades | | |
|----------------------|----------------------|-----|-----|
| 2 bombas + 1 reserva | 0.9 | 1.5 | - |
| 3 bombas + 1 reserva | 0.7 | 1.2 | 1.7 |

2.3.6 Fenómeno de golpe de ariete

El golpe de ariete es el fenómeno del aumento brusco de la presión ocasionado por el cierre o apertura instantánea de una válvula, puesta en marcha o apagado de una bomba, cambios repentinos de caudal. En un escenario donde la presión oscilante es fuerte, ocasiona daño en la tubería y equipos del sistema. El análisis del golpe de ariete depende de varias variables como:

Velocidad de la Onda

Para el cálculo se utilizará la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{K_v}{\rho(1 + \frac{K_v d}{Ee})}} \quad (20)$$

Donde:

ρ = densidad del líquido, Kg/m^3

K_v = módulo de elasticidad del agua, Pa

d = diámetro interior de la tubería, m

E = módulo de elasticidad, Pa

e = espesor del tubo, m .

Tiempo de parada de la Bomba

Para el cálculo, Mendiluce propone la siguiente ecuación:

$$T_c = C + \frac{KLV}{gHm} \quad (21)$$

Donde:

L = longitud del tramo, m

V = velocidad, m/s

C y K = coeficiente de ajuste empírico, los valores de coeficiente se muestran en la Tabla 6 y Tabla 7 respectivamente.

g = aceleración de la gravedad, m/s^2 ,

Hm = altura dinámica total, m .

Tabla 6

Valores de C en la ecuación de Mendiluce

| Condición | C |
|----------------------|-----|
| $Hm / L < 0.2$ | 1.0 |
| $Hm / L \geq 0.4$ | 0.0 |
| $Hm / L \approx 0.3$ | 0.6 |

Tabla 7

Valores de K en la ecuación de Mendiluce

| Condición | K |
|------------------|----------|
| $L < 500$ | 2.00 |
| $L \approx 500$ | 1.75 |
| $500 < L < 1500$ | 1.50 |
| $L \approx 1500$ | 1.25 |
| $L > 1500$ | 1.00 |

Tiempo de propagación de la Onda

Para el cálculo, se utilizará la siguiente fórmula:

$$T_p = \frac{2L}{a} \quad (22)$$

Donde:

L = longitud del tramo, m

a = velocidad de aceleración de la onda, m/s

Tabla 8

Criterios del tiempo de propagación

| Tiempo de propagación | Descripción |
|------------------------------|--|
| $T < T_p$ | Ocurrirá Golpe de ariete, debido al cierre rápido producirá en sobrepresión en la tubería. |
| $T > T_p$ | La tubería no presentara sobrepresión máxima en ningún punto, por ser cierre lento. |

Longitud Crítica

Para el cálculo de la longitud crítica, se utilizará la siguiente formula:

$$L_c = \frac{aT}{2} \quad (23)$$

Donde:

T = tiempo de parada, s

a = velocidad de la onda, m/s

Carga por Sobrepresión

Para el cálculo, se utilizará la siguiente formula:

$$h_{golpe} = \left(\frac{aV}{g}\right) \quad (24)$$

Donde:

V = velocidad, m/s

a = velocidad de aceleración de la onda, m/s

g = gravedad, m/s^2 .

Tabla 9

Criterios para el cálculo de sobrecarga por golpe de ariete

| | Impulsión | | Cierre | | Formula |
|-----------|------------------|-----------|---------------|---------|------------------------------|
| $L > L_c$ | Larga | $T < T_p$ | Rápido | Allieve | $h_{golpe} = \frac{aV}{g}$ |
| $L < L_c$ | Corta | $T > T_p$ | Lento | Michaud | $h_{golpe} = \frac{2LV}{gT}$ |

Capítulo 3 – Proceso Metodológico

3.1 Ubicación del proyecto

Se determinó la reubicación de la CBDP-01 dentro de las instalaciones de la CD-65 como se muestra en la Figura 15, el cual se localiza en el distrito de Chorrillos, Provincia de Lima y departamento de Lima, está aproximadamente a una elevación de 2 m.s.n.m. y se encuentra en las coordenadas UTM:

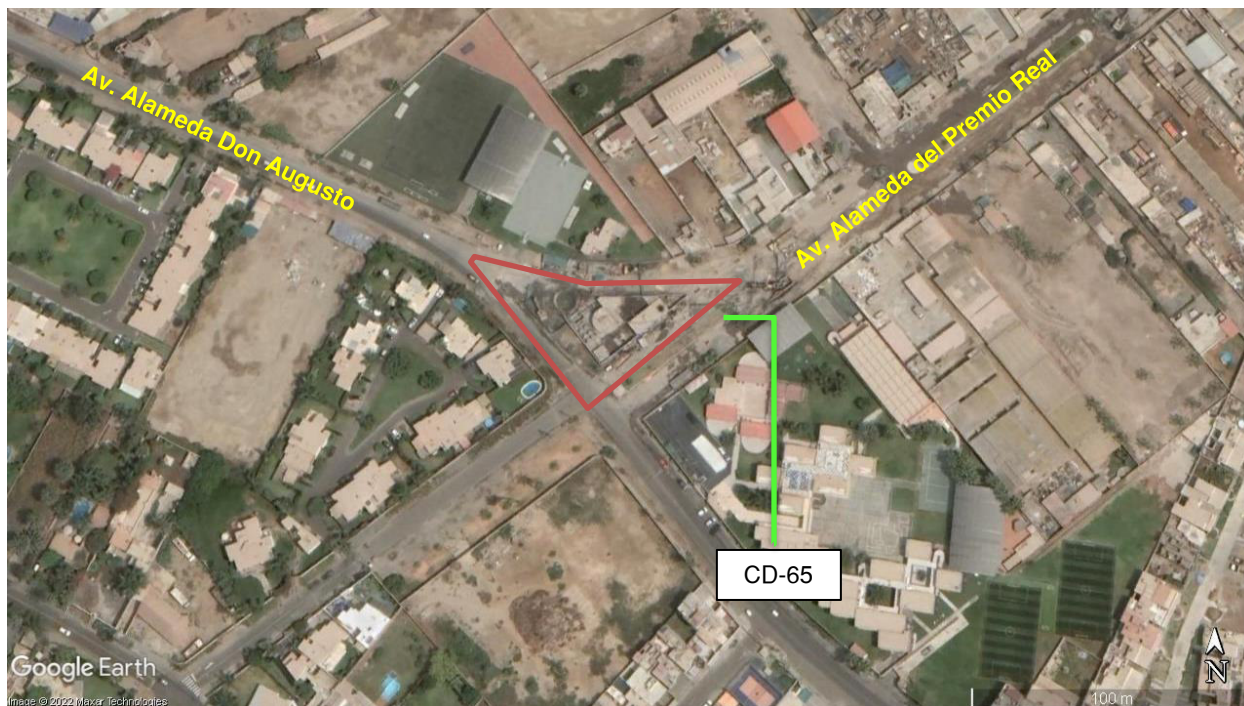
Norte: 8649685.26 S m

Este: 281863.56 E m

Zona: 18L

Figura 15

Ubicación de la Estación de Bombeo CD-65 - Chorrillos



Nota. Adaptado de Google Earth

3.2 Descripción de instalaciones de la CD-65

3.2.1 Estación de bombeo CD-65

La estación de bombeo CD-65 tiene un área de $760 m^2$ aproximadamente, como se muestra en la Figura 16 se encuentra rodeada por un cerco perimétrico tipo Uni. En sus instalaciones cuenta con, una cámara de bombeo de tipo convencional el cual está conformada por una cámara húmeda, cámara de rejas manuales y mecánicas, una cámara seca con 04 bombas centrífugas sumergibles con acoplamiento en paralelo, área de manteniendo, área de grupo electrógeno, zona de filtros de tratamiento de olores y una caseta de seguridad como se observa en la Figura 17.

Figura 16

Exterior de la CD-65



Nota. El ingreso a la CD-65 se ubica en la Av. Alameda Don Augusto.

Figura 17*Caseta de Seguridad de la CD-65*

Nota. Caseta de seguridad como área disponible para CBDP-01.

3.2.2 Cámara de seca

En la estación de bombeo CD-65, como se observa en la Figura 18 se encuentra equipada con 04 bombas sumergibles ubicadas en la cámara húmeda, con funcionamiento alternado. Las válvulas de la cámara seca se encuentran fuera de la estructura de la cámara, como se muestra en la Figura 19, de manera que ocupan un mayor espacio en el lugar.

Figura 18*Tubería de descarga CD-65*

Nota. Superficie de cámara seca donde se observa las 04 tuberías de descarga de cada bomba.

Figura 19

Válvulas de la tubería de descarga CD-65



Nota. Tuberías de descarga (izquierda) y tubería de descarga principal (derecha) con presencia de agua estancada en el suelo.

3.2.3 Tubería de impulsión

La CD-65 tiene una tubería de impulsión de Hierro Dúctil de DN600 mm como se observa en la Figura 20 que impulsa las aguas residuales del área de drenaje correspondiente hacia la PTAR – La Chira.

Figura 20

Tubería de Impulsión de la CD-65



3.2.4 Cámara de rejas

La CD-65 cuenta con una cámara de rejas con rejas manuales y 3 rejas mecánicas para desechar los sólidos retenidos como se observa en la Figura 21. El acceso es mediante una escalera de concreto que se encuentra en buen estado, excepto las barandas que se encuentran oxidadas.

Figura 21

Acceso a cámara de rejas manuales y rejas mecánicas



Nota. Acceso a cámara de rejas manuales (izquierda) y sala de rejas mecánicas (derecha).

3.2.5 Sistema de tratamiento de olores

El sistema de tratamiento de olores se realiza mediante un biofiltro con capacidad de 1200 CFM., que se encuentra en estado inoperativo como se observa en la Figura 22.

Figura 22

Sistema de Tratamiento de Olores CD-65



3.2.6 Tablero eléctrico y grupo electrógeno

Los tableros eléctricos y grupo electrógeno como se observa en la Figura 23 se encontraban en buenas condiciones y estado operativo.

Figura 23

Grupo Electrónico y Tableros Eléctricos CD-65



Nota. Grupo Electrónico (izquierda) y Tableros electricos (derecha).

3.3 Cálculos de ingeniería

3.3.1 Consideraciones previas para el cálculo

- a. La Tabla 10 muestra los caudales de contribución de desagüe para un periodo de diseño de 20 años, el cálculo para la obtención de estos datos formó parte del diseño anterior de la CBDP-01 (ubicación inicial) y no del presente trabajo (reubicación de la CBDP-01).

Tabla 10

Caudales de contribución de desagüe

| Caudal de contribución | Caudal (l/s) |
|-------------------------------|---------------------|
| Promedio (Qpd) | 226.70 |
| Máximo horario (Qmax) | 407.11 |
| Mínimo (Qmin) | 115.09 |

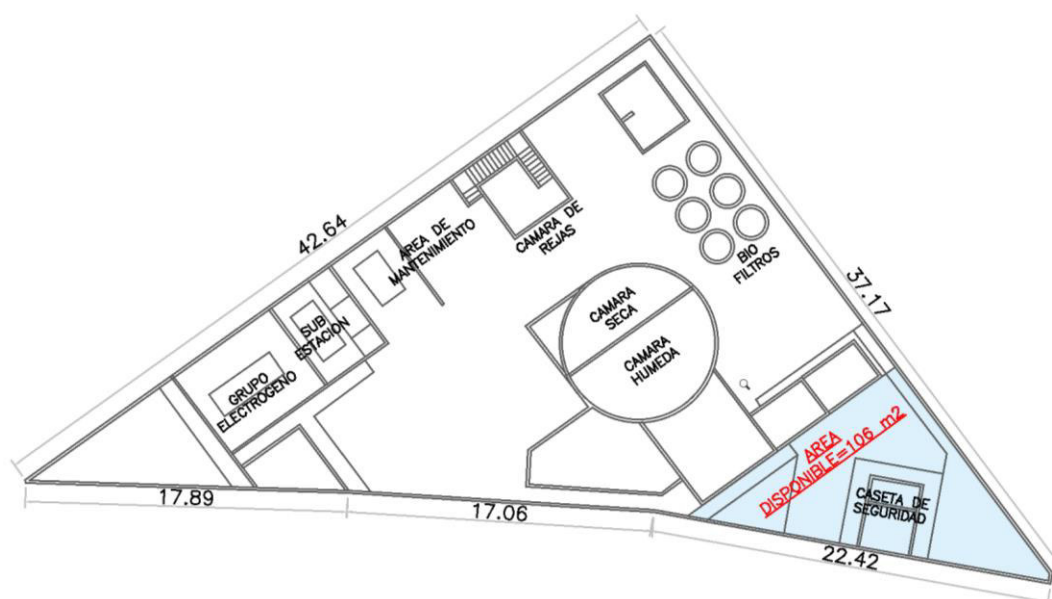
- b. La tubería de impulsión de la CBDP-01 se encuentra ejecutada en gran parte de toda su trayectoria, se planteó su extensión hasta la nueva ubicación de la CBDP-01.
- c. La tubería de impulsión es de material de Hierro Dúctil – K9 y DN 600 mm.
- d. De los estudios de mecánica de suelos se determinó la presencia de capa freática a una profundidad de 1.5 m y de los estudios hidrogeológicos realizados en la ubicación inicial de la CBDP-01 se determinó una profundidad recomendada no mayor a los 13 m.
- e. El punto de descarga de la CBDP-01 se ubica en la PTAR - La Chira, el cual se encuentra en una cota de 11.65 m.s.n.m.

3.3.2 Área disponible para la CBDP-01

Como resultado del diagnóstico de la estación de bombeo CD-65, se calculó un área disponible de 106.00 m^2 para la proyección de la CBDP-01 como se observa en la Figura 24, en consecuencia, se consideró demoler la caseta de seguridad y su posterior reubicación.

Figura 24

Área Disponible en la Estación de Bombeo CD-65



Nota. Elaboración propia.

3.3.3 Dimensiones de la CBDP-01

El dimensionamiento de la cámara de bombeo fue un punto clave y de vital importancia para el rediseño. En relación al área disponible se determinó que para un mejor aprovechamiento del espacio la CBDP-01 será de tipo convencional con cámara húmeda, cámara seca y cámara de rejillas.

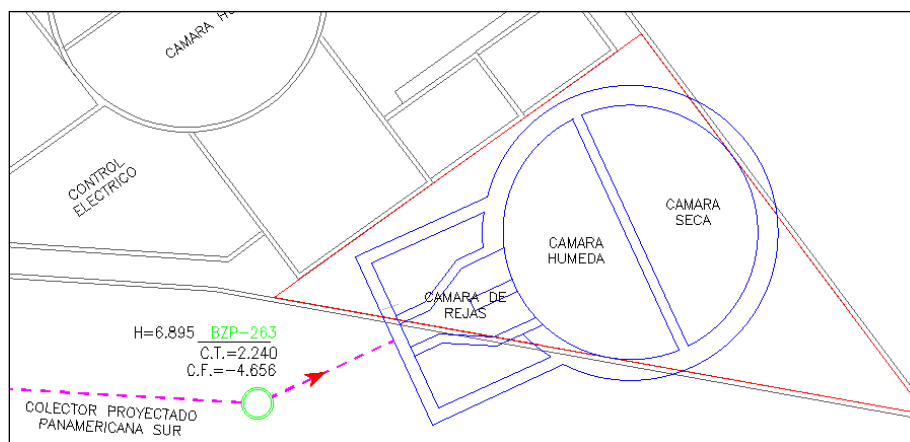
Para determinar la forma de la cámara de bombeo, según Orihuela y Sánchez (2016) los tanques de forma rectangular están restringidas a espacios que se adecuen estructuralmente a

espesores económicos que aseguren que todos sus elementos sean sometidos a flexión y fuerzas cortantes, pero cuando estas fuerzas son mayores el espesor de la estructura aumenta, por lo que recomienda el uso de estructuras tipo cilíndricas ya que responderá mejor a esfuerzos axiales de tracción y compresión.

