



**UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA**

POWERED BY **Arizona State University**

**UNIVERSIDAD LATINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE LA  
INFORMACIÓN**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA REUBICACIÓN Y  
PROPUESTAS DE DISEÑO PRELIMINARES PARA LA ESTACIÓN DE  
BOMBEO DE HEREDIA N°26 DEL PROYECTO DE SANEAMIENTO  
AMBIENTAL DE HEREDIA**

**Sustentante:**

**Aarón Josué Mata Umaña**

**Tutor:**

**MSc. Leonardo Moya González**

**Área del Proyecto:**

**Ingeniería Hidráulica y Sanitaria**

**Heredia – Costa Rica**

**5/05/2021**



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "*Alternativas Para la Reubicación y Propuestas de Diseño Preliminares Para la Estación de Bombeo de Heredia N.º26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia*", por el (la) estudiante: Aarón Josué Mata Umaña, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

---

Leonardo Moya González

Tutor

---

Alberto González Solera

Lector

---

Ronald Jiménez Castro

Representante



COMITÉ ASESOR

---

Ing. Leonardo Moya González

Tutor

---

Ing. Alberto González Solera

Lector

---

Ing. Ronald Jiménez Castro

Representante

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia, 30 de abril del 2021

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA REUBICACIÓN Y PROPUESTAS DE DISEÑO PRELIMINARES PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HEREDIA N.º 26 DEL PROYECTO DE SANEAMIENTO AMBIENTAL DE HEREDIA**, elaborado por el estudiante: Aarón Josué Mata Umaña, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

**LEONARDO  
MOYA  
GONZALEZ  
(FIRMA)**



Firmado digitalmente por LEONARDO MOYA GONZALEZ (FIRMA)  
DN: SERIALNUMBER=09-01-0488-0481, SN=MOYA GONZALEZ G=LEONARDO, CN=PERSONA FISICA, OU=QUEDANDO, CN=LEONARDO MOYA GONZALEZ (FIRMA)  
Razón: Soy el autor de este documento  
Ubicación: la ubicación de su firma es así  
Fecha: 2021.04.30 14:53:15-0600  
Font Reader Version 10.1.3

Ing. Leonardo Moya González

104060491

**CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE  
GRADUACIÓN**

Heredia, 4 de mayo de 2021

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA REUBICACIÓN Y PROPUESTAS DE DISEÑO PRELIMINARES PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HEREDIA N.º26 DEL PROYECTO DE SANEAMIENTO AMBIENTAL DE HEREDIA**, elaborado por el (los) estudiante (s): Aarón Josué Mata Umaña ,como requisito para que el (los) citado (s) estudiante (s) puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

**ALBERTO  
GONZALEZ  
SOLERA (FIRMA)**

Firmado digitalmente  
por ALBERTO GONZALEZ  
SOLERA (FIRMA)  
Fecha: 2021.05.05  
18:33:10 -06'00'

---

**Esp. Ing. Alberto González Solera**  
**IC-16251**  
**Consultor Ambiental CI-232-2015-SETENA**  
**Fiscal de Inversión CFIA/ Perito Poder Judicial.**

## CARTA DE APROBACIÓN DEL FILÓLOGO

San José, viernes 7 de mayo de 2021

Señores

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

Facultad de Ingenierías y Tecnologías de Información

Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores:

Yo, Edin Mauricio Buzano Barrantes, en mi condición de filólogo graduado en la Universidad de Costa Rica, certifico que leí y corregí el Proyecto de Graduación denominado: **“ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA REUBICACIÓN Y PROPUESTAS DE DISEÑO PRELIMINARES PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HEREDIA N°26 DEL PROYECTO DE SANEAMIENTO AMBIENTAL DE HEREDIA”**, el cual fue elaborado por el estudiante **Aarón Josué Mata Umaña**, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de **Licenciatura en Ingeniería Civil**.

Se hizo la corrección del trabajo en aspectos tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, concordancia, coherencia, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, por lo tanto, desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como Proyecto de Graduación, por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones solicitadas, quedando de conformidad con lo pactado.

Suscribe de ustedes cordialmente,

EDIN MAURICIO  
BUZANO  
BARRANTES  
(FIRMA)

Firmado digitalmente  
por EDIN MAURICIO  
BUZANO BARRANTES  
(FIRMA)  
Fecha: 2021.05.07  
11:45:10 -06'00'

Lic. Edin Mauricio Buzano Barrantes

No. de adscripción a COLYPRO 0502760638

## **“Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”**

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

---

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

**Mata Umaña, Aarón Josué**

De la Carrera / Programa:

autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

**Licenciatura en Ingeniería Civil**

**Aarón Mata Umaña**

**Análisis de Alternativas para la Reubicación y Propuestas de Diseño Preliminares para la Estación de Bombeo de Heredia N.º26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia**

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) **miércoles, 5** del mes **mayo** de año **2021** a las **4:00 pm**. Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:



4-238-193

## Resumen

En el presente proyecto final de graduación, se procura prestar conocimiento ingenieril para el análisis de alternativas para la reubicación y propuesta de diseño preliminar de la estación de bombeo de Heredia N.º26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, ubicada en el distrito de Ulloa en el cantón de Heredia.

El diseño mecánico y civil se rige a partir de la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial (AyA), tomando en cuenta las normas del American Society of Mechanical Engineers (ASME) para el diseño de bombas sumergibles y su análisis respectivo. La selección de la bomba sumergible Flygt NP 3127 SH 3 se realiza por medio de las curvas de rendimiento y cuadro de especificaciones que brinda la compañía Flygt, la cual fabrica y ofrece este tipo de productos. Es importante recalcar que, para este diseño, se cuenta con un caudal (Q) de 11.7 L/s brindado por la ESPH S.A. y los cálculos realizados son revisados por un ingeniero mecánico.

Implementando la Norma 318-19 del ACI, el Código de Cimentaciones de Costa Rica y el Código de Sísmico de Costa Rica 2010, entre otras fuentes de información, como libros de texto, se pretende efectuar una propuesta de los principales componentes estructurales con base en la carga estimada para la estación de bombeo de Heredia N.º26. El estudio de suelos fue realizado por la empresa GEOM SA y brindado por la ESPH S.A., y se utiliza como base para el diseño.

Para el desarrollo del proyecto, se cuenta con 4 alternativas de reubicación dentro de la misma Urbanización Inmaculada Concepción, donde la alternativa 2 es el terreno que la ESPH S.A. disponía para el desarrollo del proyecto. Sin embargo, se evalúa como una de las alternativas para así compararla con el resto de las opciones por medio de la matriz multicriterios, la cual valora aspectos técnicos, legales, sociales y ambientales; dicha matriz se justifica por medio de una matriz de puntaje para la evaluación de criterios de la estación de bombeo N.º26. Posteriormente, las alternativas se ubican dentro de un cuadro de priorización de alternativas con su respectivo puntaje.

Por último, una vez culminados los diseños, éstos se entregan los planos respectivos a los ingenieros de DAID (Dirección de Apoyo de Investigación y Desarrollo) de la ESPH S.A, para que éstos sean evaluados con criterios profesionales y se puedan considerar para el desarrollo final del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia.

## Abstract

In this final graduation project, the aim is to provide engineering knowledge for the analysis of alternatives for the relocation and preliminary design proposal of the pumping station of Heredia No. 26 of the Heredia Environmental Sanitation Project; located in the district of Ulloa in the canton of Heredia.

The mechanical and civil design is governed by the Technical Standard for Design and Construction of Drinking Water Supply, Sanitation and Stormwater Systems (AyA), considering the standards of the American Society of Mechanical Engineers (ASME) for the design of submersible pumps and their respective analysis. The selection of the Flygt NP 3127 SH 3 submersible pump is made through the performance curves and specification chart provided by the Flygt company which manufactures and offers this type of product. It is important to emphasize that for this design there is a flow (Q) of 11.7 L / s provided by ESPH S.A. and the calculations made are reviewed by a mechanical engineer.

Implementing ACI Standard 318-19, Costa Rica Foundations Code and Costa Rica Seismic Code 2010, among other sources of information such as textbooks, it is intended to make a proposal of the main structural components based on the estimated load for the pumping station of Heredia No. 26, the soil study was carried out by the company GEOM SA and provided by ESPH S.A. and this is used as a basis for the design.