Del párrafo anterior se determinó que la CBDP-01 será de base circular por ser una estructura enterrada sometida a esfuerzos, el cual estará inscrita dentro del área disponible para su aprovechamiento máximo. Como resultado del análisis se obtuvo una circunferencia de 8.00 m de diámetro con área de 50.24 m², el cual se dividirá en: cámara húmeda para la recolección de las aguas residuales y cámara seca para el equipamiento de bombeo y tuberías, además se proyectó una cámara de rejillas para la remoción de sólidos antes del ingreso a la cámara, como se observa en la Figura 25. Para el ingreso de las aguas residuales a la CBDP-01, se eligió el buzón BZP-263 (cota de tapa 2.240 m.s.n.m., cota de fondo -4.656 m.s.n.m. y profundidad de 6.895 m) del colector Panamericana Sur como último buzón de llegada hacia la cámara de bombeo, por estar ubicado en la Av. Alameda Don Augusto y adyacente a la CD-65.

Figura 25

Proyección de la CBDP-01



Nota. Elaboración propia.

3.3.4 Análisis del volumen útil disponible de la cámara húmeda

Se realizó el cálculo preliminar del volumen útil disponible teniendo en consideración un área de cámara húmeda de 23.93 m^2 y las consideraciones previas del ítem 3.3.1, ver Figura 26.

Donde:

Profundidad CBDP-01 = 12.78 m

Profundidad del colector de llegada = $+2.33 - (-4.66) = 6.99 \text{ m}$

Piso de entrada = 0.25 m

Borde libre = 0.30 m

Nivel de emergencia = 0.15 m

Sumergencia asumida = 1.0 m

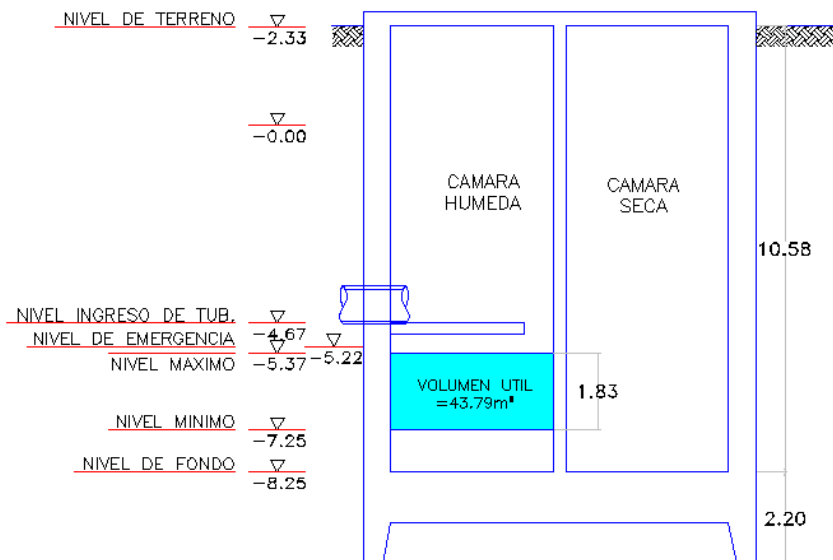
Cimentación (sello Caisson) = 2.2 m

$$\text{Altura útil} = 12.78 - 6.99 - 0.25 - 0.30 - 0.15 - 1.00 = 1.83 \text{ m}$$

$$\text{volumen util disponible} = 43.79 \text{ m}^3$$

Figura 26

Esquema de niveles de CBDP-01



3.3.5 Cálculo del caudal de bombeo y volumen útil

De los datos de caudales de contribución de la Tabla 10, se realizó el cálculo preliminar del caudal de bombeo y volumen útil de la cámara húmeda en función de un tiempo de retención mínimo de 5 minutos y máximo de 30 minutos como se indica en la norma OS.080 del RNE que abarca sobre las estaciones de bombeo de aguas residuales.

Donde:

$$Q_{max} = 407.11 \text{ l/s}$$

$$Q_{min} = 113.09 \text{ l/s}$$

$$t_1 = 30 \text{ minutos}$$

$$t = 5 \text{ minutos}$$

Aplicando la ecuación (13):

$$K = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} = \frac{407.11}{113.09} = 3.60$$

Aplicando la ecuación (14):

$$a = \frac{t_1}{t} = \frac{30 \text{ min}}{5 \text{ min}} = 6$$

Reemplazando K y a en la ecuación (15):

$$(3.60 - 6.00) \times k_1^2 + (6.00 - 3.60^2) \times k_1 + 3.60(3.60 - 1)(1 + 6.00) = 0$$

$$-2.40 \times k_1^2 - 6.96 \times k_1 + 65.51 = 0$$

$$k_1 = 3.97, k_2 = -6.87$$

Con el valor de $k_1 = 3.97$ se realizó el cálculo del volumen útil, dado que k_2 al ser un valor negativo y aplicado en la ecuación 16 se obtendría un volumen negativo no razonable.

Reemplazando k_1 , t y K en la ecuación (16):

$$V_{\text{util}} = 5 \times 60 \times 6 \times \frac{(3.74 - 1)}{(3.74 + 6 - 1)} = 55.23 \text{ m}^3$$

Reemplazando k_1 y Q_{min} en la ecuación (17):

$$Q_b = 3.97 \times 113.09 = 449.22 \text{ l/s}$$

El volumen útil calculado de 55.23 m^3 supera en 11.44 m^3 respecto al volumen útil disponible calculado en el ítem 3.3.4. Para reducir el volumen se eligió un escenario donde la capacidad de bombeo variara respecto al comportamiento del caudal de contribución de desagüe, ya que al considerarse constante se incurre en un sobredimensionamiento del volumen útil.

Bajo el enfoque de un caudal de bombeo variable, se realizó los cálculos posteriores en función a la capacidad máxima de bombeo, velocidades recomendadas, tiempo de retención máximo y mínimo; y número de arranques máximos de la bomba seleccionada.

Para determinar la capacidad máxima de bombeo se optó un factor $K=1.05$ del caudal máxima de contribución.

$$Q_b = 1.05 \times 407.11 = 427.47 \text{ l/s}$$

Del análisis planteado se determinó que la estación de bombeo estará conformada por 4 bombas sumergibles, de las cuales 3 estarán en operación y una en reserva, con acoplamiento en paralelo, funcionamiento simultáneo y alternado de acuerdo al comportamiento del caudal de contribución de desagüe, y además con una tubería común de impulsión, en la Tabla 11 se muestra los escenarios de funcionamiento.

Tabla 11*Escenarios de Funcionamiento de Bombeo*

| Caudal de contribución | Funcionamiento en paralelo | Caudal de bombeo total (l/s) Qb | Caudal de bombeo unitario (l/s) Qbu |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| Qmin | 1 bomba | Qb(1) | Qb(1) |
| Qpd | 2 bombas | Qb(2) | Qb(2)/2 |
| Qmax | 3 bombas | Qb(3) | Qb(3)/3 |

3.3.6 Cálculo del diámetro de tubería en la succión y descarga

Para elegir el diámetro se utilizó el caudal de bombeo unitario cuando funcionan las 3 bombas en paralelo, es decir cuando la capacidad de bombeo total de la estación es máxima, en la Tabla 12 se detalla los valores de caudal para determinar los diámetros en cuestión.

Tabla 12*Caudales de funcionamiento paralelo de 3 bombas*

| Funcionamiento en paralelo | Caudal de bombeo total (l/s) Qb | Caudal de bombeo unitario (l/s) Qbu |
|-----------------------------------|---|---|
| 3 bombas | 427.47 | 142.49 |

En la Tabla 13 se realizó el análisis de velocidades para un rango de diámetros de tubería de Acero Schedule 40 ASTM, en el escenario de 3 bombas en funcionamiento simultaneo con caudal de bombeo unitario $Q_{bu} = 142.49$ l/s.

Tabla 13

Selección de diámetro de tubería de succión y descarga

| Caudal de bombeo unitario Q_{bu} (l/s) | Diámetro Nominal DN (pulg) | Diámetro Nominal DN (mm) | Diámetro externo De (mm) | Espesor e (mm) | Diámetro interno Di (mm) | Velocidad mínima V (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 142.49 | 10 | 250 | 273 | 9.27 | 254.46 | 2.80 |
| 142.49 | 12 | 300 | 323.80 | 10.31 | 303.18 | 1.97 |
| 142.49 | 14 | 350 | 355.60 | 11.13 | 333.34 | 1.63 |
| 142.49 | 16 | 400 | 406.40 | 12.70 | 381.00 | 1.25 |
| 142.49 | 18 | 450 | 457.20 | 14.27 | 428.66 | 0.99 |

Nota. En el escenario de 3 bombas en funcionamiento simultáneo, se registrará velocidades mínimas en la succión y descarga, debido a que el caudal de bombeo cuando funcione solo 1 bombas será mayor que el caudal unitario de 3 bombas en funcionamiento.

De la Tabla 13 y las recomendaciones de velocidad de la Tabla 4, se determinó para la succión una tubería de DN 16" (400 mm) y para la descarga una tubería de DN 12" (300 mm).

- Diámetro de succión = DN 400 mm (Di = 381.00 mm) - Acero Schedule 40 ASTM
- Diámetro de descarga = DN 300 mm (Di = 303.18 mm) - Acero Schedule 40 ASTM

3.3.7 Cálculo de pérdida de carga en la succión y descarga

Pérdida de carga en la succión

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería, se utilizó la ecuación (7).

Donde:

$$D_i = 381 \text{ mm} = 0.318 \text{ m}$$

$$Q_{bu} = 142.49 \text{ l/s} = 0.142 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 3.50 \text{ m}$$

$$C = 120 \text{ (Acero SCH 40, ver Tabla 1)}$$

$$h_{fs} = 10.67 \frac{LQ^{1.852}}{C^{1.852} D_i^{4.87}} = 10.67 \times \frac{3.50 \times 0.142^{1.852}}{120^{1.852} \times 0.381^{4.87}} = 0.016 \text{ m}$$

Para el cálculo de las pérdidas locales por accesorios, se utilizó la ecuación (8).

Donde:

$$V = 1.25 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

K = coeficiente de pérdida (ver Tabla 2)

Tabla 14

Accesorios en la tubería de succión

| Accesorios | Cantidad (N) | K | NK |
|---------------------------------|--------------|------|------|
| Campana de succión | 1.0 | 1.00 | 1.00 |
| Codo de 90° | 1.0 | 0.90 | 0.90 |
| Válvula compuerta tipo cuchilla | 1.0 | 0.20 | 0.20 |
| Reducción excéntrica | 1.0 | 0.15 | 0.15 |

Pérdida en la campana de succión:

$$h_{ls} = \frac{N \times K \times V^2}{2g} = \frac{1.0(1.25)^2}{2(9.81)} = 0.080 \text{ m}$$

Pérdida en el codo de 90°:

$$h_{ls} = \frac{N \times K \times V^2}{2g} = \frac{0.9(1.25)^2}{2(9.81)} = 0.072 \text{ m}$$

Pérdida en la válvula tipo cuchilla:

$$h_{ls} = \frac{N \times K \times V^2}{2g} = \frac{0.2(1.25)^2}{2(9.81)} = 0.016 \text{ m}$$

Pérdida en la reducción excéntrica:

$$h_{ls} = \frac{N \times K \times V^2}{2g} = \frac{0.15(1.25)^2}{2(9.81)} = 0.012 \text{ m}$$

Pérdida de carga total por accesorios:

$$h_{ls} = \frac{\sum NK \times V^2}{2g} = \frac{(0.008 + 0.072 + 0.016 + 0.012)(1.25)^2}{2(9.81)} = 0.179 \text{ m}$$

Pérdida de carga en la descarga

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería, se utilizó la ecuación (7).

Donde:

$$D_i = 303.18 \text{ mm} = 0.303 \text{ m}$$

$$Q = 142.49 \text{ l/s} = 0.142 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 7.13 \text{ m}$$

C = 120 (Acero SCH 40, ver Tabla 1)

$$h_{fd} = 10.67 \frac{LQ^{1.852}}{C^{1.852}D^{4.87}} = 10.67 \times \frac{7.13 \times 0.142^{1.852}}{120^{1.852} \times 0.303^{4.87}} = 0.097 \text{ m}$$

Para el cálculo de las pérdidas locales por accesorios, se utilizó la ecuación (8)

Donde:

$$V = 1.97 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

K = coeficiente de pérdida (ver Tabla 2)

Tabla 15

Accesorios en la tubería de descarga

| Accesorios | Cantidad (N) | K | NK |
|---------------------------------|--------------|------|------|
| Codo de 90° | 1.0 | 0.90 | 0.90 |
| Ampliación concéntrica | 2.0 | 0.30 | 0.60 |
| Válvula de retención Check | 1.0 | 2.50 | 2.50 |
| Válvula compuerta tipo cuchilla | 1.0 | 0.20 | 0.20 |
| Codo 45° | 1.0 | 0.40 | 0.40 |

Pérdida de carga total en la tubería de descarga:

$$h_{td} = \frac{\sum NKV^2}{2g} = \frac{(0.90 + 0.60 + 2.50 + 0.20 + 0.40) \times 1.97^2}{2 \times 9.81} = 1.271 \text{ m}$$

3.3.8 Cálculo del diámetro de la tubería de descarga principal

Para la selección del diámetro se utilizó el caudal de bombeo total cuando funcionan las 3 bombas en paralelo, es decir cuando la capacidad de bombeo total es máxima $Q_b = 427.27 \text{ l/s}$.

En la Tabla 16 se realizó el análisis de velocidades para un rango de diámetros de tubería de Acero Schedule 40 ASTM.

Tabla 16

Selección de diámetro de tubería de descarga principal

| Caudal de bombeo total Q_b (l/s) | Diámetro Nominal DN (pulg) | Diámetro Nominal DN (mm) | Diámetro externo De (mm) | Espesor e (mm) | Diámetro interno Di (mm) | Velocidad máximo V (m/s) |
|--|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 427.47 | 18 | 450 | 457.20 | 14.27 | 428.66 | 2.96 |
| 427.47 | 20 | 500 | 508.00 | 15.09 | 477.82 | 2.38 |
| 427.47 | 24 | 600 | 610.00 | 17.84 | 575.04 | 1.65 |

Nota. En el escenario de 3 bombas en funcionamiento simultáneo, se registrará velocidades máximas en la descarga principal.

De la Tabla 13 y las recomendaciones de velocidad de la Tabla 4, se determinó para la succión una tubería de DN 24" (600 mm).

- Diámetro de descarga común = DN 600 mm ($D_i = 575.04 \text{ mm}$) - Acero Schedule 40 ASTM.

3.3.9 Cálculo de pérdida de carga en la descarga principal

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción, se utilizó la ecuación (7).

Donde:

$$D = 575.04 \text{ mm} = 0.575 \text{ m}$$

$$Q = 427.47 \text{ l/s} = 0.427 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 12.73 \text{ m}$$

$$C = 120 \text{ (Acero SCH 40, ver Tabla 1)}$$

$$h_{fp} = 10.67 \frac{LQ^{1.852}}{C^{1.852}D^{4.87}} = 10.67 \times \frac{12.73 \times 0.427^{1.852}}{120^{1.852} \times 0.575^{4.87}} = 0.059 \text{ m}$$

Para el cálculo de las pérdidas locales por accesorios, se utilizó la ecuación (8).