For the development of the project, there are 4 relocation alternatives within the Inmaculada Concepción Urbanization itself, where alternative 2 is the land that ESPH S.A. had available for the development of the project, however it is evaluated as one of the alternatives to do so with the rest of options through the multi-criteria matrix which assesses technical, legal, social and environmental aspects; Said matrix is justified by means of a scoring matrix for the evaluation of criteria of pumping station No. 26, subsequently the alternatives are located within a table of prioritization of alternatives with their respective scores.

Finally, once the designs are completed, the selected plans are delivered to the engineers of DAID (Directorate of Research and Development Support) of ESPH S.A., so that they are evaluated with professional criteria and can be considered for final development. of the Heredia Environmental Sanitation Project.

## **Agradecimientos**

A mi tutor MSc. Leonardo Moya González, quien fue parte fundamental para el desarrollo de este proyecto de graduación por sus conocimientos y sabiduría, pues me supo guiar en toda esta travesía para lograr los resultados esperados.

A la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, en especial, al Departamento de Dirección de Apoyo de Investigación y Desarrollo, por darme la mano a pesar de la pandemia de la COVID-19 y brindarme los recursos necesarios para desarrollar dicho proyecto de graduación. Además, al director de DAID MSc. Pablo Soto Ortega y a los ingenieros de dicho departamento, quienes fueron fundamentales: MSc. José Daniel Quesada Rojas y MSc. Adriana Sancho Porras, por todos los aportes profesionales brindados y consejos para seguir adelante.

A mis profesores de la Universidad Latina, los cuales fueron parte esencial en mi educación como ingeniero civil, pues cada lección valió la pena. Seguidamente, a mis compañeros de universidad, por todos los conocimientos y vivencias compartidas, en especial a Dylana Araya Mendoza, Jefry Artavia y Leo Hernández Loaiza, puesto que, a pesar de los obstáculos, pudimos salir adelante como grupo.

A Dios, primordialmente, por permitirme cumplir la meta de ser ingeniero civil y no permitir que me rindiera.

A mi madre Marlene Umaña Corrales y a mi Miguel Mata Durán, quienes son los pilares de fundamentales de mi vida y mi mayor motivación. Gracias a su gran esfuerzo y trabajo, termino una etapa de muchas. Asimismo, a mis hermanas Joselyn Mata Umaña y Valeria Mata Umaña, y a mi hermano Luis Miguel Mata Umaña, por estar a mi lado durante todo este proceso. También, a mi sobrina Aurora Fernández Mata, quien siempre tiene una sonrisa que me da energías para seguir adelante y superarme cada vez más. Igualmente, a los miembros de familia que, de una u otra forma, me apoyaron durante todo este recorrido.

En fin, agradezco a mis amigos más cercanos por darme palabras de aliento cuando más las necesite y por haber estado en los momentos más difíciles.

## **Dedicatorias**

A mi madre Marlene Umaña Corrales y a mi padre Miguel Mata Durán, de todo corazón, por haberme dado la oportunidad de estudiar esta grandiosa carrera y por haber estado conmigo desde el inicio hasta el final. Gracias a ustedes, conozco el camino de la superación y nunca bajar la cabeza pese a las adversidades.

A mis hermanos y a mi sobrina, que siempre estuvieron presentes para mí en las buenas y en las malas, y por ser parte de felicidad y motivación diaria.

## Tabla de contenidos

1	CAPÍTULO I.....	1
1.1	Introducción .....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Objetivos .....	4
1.3.1	Objetivo general .....	4
1.3.2	Objetivos específicos.....	5
1.4	Justificación.....	5
1.5	Alcances y limitaciones.....	6
1.5.1	Alcances .....	6
1.5.2	Limitaciones .....	7
1.6	Impacto.....	8
1.7	Ubicación del proyecto .....	9
1.8	Hipótesis.....	9
2	CAPÍTULO II.....	10
2.1	Marco teórico .....	10
2.2	Agua potable .....	11
2.2.1	Operadores de servicios de agua potable.....	12
2.3	Niveles de control para la calidad del agua.....	14
2.4	Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia.....	15
2.5	Aguas residuales.....	16
2.6	Tratamiento de aguas residuales .....	21
2.7	Sistema de alcantarillado de aguas residuales.....	22
2.7.1	Tratamiento.....	22
2.7.2	Disposición .....	26