Donde:

$$V = 1.65 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$K = \text{coeficiente de pérdida (ver Tabla 2)}$$

Tabla 17

Tabla de accesorios en la descarga principal

| Accesorios | Cantidad (N) | K | NK |
|-------------------|--------------|------|------|
| Medidor de caudal | 1.0 | 0.90 | 0.90 |
| Válvula compuerta | 1.0 | 0.20 | 0.20 |
| Codo 45° | 1.0 | 0.40 | 0.40 |
| Yee | 4.0 | 0.60 | 2.40 |

$$h_{lp} = \frac{\sum NK \times V^2}{2g} = \frac{(0.90 + 0.20 + 0.40 + 2.40)(1.65)^2}{2(9.81)} = 0.539 \text{ m}$$

3.3.10 Cálculo del diámetro de tubería en la impulsión

Para elegir el diámetro de la impulsión se utilizó el caudal de bombeo total cuando funcionan 3 bombas en paralelo, como se muestra en la Tabla 12, en la Tabla 18 se detalla los cálculos realizados para una tubería de Hierro Dúctil K9.

Tabla 18

Selección de diámetro de tubería de impulsión

| Caudal de bombeo Q_b (l/s) | Diámetro nominal DN (pulg) | Diámetro Nominal DN (mm) | Diámetro Externo De (mm) | Espesor e (mm) | Diámetro interno Di (mm) | Velocidad máxima V (m/s) |
|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 427.47 | 20 | 500 | 532.00 | 14.00 | 504.00 | 2.14 |
| 427.47 | 24 | 600 | 635.00 | 14.90 | 605.20 | 1.49 |
| 427.47 | 28 | 700 | 738.00 | 16.80 | 704.40 | 1.10 |
| 427.47 | 32 | 800 | 842.00 | 17.70 | 806.60 | 0.38 |

De la Tabla 18 se observó que para una tubería de DN 600mm cumplía con las velocidades recomendadas de la Tabla 5, el cual indica como velocidad máxima de 1.49 m/s para el funcionamiento de 3 bombas en simultáneo.

- Diámetro de impulsión = DN 600 mm (Di = 605.20 mm) – Hierro Dúctil K9.

3.3.11 Cálculo de pérdida en la impulsión

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería, se utilizó la ecuación (7).

Donde:

$$D_i = 605.20 \text{ mm} = 0.605 \text{ m}$$

$$Q = 427.47 \text{ l/s} = 0.427 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 3903.26 \text{ m}$$

$$C = 140 \text{ (Hierro Dúctil K9)}$$

$$h_{fi} = 10.67 \frac{LQ^{1.852}}{C^{1.852}D^{4.87}} = 10.67 \times \frac{3903.26 \times 0.427^{1.852}}{140^{1.852}0.605^{4.87}} = 10.557 \text{ m}$$

Para el cálculo de pérdida local por accesorios, se utilizó la ecuación (8)

Donde:

$$V = 1.49 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

K = coeficiente de pérdida (ver Tabla 2)

Tabla 19

Tabla de accesorios en la impulsión

| Accesorios | Cantidad (N) | K | NK |
|--|--------------|------|------|
| Codo de 90° DN 600mm | 3.0 | 0.90 | 2.70 |
| Codo de 45° DN 600mm | 15.0 | 0.40 | 6.00 |
| Codo de 22.5° DN 600mm | 2.0 | 0.20 | 0.40 |
| Codo de 11.25° DN 600mm | 6.0 | 0.20 | 1.20 |
| Tee paso directo (Válvula de Aire y Purga) | 10.0 | 0.40 | 4.00 |

$$h_{li} = \frac{\sum NK V^2}{2g} = \frac{(2.70 + 6.00 + 0.40 + 1.20 + 4.00) \times 1.49^2}{2 \times 9.81} = 1.609 \text{ m}$$

En la Tabla 20 se resume los valores de perdidas primarias y secundarias calculadas en el sistema de bombeo para un escenario de funcionamiento de 3 bombas en simultaneo, con un resultado total 13.969 m.

Tabla 20*Resumen de pérdida de carga del sistema*

| Pérdida | Succión | Descarga | Descarga Principal | Impulsión |
|----------------|----------------|-----------------|---------------------------|------------------|
| Primaria | 0.016 m | 0.097 m | 0.059 m | 10.557 m |
| Secundaria | 0.179 m | 0.913 m | 0.539 m | 1.609 m |
| Total | 0.195 m | 1.011 m | 0.597 m | 12.166 m |

3.3.12 Cálculo de la altura geométrica y altura dinámica total

En la Tabla 21 se muestran los datos para el cálculo de la altura geométrica.

Tabla 21*Datos de niveles de CBDP-01*

| Nivel | Cota |
|------------------------------------|----------------|
| Cota de tapa de buzón | 2.40 m.s.n.m. |
| Profundidad de buzón | 7.80 m |
| Cota de fondo de buzón | -4.68 m.s.n.m. |
| Cota de descarga (PTAR-La Chira) | 11.65 m.s.n.m. |
| Cota de llegada a la cámara húmeda | -4.67 m.s.n.m. |
| Cota de fondo de cámara húmeda | -8.25 m.s.n.m. |
| Nivel mínimo del volumen útil (*) | -7.00 m.s.n.m. |

El nivel mínimo del volumen útil se determinó a partir de la ecuación de sumergencia mínima mostrada en la Figura 27.

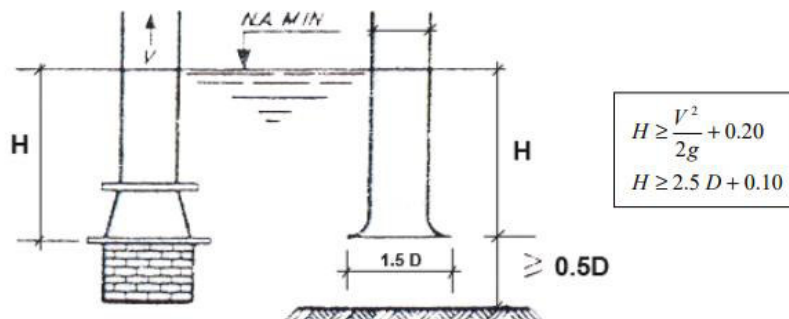
Donde:

N.A. MIN = Nivel mínimo del volumen útil

$D_i = 381.00 \text{ mm} = 0.381 \text{ m}$

$$H \geq 2.5(0.381) + 0.10 = 1.053 \text{ m}$$

$$\text{N.A. MIN} = 1.053\text{m} + 0.5 (0.381\text{m}) = 1.244 \text{ m}$$

Figura 27*Sumergencia mínima*

Nota. Tomado de *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable* por UNATSABAR 2005.

Considerando que el nivel de fondo de la cámara húmeda es de -8.25 m.s.n.m. y la altura de sumergencia mínima de 1.25 m, se determina que el nivel mínimo del volumen útil es de -7.00 m.s.n.m.

La altura geométrica (H_g) del sistema de bombeo es la diferencia entre el nivel mínimo del volumen útil y la cota de descarga.

$$H_g = \text{cota de descarga} - \text{cota de nivel mínimo de volumen útil}$$

$$H_g = 11.65 - (-7.00) = 18.25 \text{ m}$$

Aplicando la ecuación 10 para el cálculo de la altura dinámica total (H_t) y considerando una presión de salida de 2.00 m como margen de pérdidas no estimadas, se tiene que:

$$H_t = ADT = 13.969 + 18.250 + 2.000 = 34.219 \text{ m}$$

3.3.13 Cálculo de la curva característica del sistema

Con la altura geométrica más desfavorable de 18.25 m para el escenario de 3 bombas en funcionamiento simultáneo, pérdida primaria y secundaria calculada con los datos de la Tabla 22 y una presión de salida de 2.00 m, se graficó la curva característica del sistema de bombeo

mostrado en la Figura 29, para un intervalo de caudales como se muestra en la Figura 28. Para el cálculo de las pérdidas primarias y secundarias se utilizó la ecuación (7) y (8) consecutivamente.

Tabla 22

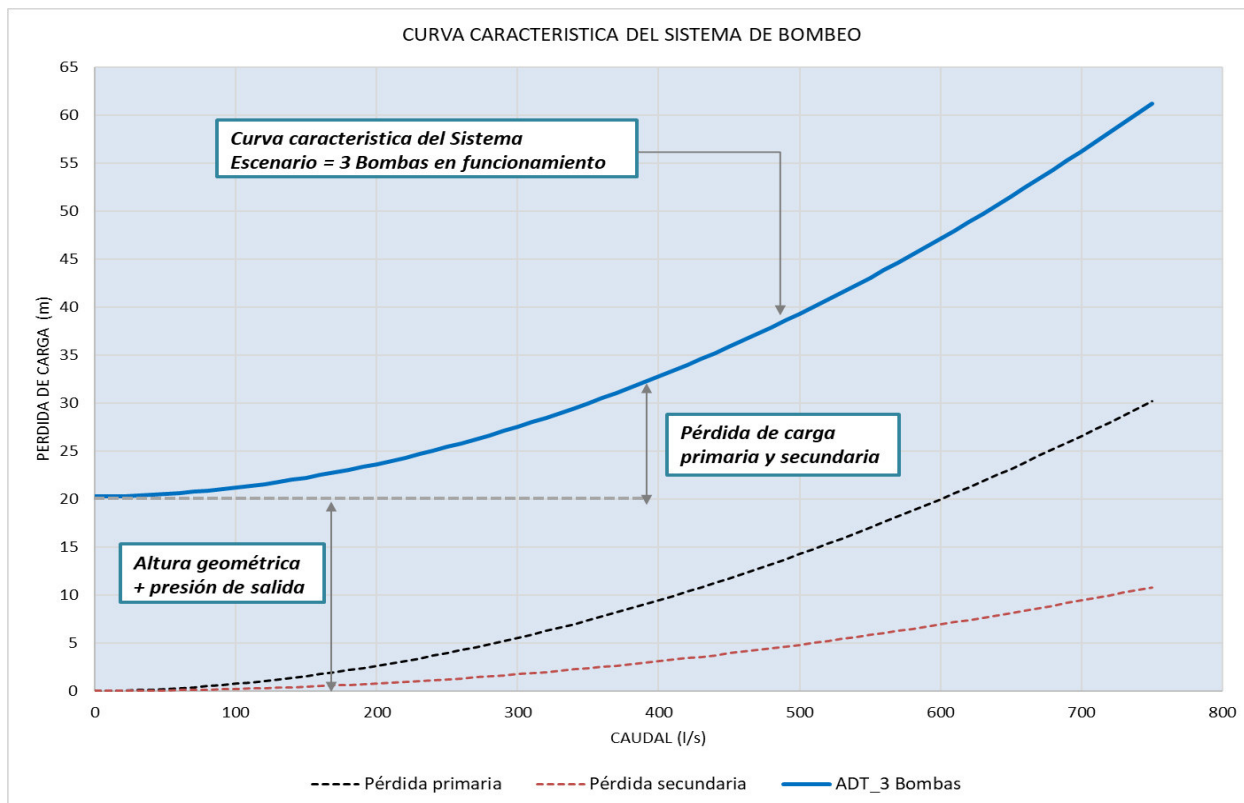
Datos para el cálculo de la curva característica del sistema

| Tubería | Longitud (m) | Diámetro Interno (mm) | Coefficiente de Hazen- William (C) | Coefficiente de accesorios ($\sum NK$) |
|--------------------|-----------------|-----------------------------|--|---|
| Succión | 3.50 | 381.00 | 120 | 2.25 |
| Descarga | 7.13 | 303.18 | 120 | 4.60 |
| Descarga principal | 12.73 | 575.04 | 120 | 3.90 |
| Impulsión | 3903.26 | 605.20 | 140 | 14.30 |

Figura 28

Matriz de cálculo de curva característica del sistema

| Qb (l/s) | Pérdidas de carga principales | | | | Pérdidas de carga secundarias | | | |
|-------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|
| | succión (m) | descarga (m) | descarga p. (m) | impulsion (m) | succión (m) | descarga (m) | descarga p. (m) | impulsion (m) |
| 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.28 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 |
| 70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.37 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.04 |
| 80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.47 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.06 |
| 90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.59 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.07 |
| 100 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.72 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.09 |
| 110 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.85 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.11 |
| 120 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.00 | 0.04 | 0.07 | 0.04 | 0.13 |
| 130 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.16 | 0.04 | 0.08 | 0.05 | 0.15 |
| 140 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.34 | 0.05 | 0.10 | 0.06 | 0.17 |
| 150 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.52 | 0.06 | 0.11 | 0.07 | 0.20 |
| 160 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.71 | 0.06 | 0.13 | 0.08 | 0.23 |
| 170 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.91 | 0.07 | 0.14 | 0.09 | 0.25 |
| 180 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 2.13 | 0.08 | 0.16 | 0.10 | 0.29 |
| 190 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 2.35 | 0.09 | 0.18 | 0.11 | 0.32 |
| 200 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 2.59 | 0.10 | 0.20 | 0.12 | 0.35 |
| 210 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 2.83 | 0.11 | 0.22 | 0.13 | 0.39 |
| 220 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 3.09 | 0.12 | 0.24 | 0.14 | 0.43 |
| 230 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 3.35 | 0.13 | 0.26 | 0.16 | 0.47 |
| 240 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 3.62 | 0.14 | 0.29 | 0.17 | 0.51 |
| 250 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 3.91 | 0.15 | 0.31 | 0.18 | 0.55 |
| 260 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 4.20 | 0.17 | 0.34 | 0.20 | 0.60 |
| 270 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 4.51 | 0.18 | 0.36 | 0.21 | 0.64 |
| 280 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 4.82 | 0.19 | 0.39 | 0.23 | 0.69 |
| 290 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 5.15 | 0.21 | 0.42 | 0.25 | 0.74 |

Figura 29*Curva característica del sistema***3.3.14 Selección de equipo de bombeo y punto de operación**

Los datos para la selección del equipo de bombeo se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23*Datos para la selección del equipo de bombeo*

| | |
|---------------------------------------|------------|
| Nº bombas en operación | 3 |
| Nº bombas en reserva | 1 |
| Caudal total (3 bombas) | 427.47 l/s |
| Altura geométrica + presión de salida | 20.25 m |
| Altura dinámica total | 34.219 m |

Las características del equipo seleccionado se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24*Características del equipo de bombeo seleccionado*

| Bomba | Descripción |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Tipo | Sumergible centrífuga de 1 etapa |
| Altura dinámica | 33.37 m |
| Eficiencia | 65.4% |
| Caudal de bombeo máximo | 423.00 l/s |
| Motor | Descripción |
| Tipo | Sumergible |
| Potencia | 210.6 Kw (3 bombas en funcionamiento) |
| Eficiencia (motor + bomba) | 60.8% |
| Frecuencia | 60 Hz |

En la Figura 30 se muestra la intersección entre las curvas característica del equipo de bombeo seleccionado para los 3 escenarios de funcionamiento y la curva característica del sistema.

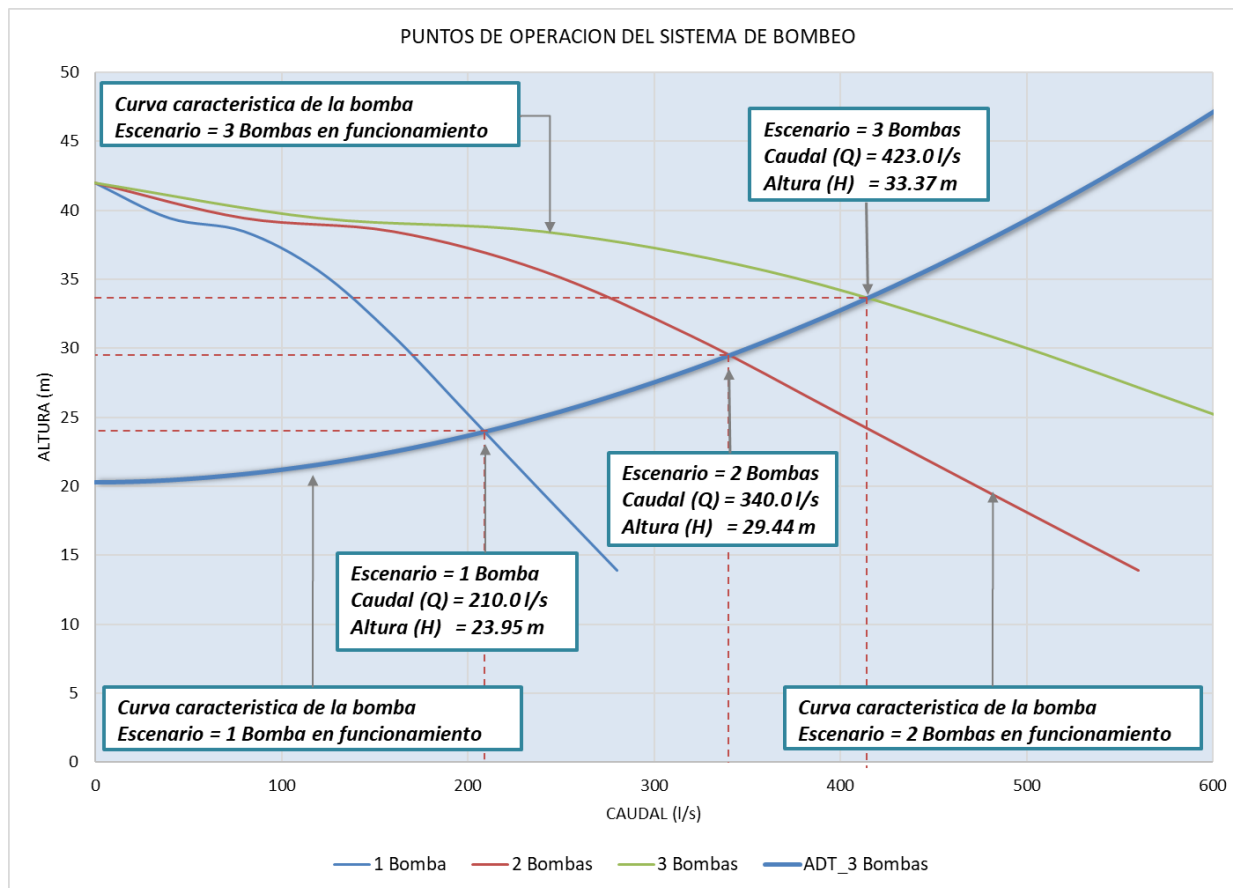
La Tabla 25 muestra los puntos de operación de los equipos de bombeo en los escenarios de funcionamiento unitario y simultaneo, el cual es resultado de la intersección de la curva característica de la bomba y la curva característica del sistema, mostrados en la Figura 30.

Tabla 25*Puntos de operación del sistema de bombeo*

| Funcionamiento | Caudales de bombeo (l/s) | Caudal unitario (l/s) | Eficiencia de la bomba | Eficiencia del motor + bomba |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 bomba | 210 | 210.00 | 68.3% | 64.2% |
| 2 bombas | 340 | 170.00 | 68.5% | 64.4% |
| 3 bombas | 423 | 141.00 | 65.4% | 61.4% |

Figura 30

Puntos de operación del sistema de bombeo



Con los puntos de operación definidos en la Tabla 25, se procedió a calcular la altura manométrica correspondiente a cada uno de los escenarios de funcionamiento y considerando sus respectivas alturas geométricas (altura estática) las cuales se muestra en la Tabla 26.

3.3.15 Análisis de niveles de parada y arranque

Para el cálculo del volumen útil mínimo de cada bomba se aplicó la ecuación 18, con los caudales de bombeo unitario de la Tabla 25.

Para el escenario de funcionamiento de 1 bomba:

Donde:

$$Q_b = 210.00 \text{ l/s} = 12.60 \text{ m}^3/\text{min}$$

$T_{min} = 4 \text{ min}$, el ciclo mínimo es resultado del número de arranques máximos por hora, para el caso de la bomba seleccionada tiene la capacidad máxima de 15 arranques/hora.

$$V_{min} = 4 \left(\frac{12.60}{4} \right) = 12.60 \text{ m}^3$$

El cálculo para los demás escenarios se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Matriz de volumen mínimo requerido por bomba

| Escenario | Caudal por bomba (l/s) | Volumen mínimo requerido (m ³) |
|-----------|------------------------|--|
| 1 Bomba | 210.00 | 12.60 |
| 2 Bombas | 170.00 | 10.20 |
| 3 Bombas | 141.00 | 8.46 |

Para el cálculo del volumen útil mínimo requerido en la cámara húmeda se aplicó la ecuación 19.

Donde:

$$n = 3 \text{ bombas}$$

$$V_{min} = 12.60 \text{ m}^3, \text{ volumen mínimo requerido para el funcionamiento de 1 bomba.}$$

$$\Delta H = 0.20 \text{ m}$$

$$S = 23.93 \text{ m}^2$$

$$V_{tot} = V_{min} + (n - 1)(\Delta H)S = 12.60 + 2 \times 0.20 \times 23.93 = 22.172 \text{ m}^3$$

Para evitar arranques imprecisos entre los niveles de arranque se determinó aumentar el volumen mínimo requerido de la primera bomba, dando como resultado los niveles de funcionamiento presentados en la Tabla 26.

Para el volumen útil final en la cámara húmeda se volvió a aplicar la ecuación 19.

Donde:

$$n = 3 \text{ bombas}$$

$$V_{util} = 19.144 \text{ m}^3, \text{ volumen para el funcionamiento de 1 bomba.}$$

$$(\Delta H) = 0.20 \text{ m}$$

$$S = 23.93 \text{ m}^2$$

$$V_{tot} = V_{util} + (n - 1)(\Delta H)S = 19.144 + 2 \times 0.20 \times 23.93 = 28.716 \text{ m}^3$$

Tabla 26

Niveles de funcionamiento de la cámara húmeda

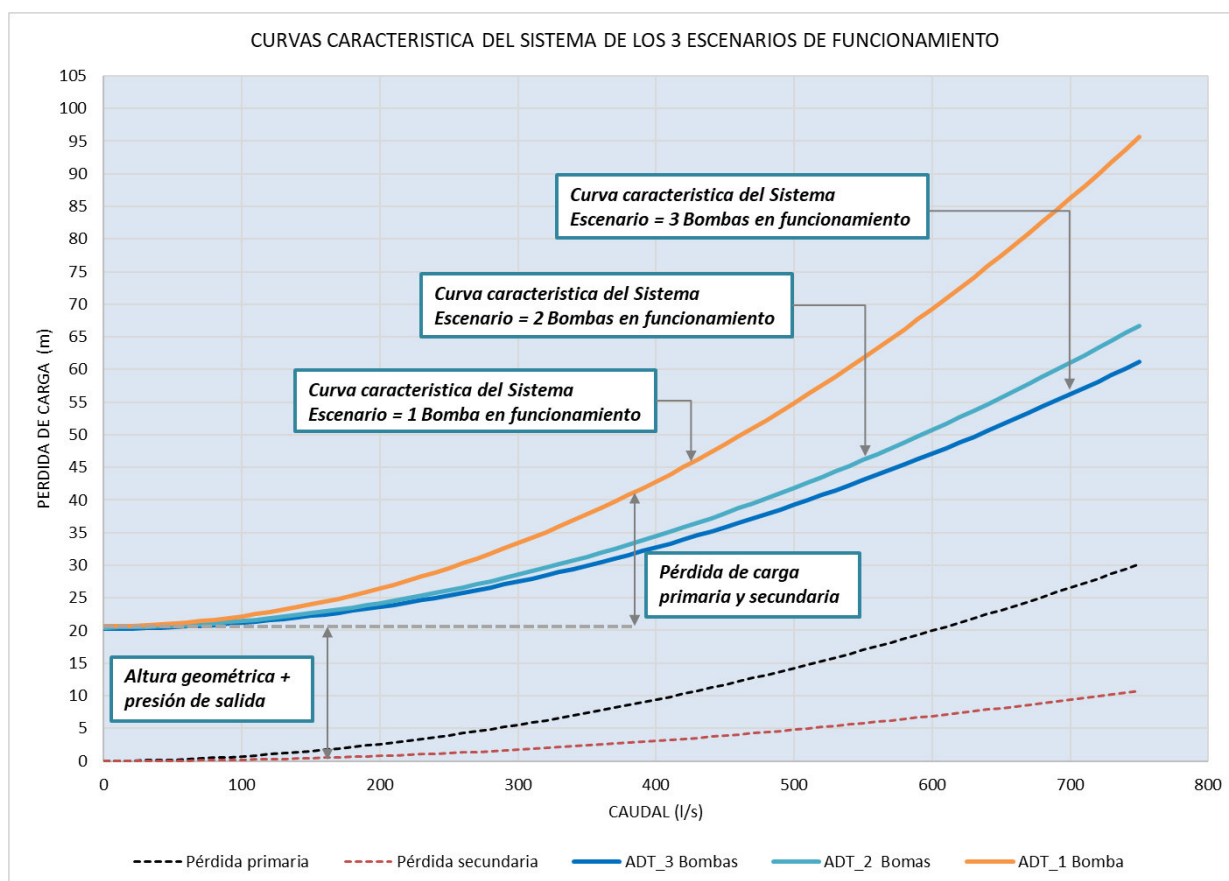
| Niveles de cámara húmeda | Cota (m.s.n.m.) | Altura estática (m) |
|--------------------------|-----------------|---------------------|
| Descarga | 11.65 | - |
| Llegada de colector | -5.00 | - |
| Alarma (emergencia) | -5.60 | - |
| Arranque de 3ra bomba | -5.80 | 17.85 |
| Arranque de 2da bomba | -6.00 | 18.65 |
| Arranque de 1ra bomba | -6.20 | 17.65 |
| Parada de 1ra bomba | -6.60 | 18.45 |
| Parada de 2da bomba | -6.80 | 17.45 |
| Parada de 3ra bomba | -7.00 | 18.25 |
| Fondo de cámara húmeda | -8.25 | - |

3.3.16 Recalculo de los puntos de operación del sistema de bombeo

Con los valores de altura estática de la Tabla 26, se realizó el recalcu de las curvas características para cada uno de los escenarios de funcionamiento, como se muestra en la Figura 32.

Figura 32

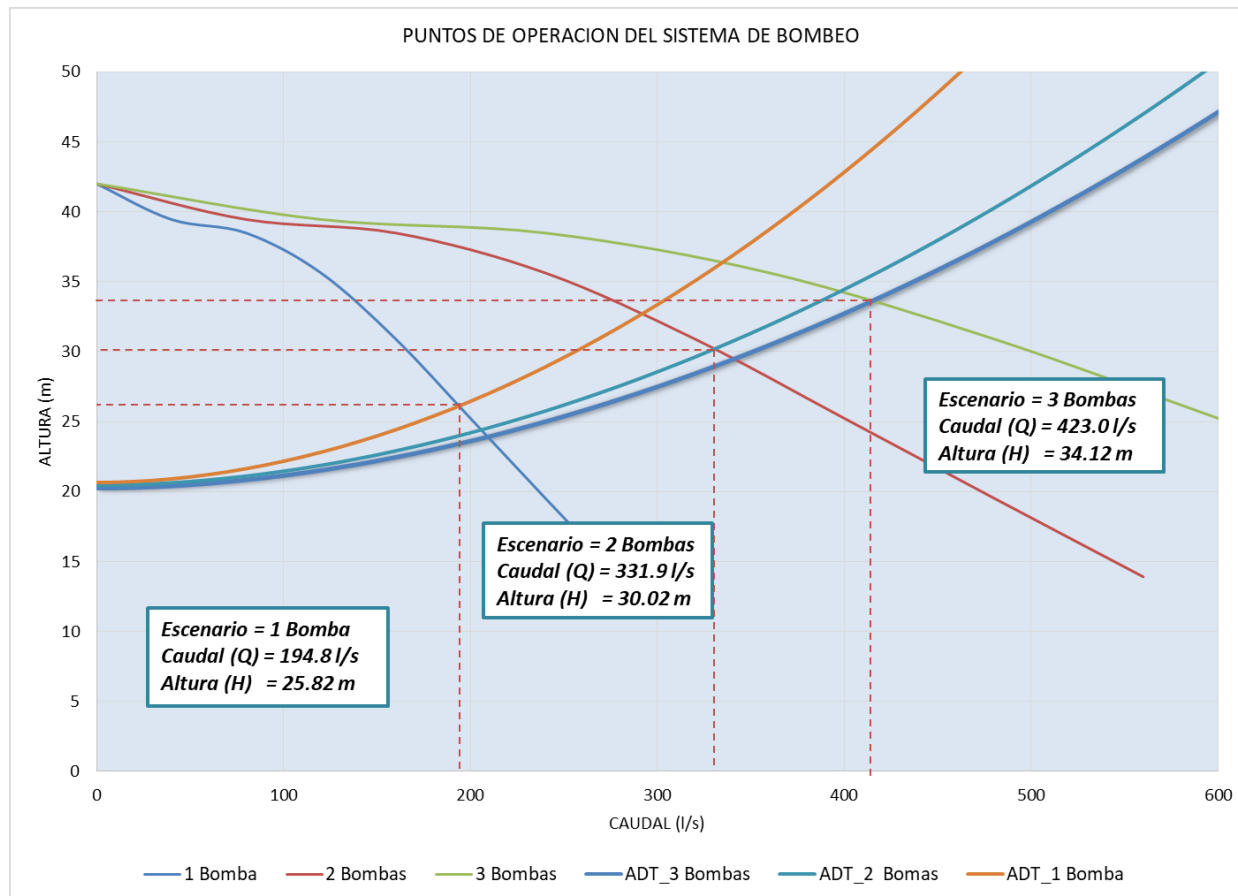
Curvas características del sistema en los 3 escenarios de funcionamiento



Para determinar los puntos de operación final, se realizó la intersección entre las curvas características de los sistemas y las curvas características de las bombas, como se muestra en la Figura 33, y los resultados en la Tabla 27.