2.7.3	Recolección .....	27
2.8	Estación de bombeo .....	33
2.8.1	Tipos de estaciones de bombeo .....	35
2.9	Métodos de instalación.....	35
2.9.1	Estación superficial .....	36
2.9.2	Estación subterránea.....	39
2.10	Datos preliminares de diseño.....	41
2.10.1	Parámetros mecánicos .....	41
2.10.2	Diseño estructural.....	52
2.11	Estudio de prefactibilidad técnica .....	54
2.12	Análisis de riesgos por medio de matriz multicriterio.....	56
3	CAPÍTULO III .....	57
3.1	Marco metodológico .....	57
3.2	Enfoque y método de la investigación .....	57
3.2.1	Enfoque mixto .....	58
3.3	Población y muestra .....	58
3.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	59
3.4.1	Análisis de datos.....	59
3.4.2	Procesamiento de los datos.....	60
4	Análisis de resultados .....	77
4.1	Diseños preliminares.....	77
4.1.1	Estructural.....	77
4.1.2	Mecánico y civil .....	85
4.2	Análisis de prefactibilidad.....	94
4.2.1	Alternativas de reubicación.....	94

4.2.2	Entrevista a profesionales de la ESPH S.A .....	95
4.2.3	Matriz multicriterios .....	99
4.3	Presupuesto preliminar de costos .....	101
4.4	Mantenimiento .....	105
5	Conclusiones.....	107
6	Recomendaciones .....	108
7	Referencias bibliográficas .....	110
8	Anexos .....	117
9	Glosario .....	168

## Índice de tablas

Tabla 1. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en alcantarillado sanitario .....	20
Tabla 2. Tipos de organismos y cantidad presentes en las aguas residuales domiciliarias	21
Tabla 3. Características de los principales niveles de tratamientos .....	24
Tabla 4. Criterios de instalación para pozos de registro .....	30
Tabla 5. Dimensiones para pozos de concreto reforzado.....	30
Tabla 6. Diámetro interno del pozo de registro según la tubería de salida .....	30
Tabla 7. Número de arranques por hora según la potencia nominal de los motores.....	42
Tabla 8. Coeficiente C para la ecuación de Hazen-Williams.....	45
Tabla 9. Presión atmosférica a distintas alturas .....	50
Tabla 10. Presión de vapor del agua .....	50
Tabla 11. Ejemplo de matriz multicriterios, Estación de Bombeo 04 .....	56
Tabla 12. Cuadro de variables.....	58
Tabla 13. Caudales de bombeo ( $Q_{BE}$ ) del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia .....	75
<hr style="border-top: 1px dotted black;"/>	
Tabla 14. Resumen muro tipo M1.....	80
Tabla 15. Propuestas de acero para los muros M1 .....	80
Tabla 16. Propuestas de acero para los muros M2.....	81
Tabla 17. Propuesta de acero para las vigas tipo V1.....	82
Tabla 18. Propuestas de acero para las vigas tipo V2.....	82
Tabla 19. Categorización de análisis cualitativo.....	96
Tabla 20. Matriz de evaluación y selección de terrenos para la EBHE26.....	100
Tabla 21. Matriz de puntaje para la evaluación de aspectos para la estación de bombeo .....	100
<hr style="border-top: 1px dotted black;"/>	
Tabla 22. Cuadro de priorización de alternativas.....	101
Tabla 23. Presupuesto de la obra.....	103
Tabla 24. Presupuesto de obra .....	104
Tabla 25. Presupuesto de obra .....	104