Figura 33

Puntos de operación final en los 3 escenarios de funcionamiento

**Tabla 27**

Puntos de operación final del sistema de bombeo

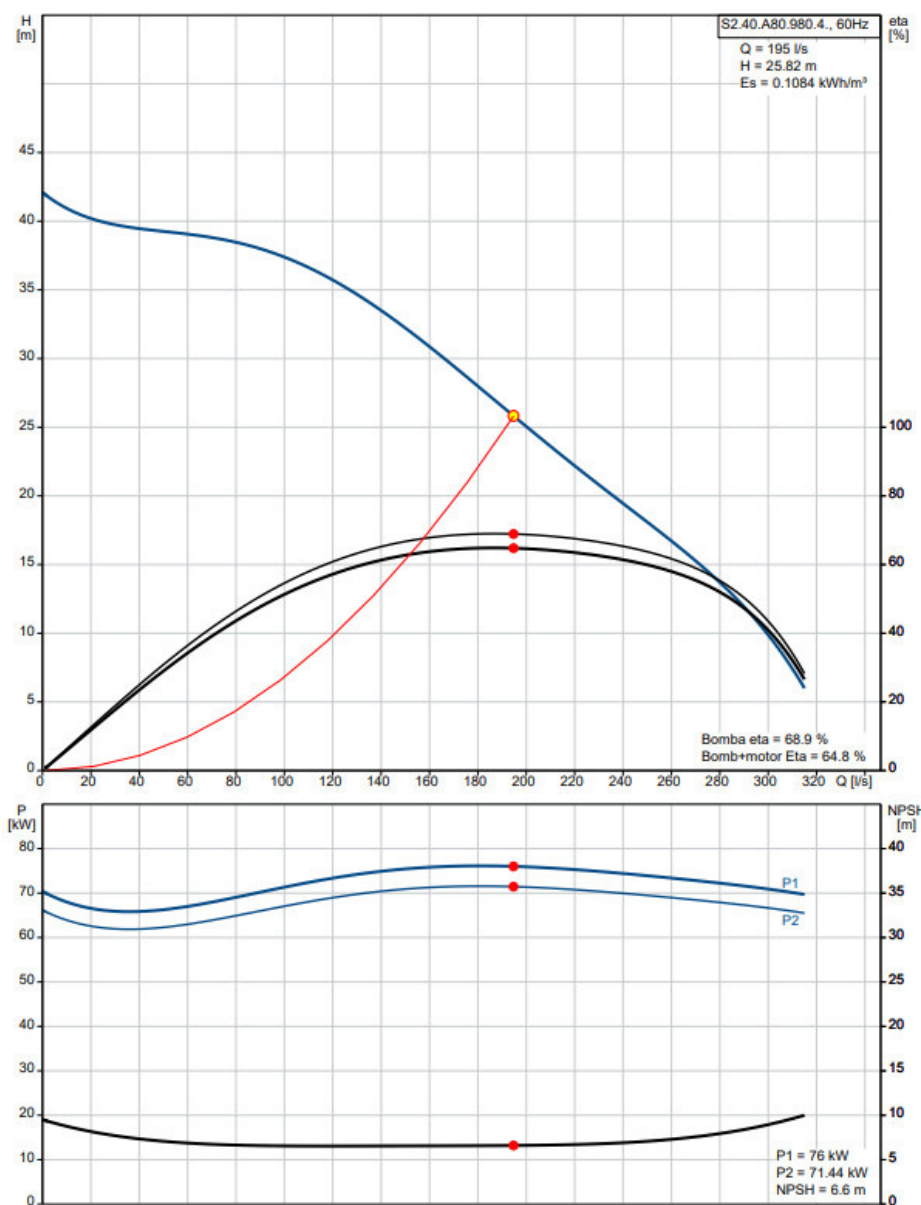
| Funcionamiento | Caudales de bombeo (l/s) | Caudal unitario (l/s) | Eficiencia de la bomba | Eficiencia del motor + bomba | NPSHr (m) |
|----------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|-----------|
| 1 bomba | 194.80 | 194.80 | 68.9% | 64.8% | 6.60 |
| 2 bombas | 331.90 | 165.95 | 68.3% | 64.2% | 6.56 |
| 3 bombas | 423.00 | 142.49 | 65.4% | 61.5% | 6.55 |

3.3.17 Curva características de la bomba con 1 bomba en funcionamiento

En la Figura 34 se muestra el punto de operación de caudal 194.80 l/s con una altura manométrica de 25.82 m y NPSHr de 6.6m cuando funcione solo 1 bomba.

Figura 34

Punto de operación con 1 bomba en funcionamiento



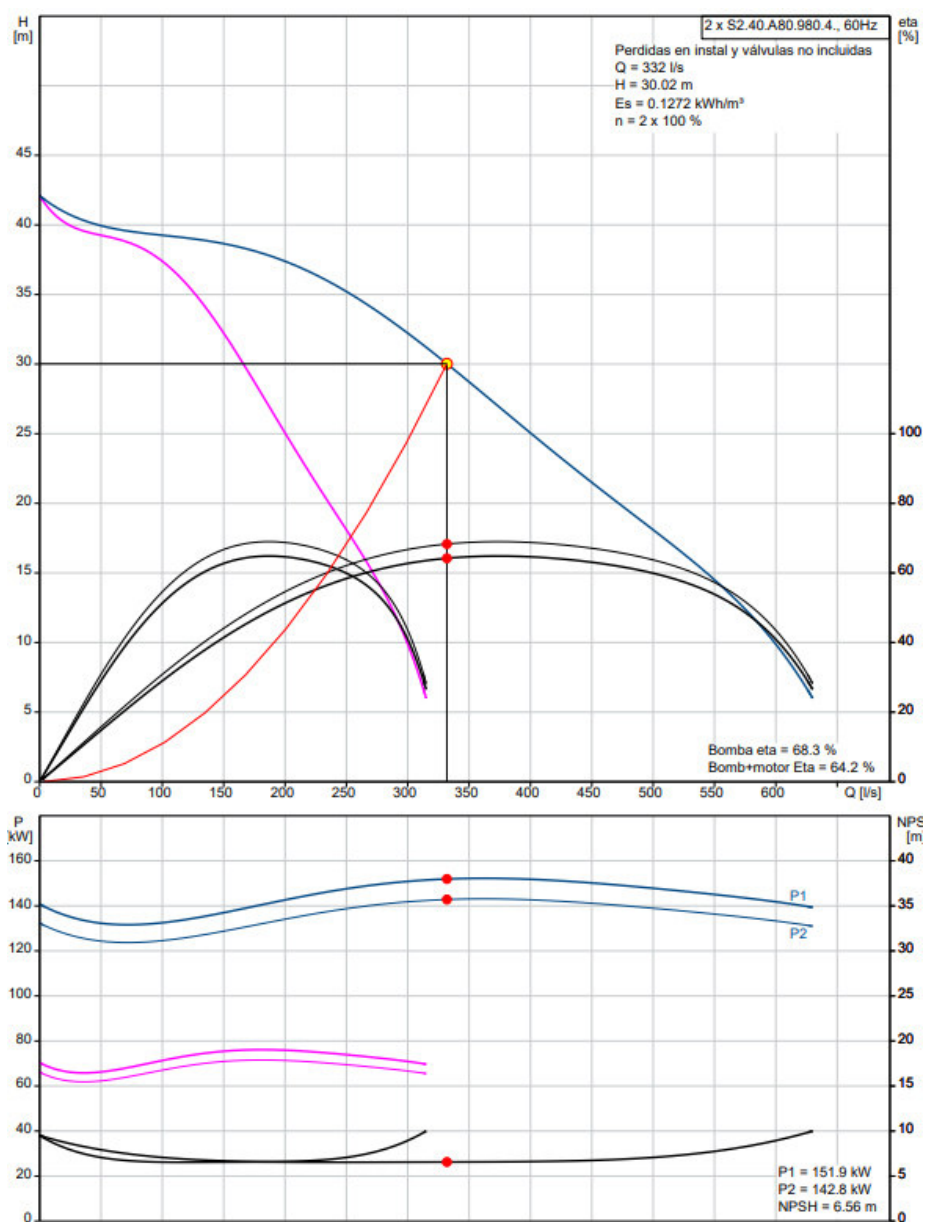
Nota: Tomado de Grundfos Software, 2021, Grundfos.

3.3.18 Curvas de eficiencia de la bomba con 2 bombas en funcionamiento

En la Figura 35 se muestra el punto de operación de caudal 331.90 l/s con una altura manométrica de 30.02 m y NPSHr de 6.56 m cuando funcionen solo 2 bombas en paralelo.

Figura 35

Punto de operación con 2 bombas en funcionamiento



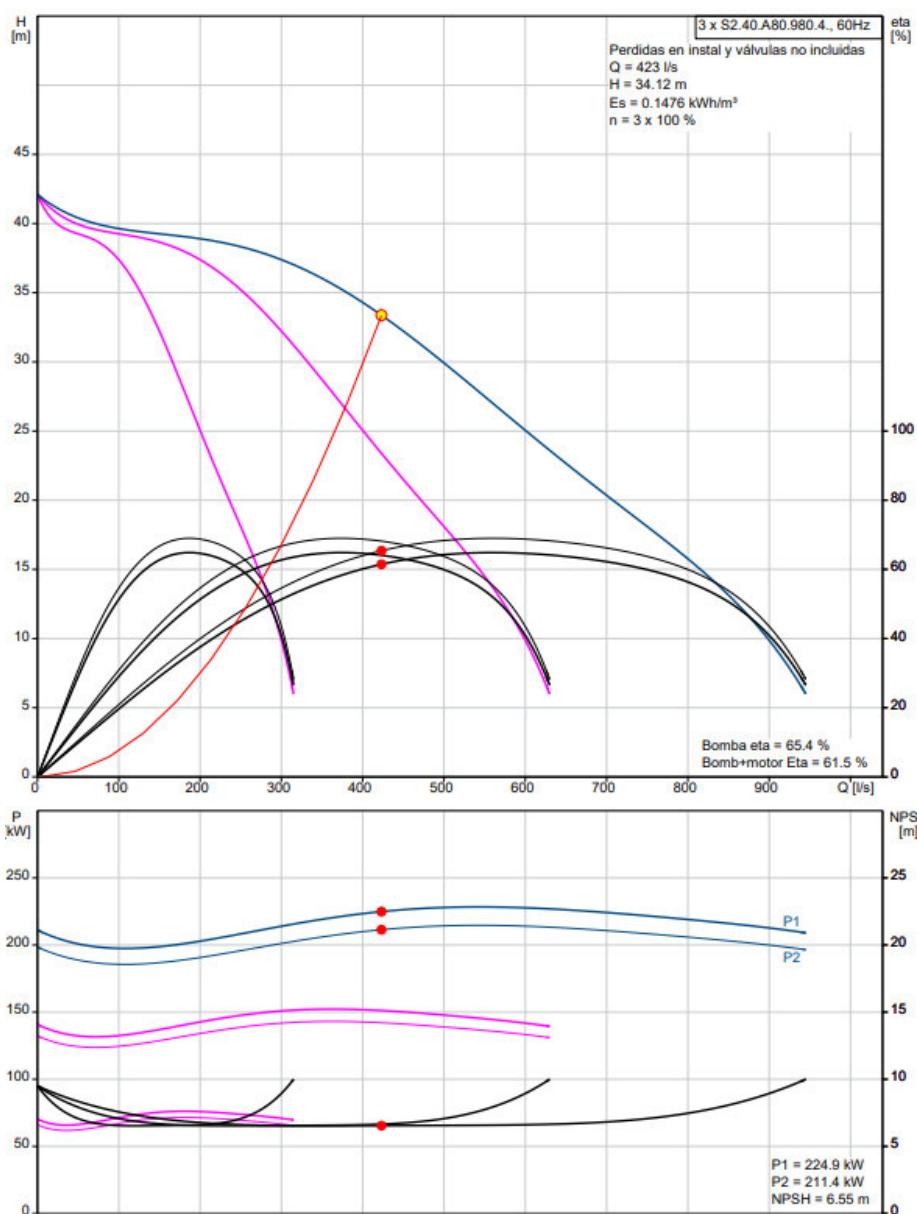
Nota: Tomado de Grundfos Software, 2021, Grundfos.

3.3.19 Curvas de eficiencia de la bomba con 3 bombas en funcionamiento

En la Figura 36 se muestra el punto de operación de caudal 423.00 l/s con una altura manométrica de 34.12 m y NPSHr de 6.55 m cuando funcionen solo 3 bombas en paralelo.

Figura 36

Punto de operación con 3 bombas en funcionamiento



Nota. Tomado de Grundfos Software, 2021, Grundfos.

Con los valores de caudal definidos para cada escenario de funcionamiento se realizó el cálculo de las velocidades máximas y mínimas en la succión, descarga e impulsión, como se observa en la Tabla 28 y Tabla 29.

Tabla 28

Velocidades en la succión y descarga

| | | | | | | | | Caudal unitario (l/s) | | |
|----------|--------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|--------|--------|
| | | | | | | | | 141.00 | 194.80 | 165.95 |
| Tubería | Diámetro | Diámetro | Diámetro | Diámetro | Velocidad | Velocidad | Velocidad | | | |
| | nominal | nominal | externo | Interno | mínima | máxima | promedio | | | |
| | DN (pulg) | DN (mm) | De (mm) | Di (mm) | Vmin (m/s) | Vmax (m/s) | Vprom (m/s) | | | |
| succión | 16 | 400 | 406.40 | 381.00 | 1.24 | 2.70 | 2.14 | | | |
| descarga | 12 | 300 | 323.80 | 303.18 | 1.95 | 1.71 | 1.49 | | | |

Tabla 29

Velocidades en la descarga principal e impulsión

| | | | | | | | | Caudal total (l/s) | | |
|----------------|--------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|----------------|--------------------|--------|--------|
| | | | | | | | | 194.80 | 423.00 | 331.90 |
| Tubería | Diámetro | Diámetro | Diámetro | Diámetro | Velocidad | Velocidad | Velocidad | | | |
| | nominal | nominal | externo | Interno | mínima | máxima | promedio | | | |
| | DN (pulg) | DN (mm) | De (mm) | Di (mm) | Vmin (m/s) | Vmax (m/s) | Vprom (m/s) | | | |
| desc.principal | 24 | 600 | 610.00 | 575.04 | 0.75 | 1.63 | 1.28 | | | |
| impulsión | 24 | 600 | 635.00 | 605.20 | 0.68 | 1.47 | 1.15 | | | |

3.3.20 Análisis del NPSH requerido y disponible

Para el cálculo del NPSH disponible se realizó mediante la ecuación 25.

$$NPSH_d = Hg + \frac{P_{atm}}{\rho g} - h_{fs} - \frac{P_{vapor}}{\rho g} \quad (25)$$

Donde:

$Hg = -0.38$ m, altura geométrica

$P_{atm} = 101.33$ kPa, presión atmosférica

$P_{vapor} = 0.013 \times 10^5$ Pa, presión vapor

$h_{fs} = 0.25$ m, pérdida de carga en la succión

$\rho = 997.10$ kg/m³, densidad del agua

$g = 9.81$ m/s². aceleración de la gravedad.

$$NPSH_d = -0.38 + \frac{101.33(1000)}{10.36(9.81)} - 0.25 - \frac{0.013(100000)}{10.36(9.81)}$$

$$NPSH_d = 9.41 \text{ m}$$

Se tiene que $NPSH_d > NPSH_r$, los valores del $NPSH_r$ están en el rango de 6.55m y 6.60m, como se observa en la Tabla 27.

3.3.21 Análisis del tiempo de retención

Se realizó el análisis del tiempo de retención de la cámara húmeda en función a los caudales de bombeo e ingreso y niveles de funcionamiento, dando como resultado un tiempo de retención mínimo de 2.05 minutos y máximo de 19.35 minutos, como se puede apreciar en la Figura 37.

Figura 37*Matriz de tiempo de retención de la cámara húmeda*

| Unidades | l/s | l/s | s | s | s | min | m3 |
|---------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| Funcionamiento de equipos | Caudal de ingreso (Qi) | Caudal de bombeo (Qb) | Tiempo de llenado | Tiempo de vaceado | Tiempo de retención (Tc) | Tiempo de retención (Tc) | Volumen bombeado |
| 1.00 | 113.09 | 194.80 | 103.35 | 143.04 | 246.39 | 4.11 | 12.00 |
| 1.00 | 123.09 | 194.80 | 94.95 | 162.99 | 257.94 | 4.30 | 12.56 |
| 1.00 | 133.09 | 194.80 | 87.82 | 189.40 | 277.22 | 4.62 | 13.50 |
| 1.00 | 143.09 | 194.80 | 81.68 | 226.03 | 307.71 | 5.13 | 14.99 |
| 1.00 | 153.09 | 194.80 | 76.35 | 280.22 | 356.57 | 5.94 | 17.36 |
| 1.00 | 163.09 | 194.80 | 71.67 | 368.59 | 440.26 | 7.34 | 21.44 |
| 1.00 | 173.09 | 194.80 | 67.53 | 538.37 | 605.89 | 10.10 | 29.51 |
| 1.00 | 183.09 | 194.80 | 63.84 | 998.12 | 1061.96 | 17.70 | 51.72 |
| 2.00 | 193.09 | 331.90 | 51.57 | 71.73 | 123.30 | 2.05 | 10.23 |
| 2.00 | 203.09 | 331.90 | 49.03 | 77.30 | 126.33 | 2.11 | 10.48 |
| 2.00 | 213.09 | 331.90 | 46.73 | 83.81 | 130.53 | 2.18 | 10.83 |
| 2.00 | 223.09 | 331.90 | 44.63 | 91.51 | 136.14 | 2.27 | 11.30 |
| 2.00 | 233.09 | 331.90 | 42.72 | 100.77 | 143.49 | 2.39 | 11.91 |
| 2.00 | 243.09 | 331.90 | 40.96 | 112.12 | 153.08 | 2.55 | 12.70 |
| 2.00 | 253.09 | 331.90 | 39.34 | 126.34 | 165.68 | 2.76 | 13.75 |
| 2.00 | 263.09 | 331.90 | 37.85 | 144.70 | 182.55 | 3.04 | 15.15 |
| 2.00 | 273.09 | 331.90 | 36.46 | 169.31 | 205.77 | 3.43 | 17.07 |
| 2.00 | 283.09 | 331.90 | 35.17 | 204.00 | 239.17 | 3.99 | 19.84 |
| 2.00 | 293.09 | 331.90 | 33.97 | 256.56 | 290.53 | 4.84 | 24.11 |
| 2.00 | 303.09 | 331.90 | 32.85 | 345.61 | 378.46 | 6.31 | 31.40 |
| 2.00 | 313.09 | 331.90 | 31.80 | 529.35 | 561.15 | 9.35 | 46.56 |
| 2.00 | 323.09 | 331.90 | 30.82 | 1130.19 | 1161.01 | 19.35 | 96.33 |
| 3.00 | 333.09 | 427.47 | 35.09 | 123.85 | 158.94 | 2.65 | 16.98 |
| 3.00 | 343.09 | 427.47 | 34.07 | 138.52 | 172.59 | 2.88 | 18.44 |
| 3.00 | 353.09 | 427.47 | 33.10 | 157.15 | 190.25 | 3.17 | 20.33 |
| 3.00 | 363.09 | 427.47 | 32.19 | 181.56 | 213.75 | 3.56 | 22.84 |
| 3.00 | 373.09 | 427.47 | 31.33 | 214.95 | 246.28 | 4.10 | 26.32 |
| 3.00 | 383.09 | 427.47 | 30.51 | 263.39 | 293.90 | 4.90 | 31.41 |
| 3.00 | 393.09 | 427.47 | 29.73 | 340.01 | 369.74 | 6.16 | 39.51 |
| 3.00 | 403.09 | 427.47 | 29.00 | 479.50 | 508.49 | 8.47 | 54.34 |

3.3.22 Cálculo de golpe de ariete

Velocidad de aceleración de la Onda

Para el cálculo se utilizará la ecuación (20).

Donde:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$K_v = 2.2 \text{ MPa}$$

$$D_i = 605.20 \text{ mm}$$

$$E = 1.7 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$e = 14.90 \text{ mm}$$

$$a = \sqrt{\frac{K_v}{\rho \left(1 + \frac{K_v D_i}{E e}\right)}} = \sqrt{\frac{2.2 \times 10^9}{1000 \times \left(1 + \frac{2.2 \times 10^9 \times 0.60520}{1.7 \times 10^{11} \times 0.0149}\right)}} = 1200.84 \text{ l/s}$$

Tiempo de parada de la Bomba

Para el cálculo se utilizará la ecuación (21).

Donde:

$$L = 3903.26 \text{ m}$$

$$V = 1.49 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$H_m = ADT = 34.22 \text{ m}$$

De la Tabla 6 se obtiene el coeficiente C:

Condición:

$$H_m/L = 0.01 < 0.2$$

$$C = 1.0$$

De la Tabla 7 se obtiene el coeficiente K:

Condición:

$$L = 3903.26 \text{ m} > 1500$$

$$K = 1.0$$

$$T_c = C + \frac{KLV}{gHm} = 1.0 + \frac{1.0 \times 3903.26 \times 1.49}{9.81 \times 34.22} = 18.28 \text{ s}$$

Tiempo de propagación de la Onda

Para el cálculo se utilizará la ecuación (22).

Donde:

$$L = 3903.26 \text{ m/s}$$

$$a = 1200.841 \text{ m/s}$$

$$T_p = \frac{2L}{a} = \frac{2 \times 3903.26}{1200.841} = 6.50 \text{ s}$$

De los resultados obtenidos de $T_c = 18.28 \text{ s}$ y $T_p = 6.50 \text{ s}$, se tiene que $T_c > T_p$, por lo tanto, en relación a la Tabla 8 se desprende que no ocurrirá Golpe de Ariete por ser un cierre de “Tipo Lento”.

Cálculo de la longitud Crítica

Para el cálculo se utilizará la ecuación (23).

Donde:

$$T_c = 18.28 \text{ s}$$

$$a = 1200.84 \text{ m/s}$$

$$L_c = \frac{aT_c}{2} = \frac{1200.84 \times 18.28}{2} = 10974.732 \text{ m}$$

Cálculo de Sobrepresión

De los resultados obtenidos de $L= 3903.26$ m, $L_c=10974.732$ m, se tiene que $L < L_c$, por lo tanto, en relación a la Tabla 9 se desprende que es una "Impulsión Corta" y "Cierre Lento".

Para el cálculo se utilizar la ecuación de Michaud.

Donde:

$$a = 1200.84 \text{ m/s}$$

$$V = 1.49 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h_{golpe} = \frac{aV}{g} = \frac{1200.84(1.49)}{9.81} = 65.694 \text{ m}$$

Cálculo de la Presión Máxima

Para el cálculo se determinará como la suma de la altura dinámica tota de la estación de bombeo y la sobrepresión en la impulsión.

Donde:

$$H_t = ADT = 34.22 \text{ m}$$

$$h_{golpe} = 65.69 \text{ m}$$

$$P_{max} = ADT + h_{golpe} = 98.91 \text{ m}$$

3.3.23 Cálculo de capacidad del sistema de tratamiento de olores

La elección correcta de un sistema de tratamiento de olores viene determinada por el volumen de aire requerido para su tratamiento y el número de revoluciones por hora a tratar.

En el caso del volumen requerido a tratar, para el dimensionamiento se consideró la sumatoria del volumen de la cámara húmeda sobre el nivel mínimo de agua y volumen de cámara de rejillas.

Respecto al número de renovaciones a tratar por hora, es un parámetro que indica la cantidad de veces de aire contaminado que se debe extraer de un ambiente cerrado (cámara húmeda y cámara de rejillas) en un determinado tiempo, de tal manera que se obtenga una mejora en la calidad de aire.

Según la norma NFPA 820 (1999) indica que el número de renovaciones por hora no debe ser menor a 6 (p.820-38).

El producto del volumen requerido total y el número de renovaciones por hora, da como resultado el caudal de aire a tratar en m^3/hr o su equivalencia en pie cúbico por minuto CFM, el cual se expresa mediante la ecuación (26):

$$Q = VT \left(\frac{N^{\circ}Rev}{hr} \right) \quad (26)$$

Donde:

VT = volumen total

Q = caudal; m^3/hr

$\frac{N^{\circ}Rev}{hr}$ = renovaciones por hora.

$$\text{Volumen de cámara de rejillas} = 20.29 \text{ m}^2 \times 6.70 \text{ m} = 135.94 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de cámara húmeda} = 23.93 \text{ m}^2 \times 10.58 \text{ m} = 253.18 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total (VT)} = 135.94 \text{ m}^3 + 253.18 \text{ m}^3 = 389.12 \text{ m}^3$$

$$Q = 389.12 \text{ m}^3 \times 6 \text{ rev/hr} = 2334.73 \text{ m}^3/\text{hr}$$

El equipamiento para el sistema de tratamiento de olores debe tener una capacidad mayor o igual a $2334.73 \text{ m}^3/\text{hr}$.

3.3.24 Dimensionamiento de rejas

La cámara de rejas estará conformada por un canal de aproximación por donde transcurrirá las aguas residuales antes del ingreso a la cámara húmeda, para el cribado de sólidos gruesos se proyectó una reja manual y para los sólidos finos se proyectó dos rejas mecánicas.

Canal de aproximación

El canal de aproximación se diseñó con los datos de la Tabla 30, teniendo en consideración un ancho de 1.00 m.

Tabla 30

Características del canal de aproximación

| | Caudal de contribución (l/s) | Ancho de canal (m) | Velocidad (m/s) | Tirante (m) |
|----------------|--|------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Máximo horario | 407.11 | 1.00 | 0.586 | 0.695 |
| Promedio | 226.70 | 1.00 | 0.507 | 0.447 |
| Mínimo | 115.09 | 1.00 | 0.424 | 0.271 |

Nota: Los datos de velocidad son obtenidos del diseño hidráulico de alcantarillado.

Reja manual

Las especificaciones consideradas para la reja manual se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Especificaciones de reja

| Especificaciones de la reja | |
|-------------------------------------|-------------|
| Espacio entre barras (e) | 50.00 mm |
| Espesor de la barra (s) | 5.00 mm |
| Forma de barras | Rectangular |
| Ancho total | 1 m |
| Grosor de marco | 0.25 |
| Coefficiente geométrico (β) | 0.84 |
| Angulo de inclinación (α) | 45° |
| Numero de barras (Nb) | 16 |

Se calculó la pérdida de carga de la reja manual y sus diferentes porcentajes de obstrucción con las siguientes formulas:

Velocidad de ingreso

$$V_o = \frac{V}{E} \quad (26)$$

Velocidad a través de rejas

$$V_r = \frac{V_o}{(100 - b)} \quad (27)$$

Perdida de carga

$$h = \frac{V_r^2 - V^2}{2g} \left(\frac{1}{0.7} \right) \quad (28)$$

Tirante aguas arriba

$$T' = h + T \quad (29)$$

Tabla 32*Pérdidas de carga en la reja manual*

| Factor de obstrucción (%) | Pérdida de carga (mm) | Pérdida de carga + tirante de agua (mm) | Velocidad entre la reja (m/s) |
|----------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------------|
| 0 | 6 | 708 | 0.584 |
| 10 | 15 | 711 | 0.652 |
| 20 | 25 | 725 | 0.738 |
| 30 | 36 | 738 | 0.832 |
| 50 | 98 | 795 | 1.171 |

Las rejas manuales presentan una velocidad de aproximación de 0.589 m/s y para un factor de obstrucción del 50% existirá una pérdida de carga de 0.098m.

Rejas mecánicas

Las características consideradas para el diseño de rejas mecánicas se presentan en la Tabla 33, teniendo en consideración que el porcentaje de obstrucción será del 40%.

Tabla 33*Características del diseño de reja mecánica*

| Características de diseño | |
|---|------------|
| Qmax horario (Q) | 407.00 l/s |
| Ancho de canal (B) | 1.00 m |
| Ancho de canal de rejas (br) | 0.778 m |
| Nivel de agua antes de la reja (hu) | 0.593 m |
| Velocidad del agua en el canal (vg) | 0.69 m/s |
| Tirante de agua frente a la reja | 601.00 mm |
| Perfil de barras | 8x5x60 mm |
| Pérdida de carga al 40% de obstrucción | <150 mm |
| Velocidad antes de las barras | < 1.5 m/s |

Tabla 34*Especificaciones de reja mecánica*

| Especificaciones de la reja | |
|-------------------------------------|----------|
| Espacio entre barras (e) | 20.00 mm |
| Espesor de la barra (s) | 8.00 mm |
| Coefficiente geométrico (β) | 0.84 |
| Angulo de inclinación (α) | 80° |

Se calculó la pérdida de carga de la reja y sus diferentes porcentajes de obstrucción con las siguientes formulas:

Eficiencia de las rejatas:

$$a_o = \frac{e}{s+e} \quad (30)$$

Velocidad entre la reja

$$Vr = \frac{Q}{(B)(h_o)(a_o)(1-b)} \text{sen}(\alpha) \quad (31)$$

Factor de obstrucción Z

$$Z = e - [Y_{netto}(e + s)] \quad (32)$$

Área del flujo relativo Ynetto

$$Y_{netto} = \frac{e}{s+e} - b \left(\frac{e}{e+s} \right) \quad (33)$$

Pérdida de carga

$$Deltah = \beta \left(\frac{s+z}{e-z} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{V_o^2}{2g} \right) \text{sen}(\alpha) \quad (34)$$

Altura total del agua

$$H_o = h_u + \Delta h \quad (35)$$

Velocidad en la reja

$$V_o = \frac{Q}{br(h_o)} \quad (36)$$

Se calculó la pérdida de carga para diferentes valores de obstrucción de la reja mecánica:

Tabla 35

Pérdidas de carga en las rejillas

| Factor de obstrucción (%) | Pérdida de carga (mm) | Pérdida de carga + tirante de agua (mm) | Velocidad entre la reja (m/s) |
|---------------------------|-----------------------|---|-------------------------------|
| 0 | 8 | 601 | 1.01 |
| 10 | 20 | 613 | 1.11 |
| 20 | 38 | 631 | 1.21 |
| 30 | 63 | 656 | 1.34 |
| 35 | 90 | 683 | 1.39 |
| 40 | 122 | 715 | 1.45 |

Capítulo 4 – Resultados y Discusión

4.1 Presentación, análisis e interpretación de resultados

El área disponible calculada para la construcción de la CBDP-01 es de 10693 m² en cual fue resultado de la inspección realizada en la CD-65, debido a que la proyección de cámara se encuentra dentro de las instalaciones de la CD-65 se priorizo utilizar al máximo el área en mención, siendo esta una primera consideración para el diseño, se añaden otras como la presencia de la capa freática a 1.5m y su construcción no mayor a los 13m de profundidad.

El tipo de cámara se determinó en relación a la clasificación presentada en la Tabla 3, es decir que es una cámara de tipo convencional por recibir caudales máximos de 407.11 l/s como se muestra en la Tabla 10. De lo expuesto se determinó que la CBDP-01 será de forma circular de 8 m de diámetro y un área de 23.93 m² para la cámara seca y de igual forma un área de 23.93 m² para la cámara húmeda.

Para determinar el volumen útil de la cámara húmeda se utilizó las ecuaciones 13, 14, 15, 16 y 17 que relacionan el tiempo de retención y el caudal máximo de ingreso, dando como resultado un volumen de 55.23 m³ y un caudal de bombeo de 449.22 l/s, en relación a ello se realizó un cálculo preliminar del volumen útil que dispondría la cámara húmeda bajo las consideraciones para el diseño presentadas en el ítem 3.3.1., como la cota de llegada de la tubería, la altura de la base de la cámara, nivel de sumergencia y borde libre y la profundidad máxima de 13 m como se observa en el esquema de la Figura 26. Del análisis se obtuvo un volumen útil de 43.79 m³, siendo este valor menor a lo calculado en un 20.72%. Bajo esta premisa se optó por calcular el volumen útil mínimo en relación a la frecuencia de arranques de la bomba seleccionada, y los niveles de encendido y apagado de las bombas conforme aumente o se reduzca el caudal de ingreso de aguas residuales durante el día. Para la el cálculo del volumen

mínimo previamente se tuvo que realizar los cálculos de pérdidas en el sistema para la selección de la bomba.

El caudal de bombeo se determinó como un factor de 1.05 del caudal máximo de contribución de desagüe dando como resultado de 427.47 l/s, siendo este valor menor en 4.84% al calculado de 449.22 l/s para un volumen de 55.23 m³. El caudal de bombeo máximo de 427.47 l/s no puede ser otorgado por una sola bomba ya que esto dispondría de un mayor costo energético en su operación y mantenimiento, así como también incurre en ocupar mayor tamaño. Por lo que se optó por plantear un funcionamiento paralelo y alternado de 3 bombas y una en reserva como se observa en la Tabla 11. El objetivo de la alternancia de las bombas se realiza para que todas las bombas tengan un desgaste igual durante su periodo de funcionamiento y la inclusión de la bomba en reserva en la alternancia se realizó para evitar el deterioro de la bomba en reserva al estar sin funcionamiento alguno.

Para el dimensionamiento de las tuberías de succión, descarga e impulsión se consideró caudal de diseño de 427.47 l/s como capacidad máxima de bombeo, cual es otorgado cuando funcionan 3 bombas de manera simultánea.

Para la selección de los diámetros de la tubería de succión y descarga se tomaron en consideración las velocidades recomendadas de la Tabla 4. En la Tabla 13 se muestra el análisis de las velocidades para un rango de diámetros internos de tubería de Acero Schedule 40 ASTM para un caudal de 142.49 l/s, el cual es la capacidad de bombeo de 1 solo equipo cuando funcionan 3 bombas de manera simultánea. Las velocidades presentadas en la Tabla 13 corresponden a los valores mínimos. Para la succión se seleccionó una tubería de diámetro nominal de 400mm ya que presenta una velocidad de 1.25 m/s, siendo este valor el más cercano a lo recomendado de 1.20 m/s en un 4% más, a comparación de las tuberías de 350mm y 450mm

que presentan una diferencia aproximada de 35% y 17% consecutivamente. Para la tubería de descarga se realizó el mismo análisis, teniendo como resultados una tubería de 300 mm con una diferencia de 9.4% de lo recomendado.

En la tubería de impulsión se realizó el mismo análisis que se aplicó para la selección de los diámetros de las tuberías de succión y descarga, pero en este caso el diámetro de la impulsión ya se encuentra seleccionada por estar ejecutada en toda su trayectoria, para lo cual en la Tabla 18 se realizó el análisis para la comprobación del cumplimiento de las velocidades recomendadas en una tubería de material Hierro Dúctil K9 y diámetro nominal de 600 mm, dando como resultados una velocidad máxima de 1.49 m/s, este valor es menor al valor recomendado de la Tabla 5 (1.7 m/s para 3 bombas) en un 12.35%, bajo ese análisis el diámetro de 600mm no estaría cumpliendo con lo recomendado en comparación de las velocidades máximas que presenta una tubería de 500mm que resulta ser mayor en 25.88%. De lo expuesto se eligió un diámetro de 600 mm por un enfoque de costos, ya que elegir la tubería de DN 500mm implica retirar toda la línea de impulsión de DN 600 ya ejecutada y reemplazarla. En el análisis de presión, la tubería de impulsión está sujeta a una ADT de 34.22 m y una carga de golpe de 65.694 m, el cual equivalen a un total de 98.91 m (9.77 bar) de carga, por lo tanto, esta carga representa solo el 27.13% de la capacidad máxima admisible de 36 bar para la tubería de Hierro Dúctil K9.

La curva característica del sistema se determinó en base a los datos de la Tabla 21, como longitudes, diámetro, material, accesorios del sistema de tubería, presión de salida 2.00 m el cual garantiza las pérdidas de carga no estimadas.

La selección del equipo de bombeo se determinó para un conjunto de 3 bombas en paralelo que tengan la capacidad de bombeo total de 427.47 l/s para altura manométrica de

34.219 m. Como resultado de la intersección de la curva característica de la bomba y del sistema, como se muestra en la Figura 30, se obtuvo una bomba con capacidad de bombeo de 141 l/s hasta los 210 l/s, los datos se encuentran detallados en la Tabla 25.

EL volumen útil final de la cámara húmeda se determinó con las capacidades de bombeo como se muestra en la Figura 31, y niveles de operación (arranque y parada) obteniendo como resultado un volumen de 28.716 m³.

Los niveles de operación presentados en la Tabla 26 se definieron en relación al resultado del cálculo del volumen útil final, además se tuvo en consideración un ΔH de 0.20 entre el encendido y apagado para garantizar el funcionamiento correcto del sensor de nivel.

El recalcu de los puntos de operación del sistema de bombeo, desarrollado en el ítem 3.3.16, se realizó con el objeto de obtener los caudales reales de operación considerando las alturas estáticas variables para cada escenario de funcionamiento, obteniendo como primer resultado una familia de 3 curvas características las cuales se interseccionaron las curvas características de las bombas, como se muestra en la Figura 33 y los nuevos puntos de operación en la Tabla 27.

En el análisis del tiempo de retención de la cámara húmeda se evaluó para un intervalo de caudales de ingreso, obteniendo como resultado valores mínimos de 2 minutos a 19 minutos aproximadamente, estos valores de tiempo de retención pueden ser ajustados de acuerdo a la configuración de niveles de operación, para el caso del presente trabajo se determinó a 19 minutos por el motivo que las aguas residuales en su trayectoria tiene un tiempo de retención adicional al ser provenientes de una red colectora de grandes contribuciones.

La capacidad del sistema de tratamiento de olores se determinó en relación al volumen ocupado por la cámara de rejillas y la cámara húmeda, obteniendo como resultado una capacidad no menor a 2334.73 m³/hr.

Para el diseño de las rejillas manuales y mecánicas se tuvo en consideración un porcentaje de obstrucción del 50% y 40% respectivamente, obteniendo como resultado la proyección de 1 reja manual para la remoción de sólidos gruesos y 2 rejillas mecánicas para la remoción de sólidos finos.

Niveles de funcionamiento de la CDBP-01 (arranque - parada)

| Ciclo | Nivel | Descripción |
|----------------------------|---|--|
| Subida o llenado de cámara | Fondo de cámara NF = - 8.25 | Ingresa el agua residual para el llenado de la cámara. Los motores se encuentran parados y el sistema de alarma de nivel mínimo se encuentra encendido |
| | Mínimo (Sumergencia) No= - 7.00 | Durante el llenado el nivel de agua se eleva hasta llegar al nivel mínimo y en consecuencia el sistema de control recibe la orden de apagar la alarma. |
| | Arranque Primera bomba N1 = - 6.20 | El nivel de agua sigue aumentando hasta llegar al nivel N1, en consecuencia, el sistema de control recibe la orden de encender la primera bomba. |
| | Arranque Segunda bomba N2 = -6.00 | El nivel de agua sigue aumentando hasta llegar al nivel N2, en consecuencia, el sistema de control recibe la orden de encender la segunda bomba. |
| | Arranque Tercera bomba N3 = - 5.80 | El nivel de agua sigue aumentando hasta llegar al nivel N3, en consecuencia, el sistema de control recibe la orden de encender la tercera bomba |
| | Emergencia NE = - 5.60 | El nivel de agua sigue aumentando hasta llegar al nivel NE, en consecuencia, el sistema de control recibe la orden de encender la alarma y el grupo electrógeno. |

| | | |
|---|---|--|
| Bajada o vaciado de cámara | Desconexión Primera bomba n3=-6.60 | Funcionan tres bombas y el nivel empieza a descender hasta llegar al nivel de parada n 3, el control envía una orden de apagar la primera bomba. |
| | Desconexión Segunda bomba n2=-6.80 | Funcionan dos bombas y el nivel empieza a descender hasta llegar al nivel de parada n 2, el control envía una orden de apagar la segunda bomba. |
| | Desconexión Tercera bomba n1=-7.00 | Funcionan una bomba y el nivel empieza a descender hasta llegar al nivel de parada n 1, el control envía una orden de apagar la tercera bomba. |

Conclusiones

- Se realizó el diseño hidráulico de la CBDP-01, el cual está conformado por una cámara seca para la instalación de 4 bombas idénticas sumergibles con funcionamiento paralelo y una cámara húmeda de volumen útil $28.716 m^3$.
- El cálculo del volumen útil depende en gran relevancia de los caudales de contribución de desagüe, el caudal a bombear y tiempo de retención, frecuencia de arranques máximo del equipo de bombeo, entre otros, en razón a esos parámetros se define el volumen útil mínimo de la cámara húmeda, selección de los equipos de bombeo, sistema de operación paralelo y alternado, niveles de arranque y parada, todo ello para no incurrir en un sobredimensionamiento.
- Se dimensiono y se realizó el análisis del diámetro de la impulsión teniendo como resultado que la tubería de Hierro Dúctil K9 DN 600 cumple con las velocidades recomendadas el cual debe ser lo suficientemente alta para transportar los sólidos por la tubería de impulsión a caudales mínimos, pero sin la necesidad de que la velocidad alta aumente las pérdidas por fricción, se calculó una velocidad mínima de 0.68 m/s y velocidad máxima de 1.47 m/s, el cual es mayor que 0.6 m/s para poder mantener los sólidos en suspensión y aproximado a 1.50 m/s como para poder arrastrar los sólidos que pudieron haberse sedimentado, de la misma manera se analizó que la sobrepresión por golpe de la tubería representa el 27.13% de la capacidad máxima admisible del material.
- Se determinó la curva característica del sistema y de la bomba seleccionada, así mismo se obtuvo los puntos de trabajo para los 3 escenarios de funcionamiento de 1 bomba y paralelo de 2 y 3 bombas. Además, se concluye que las capacidades de las bombas no

equivalen al doble cuando trabajan dos equipos de bombeo a la vez y de la misma manera para el caso del funcionamiento de 3 equipos de bombeo.

- Se seleccionó 3 bombas idénticas y una en reserva de tipo sumergible centrífuga de 1 etapa, con capacidad de bombeo mínimo de 141.00 l/s y máxima de 194.80 l/s cada una y una eficiencia conjunta del 65.4% y potencia de 210.6 Kw y frecuencia de 60Hz., las cuales funcionarán de manera independiente y/o conjunta de acuerdo al comportamiento del caudal de ingreso y alternado para asignar el gasto mecánico de manera equitativa.
- Se determinó 6 niveles de funcionamiento con una variación de 0.20 m entre el nivel de encendido y apagado, las cuales se presentan en la Tabla 26, dando como resultado un volumen útil 28.71m^3 , el cual representa el 52% del volumen útil calculado preliminarmente.
- Se calculó la capacidad requerida para el equipamiento de tratamiento de olores, el cual debe ser mayor o igual a $2878\text{m}^3/\text{hr}$, el cual resulta necesario este sistema de tratamiento ya que la ubicación de la CBDP-01 está en una zona urbana.
- Se realizó los cálculos para la implementación de 1 rejas manual y 2 rejas mecánicas, con una obstrucción máxima de 50% y 40% respectivamente.

Recomendaciones

Teniendo en consideración que la disponibilidad del área para la reubicación de la cámara de bombeo es un parámetro importante para determinar la capacidad de la cámara húmeda, se recomienda la evaluación y análisis de adoptar una geometría no convencional de manera que se pueda aprovechar toda el área que se disponga.

El sistema de funcionamiento alternado de las bombas impulsara caudales de acuerdo al comportamiento del caudal de contribución de aguas residuales, se recomienda analizar los resultados tanto hidráulicos, estructurales y costos de mantenimiento y operación al utilizar bombas con velocidad variable.

Bibliografía

- Corredor Santos, J.C., (2014). *Hoja de cálculo programada para el diseño de una estación de bombeo de agua residual con base de datos de bombas sumergibles*. [Trabajo de grado – Especialización, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito].
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/86>
- Huamani Huaytalla, L.A., (2015). *Diseño e implementación de una estación de bombeo de aguas residuales para la urbanización Sol de Huampaní V Etapa - Chosica*. [Trabajo de Investigación y Suficiencia IM, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur].
<https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/465>
- Pino Tarrago, J.L, Quimis Abad, D.M., (2022). *Propuesta de procedimiento para el diseño de estaciones de bombeo de aguas residuales*. [Trabajo de tesis – Facultad de Ciencias Técnicas Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Estatal del Sur de Manabi].
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3622>
- Garrido Ccencho, L.E., Huaman Antonio, F.N., (2022). *Análisis Hidráulico para el Rediseño de la Cámara de Bombeo de aguas Residuales del Sector Galagarza, Ica – 2021*. [Trabajo de tesis – Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/86134>
- Valdivia, P. (2011). *Estaciones de bombeo de aguas residuales*.
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/instalaciones-sanitarias/estaciones-de-bombeo-resumen-instalaciones-sanitarias/5468277>
- Tian, J., Cheng, J. y Gong, Y. (2018) *Optimization of municipal pressure pumping station layout and sewage pipe network design*. *Engineering Optimization*, 50(3), 537-547.
<https://doi.org/10.1080/0305215X.2017.1327580>
- Orihuela, J. y Sanchez, N. (2016). Ingenium. *Diseño estructural de tanques rectangulares y sus aplicaciones*, 1(2), 11-23. <http://dx.doi.org/10.18259/ing.2016009>
- Metcalf & Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo*. McGraw-Hill.
- Grundfos. (s.f.). *Manual de bombeo de aguas residuales*. Madrid.
- Flygt. (2015). *Desing Recommendations, for Pump Station whith Midrange Centrifugal Flygt Wastewater*, Xylem Inc.
- Valeriano Ormeño, M. A. (s.f.). *Bombas, compresores y ventiladores, modulo I: bombas centrifugas*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos aplicada*. México. Pearson Educación.

- Viejo Zubicaray, Manuel (2002). *Bombas; teoría, diseño y aplicaciones*. México. Limusa.
- Quimis Abad, D. M. (2022) *Propuesta de procedimiento para el diseño de estaciones de bombeo de aguas residuales*. [Proyecto de Titulación, Universidad Estatal del Sur de Manabí].
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3622>
- Almandoz Berrondo, J., Mongelos Oquiñena, M.B. y Pellejero Salaberria, I. (2007) *Apuntes de Maquinas Hidráulicas*. España, Guipúzcoa, Escuela Universitaria Politécnica, Departamento de ingeniería nuclear y Mecánica de fluidos.
- KSB Chile S.A. (2001). *Manual de entrenamiento*.
<https://www.hidroterm.com.ve/documentacion/catalogo%20general%20ksb/Bomba%20ksb%20%20MANUAL%20ENTRENAMIENTO.pdf>
- Totocayo Huarilloclla, E., (2021). *Análisis y diseño, de la cámara de bombeo para la evacuación de las aguas residuales, residencial Perlas del Altiplano Juliaca - 2021*. [Tesis para obtener título profesional– Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/60437>
- Azevedo Neto, M.F. (1998). *Manual de Hidráulica*. São Paulo, Edigar Blucher.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (s.f.). *Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales* (Norma OS. 080).
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366381/24%20OS.080%20ESTACIONES%20DE%20BOMBEO%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf?v=1636056203>
- Reglamento Nacional de Edificaciones (s.f.). *Captación y conducción de agua para consumo humano* (Norma OS. 010).
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2365641/17%20OS.010%20CAPTACION%20Y%20CONDUCCION%20DE%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANOS.pdf?v=1636052606>
- NFPA (1999). *Standard for Fire Protection in wastewater treatment and collection facilities* (NFPA 820). <https://es.scribd.com/document/398168807/NFPA-820-1999>
- UNATSABAR (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de aguas potable*.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b%20Guia%20dise%C3%B1o%20de%20bombeo.pdf

Anexos

ESPECIFICACIONES TECNICAS

GRUNDFOS

Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/11/2022

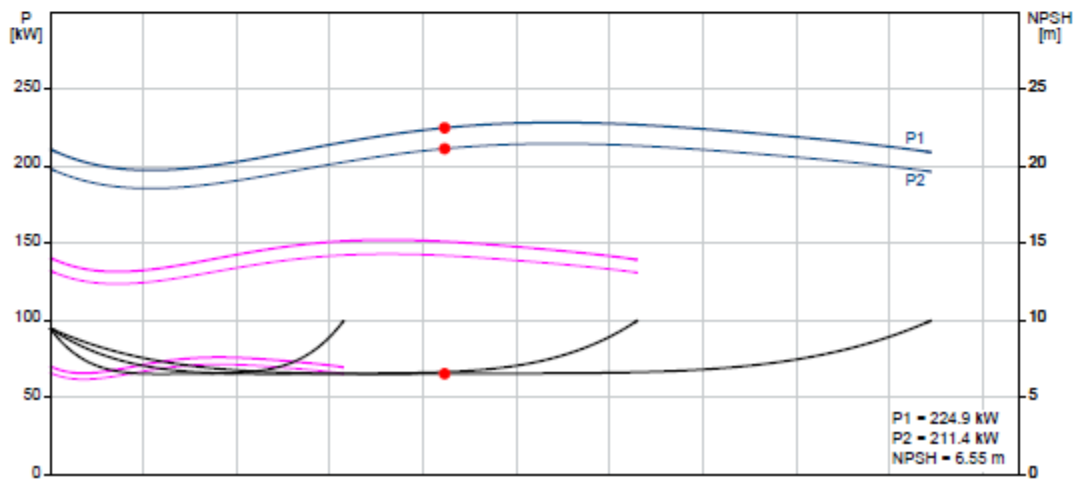
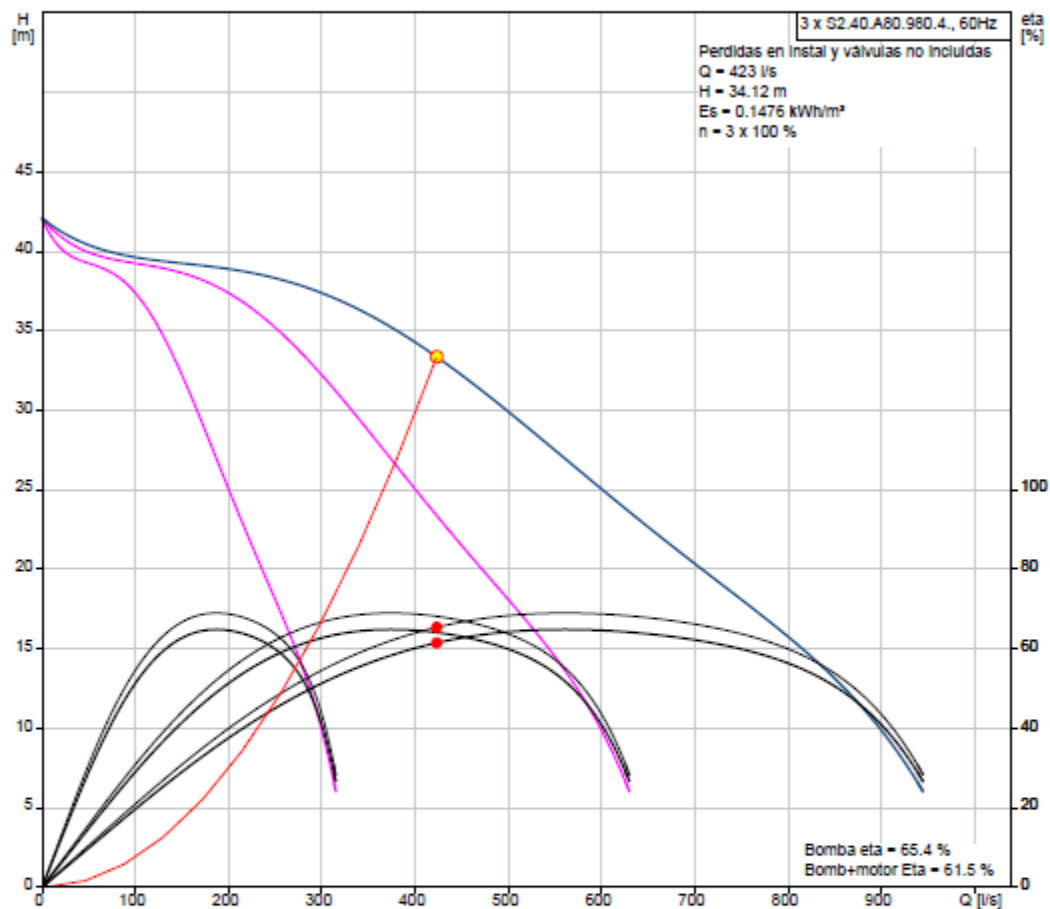
| Contar | Descripción |
|--------|--|
| 1 | <p>S2.40.A80.980.4.66M.C.301.G.EX.D.611</p>  <p>Advertir la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: 97708932</p> <p>Bomba centrífuga de una etapa, no autocebante, diseñada específicamente para la gestión de aguas residuales, aguas de proceso y aguas fecales sin filtrar.</p> <p>La bomba está diseñada para el funcionamiento intermitente y continuo. La camisa de refrigeración garantiza que la bomba pueda funcionar sumergida o instalarse en seco sin que el motor precise refrigeración complementaria. El impulsor de dos canales admite sólidos de 100 mm de tamaño máximo.</p> <p>El sistema de ajuste de la holgura del impulsor SmartTrim permite maximizar el rendimiento a todo lo largo de la vida útil de la bomba.</p> <p>Con el fin de facilitar el transporte y la instalación in situ, la bomba está equipada con un resistente soporte de izado. En instalaciones con autoacoplamiento, el sistema de juntas SmartSeal de Grundfos permite disfrutar de una conexión a prueba de fugas. La conexión de las tuberías se lleva a cabo empleando bridas ANSI. La bomba cuenta con diseño a prueba de explosión.</p> <p>Paneles control:</p> <p>Sensor de humedad: Y Detector de agua en aceite: Y</p> <p>Líquido:</p> <p>Líquido bombeado: Cualquier líquido viscoso Rango de temperatura del líquido: 0 .. 40 °C Densidad: 998.2 kg/m³</p> <p>Técnico:</p> <p>Caudal real calculado: Caudal máx.: 315 l/s Altura resultante de la bomba: m Diámetro real del impulsor: 301 mm Tipo de impulsor: 2-CHANNEL Diámetro máximo de las partículas: 100 mm Cierre primario: SIC-SIC Homologaciones en placa de características: FM Tolerancia de curva: ANSI/HI11.6:2017 3B</p> <p>Materiales:</p> <p>Carcasa de la bomba: Cast iron EN 1561 EN-GJL-250 AISI A48 30</p> <p>Impulsor: Ductile cast iron EN 1563 EN-GJS-500-7 AISI 80-55-06</p> <p>Motor: Cast iron EN 1561 EN-GJL-250 AISI A48 30</p> <p>Instalación:</p> <p>Rango de temperaturas ambientes: -20 .. 40 °C Tipo de conexión: ANSI</p> |



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

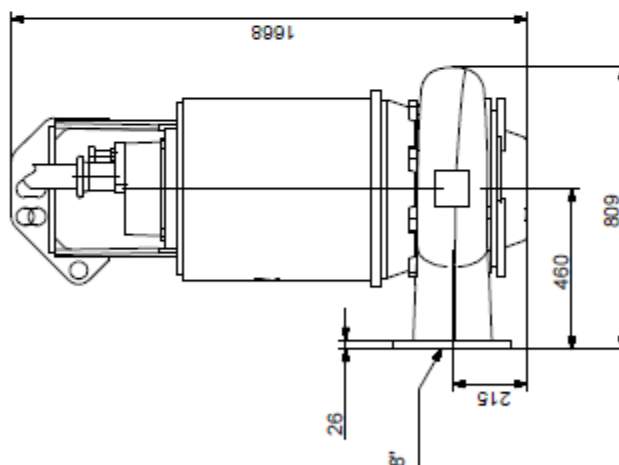
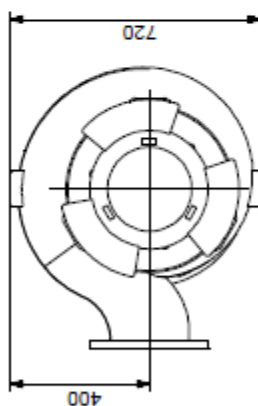
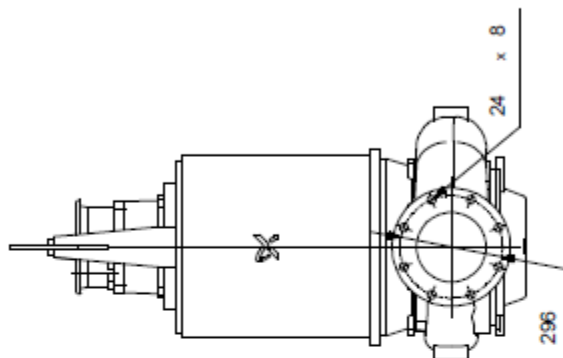
Datos: 17/11/2022

97708932 S2.40.A80.980.4.66M.C.301.G.EX.D.611 60 Hz



GRUNDFOS Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/11/2022

97708932 S2.40.A80.980.4.66M.C.301.G.EX.D.611 60 Hz

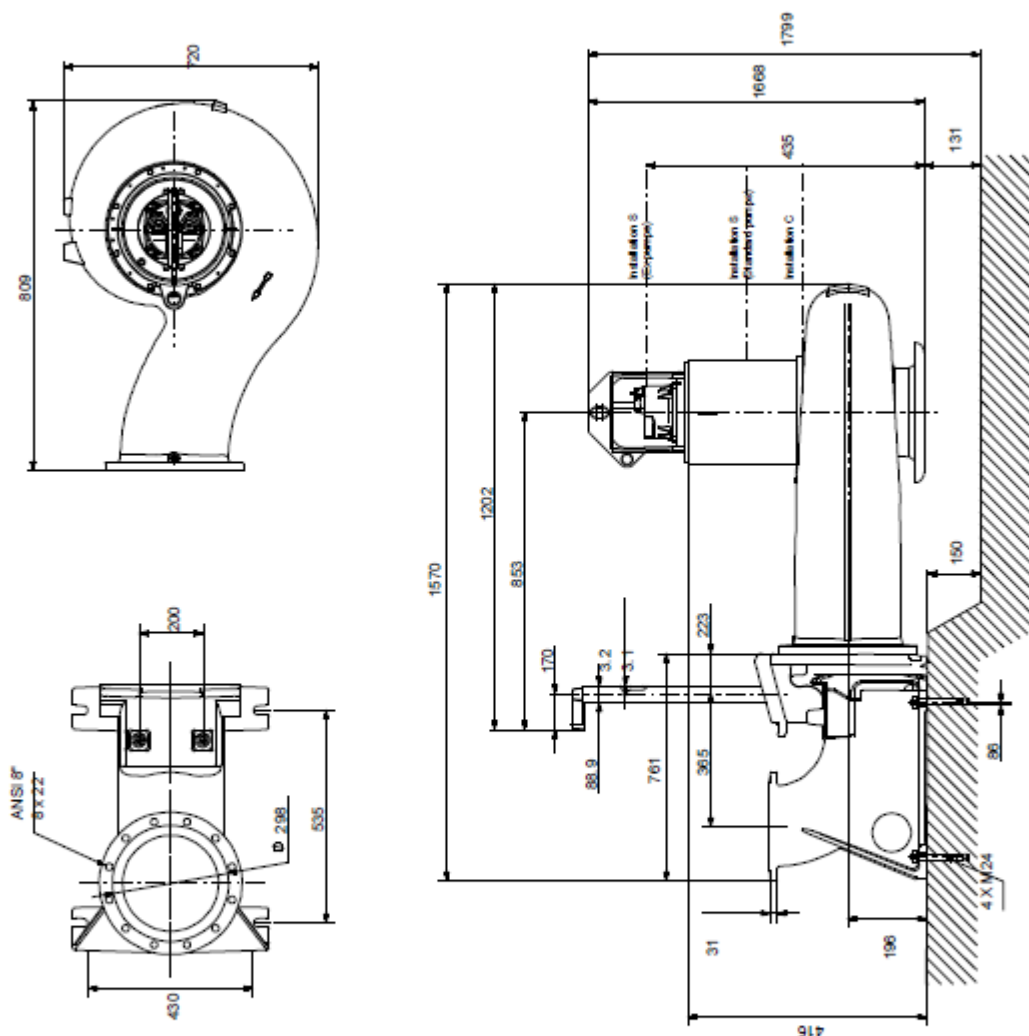
Nota: todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 17/11/2022

97708932 S2.40.A80.980.4.66M.C.301.G.EX.D.611 60 Hz



Nota: todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

| Berechnung der Hydraulik für RakeMax J: Hydraulic proof for RakeMax J: 8960_775_20_80° | | Datum / Date: 16/03/2021 | |
|--|---|-----------------------------------|--|
| Projekt / Project: CBD 65 Chorrillos | | | |
| Gegobene Daten / Given data: | | | |
| Abwassermenge / flow rate | Q | 407 | [l/sec.] |
| Gerinnebreite / channel width | bgerinne | 1000 | [mm] |
| Rechenrostbreite / selected screen width | br | 775 | [mm] |
| Wasserspiegel nach Rechen / water level behind screen | hu | 593 | [mm] |
| Fließgeschw. im Gerinne / flow velocity in channel | vg | 0.69 | [m/sec.] |
| Rechenspezifische Angaben / Specific screen data: | | | |
| Spaltabstand / bar spacing | e | 20 | [mm] |
| Stabdicke / bar thickness | s | 8 | *[mm] |
| Formgeometriebeiwert für Rechenstab / geometry coefficient | bar β | 0.84 | *[-] |
| Aufstellwinkel / installation angle | α | 75 | [°] |
| Berechnungsgrundlagen / calculation basis: | | | |
| Freiflächfaktor / free surface factor | α₀ = e/(s+e) | 71.4 | [%] |
| Geschw. im Rechenspalt / flow velocity between slots | vr = Q/(br*ho*α₀*(1-b))*sin(alpha) | | |
| Belegungszuschlag / blinding factor z | z = e - ynetto*(e+s) | | |
| Relative Strömungsfläche / relative flowarea | y netto = e/(s+e)-b*e/(s+e) | | |
| Höhenverlust / head loss | delta h = beta*((s+z)/(e-z))^4/3*sin(alpha)* vo^2/2*g | | |
| Oberstrom / upstream head | ho = hu + delta h | | |
| Fließgeschw. im Rechen / velocity in the screen | vo = Q/(br*ho) | | |
| Abfiltrierbare Stoffe (AS) nach DIN 38409-2/ Suspended solids (TSS) according DIN 38409-2: 300- 500 mg/l | | | |
| | | | |
| Berechnete Daten / Calculated data: | | | |
| Belegung / blinding b | delta h / head loss | Oberstrom-höhe / upstream head ho | Fließgeschw. im Rechenspalt / flow velocity between slots vr |
| [%] | [mm] | [mm] | [m/sec.] |
| 0 | 8 | 601 | 1.01 |
| 10 | 20 | 613 | 1.11 |
| 20 | 38 | 631 | 1.21 |
| 30 | 63 | 656 | 1.34 |
| 35 | 90 | 683 | 1.39 |
| 40 | 122 | 715 | 1.45 |

PLANOS HIDRAULICOS