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación del proyecto, Urbanización Inmaculada Concepción .....	9
Ilustración 2. Mapa estaciones de bombeo de Heredia .....	9
Ilustración 3. Tornillo de Arquímedes .....	10
Ilustración 4. Bomba de vapor .....	11
Ilustración 5. Logo ESPH S.A. ....	12
Ilustración 6. Logo AyA .....	13
Ilustración 7. Municipalidad de Heredia.....	13
Ilustración 8. ASADA Santa Rosa de Oreamuno de Cartago.....	14
Ilustración 9. Excavación para alcantarillado sanitario.....	16
Ilustración 10. Esquema del tratamiento de aguas residuales .....	23
Ilustración 11. Tubería de conducción o emisaria .....	26
Ilustración 12. Punto de descarga de las aguas tratadas.....	27
Ilustración 13. Prevista generada por el ente operador del servicio de alcantarillado sanitario.....	27
Ilustración 14. Caja de registro .....	28
Ilustración 15. Red de alcantarillado sanitario.....	29
Ilustración 16. Viviendas con servicio de alcantarillado por cantón .....	29
Ilustración 17. Pozo de registro.....	31
Ilustración 18. Subcolector.....	31
Ilustración 19. Colector principal.....	32
Ilustración 20. Tubo emisario .....	32
Ilustración 21. Bomba sumergible .....	33
Ilustración 22. Clasificación de bombas y fuentes de energía .....	37
Ilustración 23. Estación de bombeo superficial .....	39
Ilustración 24. Estación de bombeo subterránea.....	40
Ilustración 25. Valores de coeficiente K de pérdida para curvas compuestas. ....	46
Ilustración 26. Esquemización de la carga estática. ....	47
Ilustración 27. Gráfico de eficiencia de una bomba.....	48
Ilustración 28. Gráfico de rendimientos para una línea de bombas .....	51
Ilustración 29. Gráfico para la elección de bombas .....	51

Ilustración 30. Campos para el análisis de prefactibilidad.....	55
Ilustración 31. Esquema de bombeo .....	76
Ilustración 32. Dimensiones de los muros del cárcamo de bombeo .....	77
Ilustración 33. Representación de $E_a$ y $E_s$ .....	79
Ilustración 34. Empujes para una altura $h_m$ .....	80
Ilustración 35. Dimensiones de losa más crítica .....	82
Ilustración 36. Condiciones de borde.....	84
Ilustración 37. Interpretación para el cálculo del acero en el lecho superior .....	85
Ilustración 39. Interpolación para la obtención del coeficiente $K$ . .....	89
Ilustración 40. Alternativa 1.....	94
Ilustración 41. Alternativa 2.....	94
Ilustración 42. Alternativa 3.....	95
Ilustración 43. Alternativa 4.....	95

**Índice de ecuaciones**

Ecuación 1.....	34
Ecuación 2.....	35
Ecuación 3.....	42
Ecuación 4.....	43
Ecuación 5.....	43
Ecuación 6.....	44
Ecuación 7.....	44
Ecuación 8.....	44
Ecuación 9.....	44
Ecuación 10.....	45
Ecuación 11.....	47
Ecuación 12.....	48
Ecuación 13.....	49
Ecuación 14.....	54
Ecuación 15.....	54
Ecuación 16.....	60
Ecuación 17.....	60
Ecuación 18.....	60
Ecuación 19.....	61
Ecuación 20.....	61
Ecuación 21.....	61
Ecuación 22.....	61
Ecuación 23.....	62
Ecuación 24.....	62
Ecuación 25.....	62
Ecuación 26.....	62
Ecuación 27.....	62
Ecuación 28.....	62
Ecuación 29.....	63
Ecuación 30.....	63

Ecuación 31.....	63
Ecuación 32.....	64
Ecuación 33.....	64
Ecuación 34.....	65
Ecuación 35.....	65
Ecuación 36.....	65
Ecuación 37.....	65
Ecuación 38.....	66
Ecuación 39.....	66
Ecuación 40.....	66
Ecuación 41.....	66
Ecuación 42.....	67
Ecuación 43.....	67
Ecuación 44.....	67
Ecuación 45.....	68
Ecuación 46.....	68
Ecuación 47.....	68
Ecuación 48.....	69
Ecuación 49.....	69
Ecuación 50.....	69
Ecuación 51.....	69
Ecuación 52.....	70
Ecuación 53.....	70
Ecuación 54.....	71
Ecuación 55.....	71
Ecuación 56.....	72
Ecuación 57.....	72
Ecuación 58.....	72
Ecuación 59.....	72
Ecuación 60.....	72
Ecuación 61.....	73

Ecuación 62.....	73
Ecuación 63.....	73
Ecuación 64.....	73
Ecuación 65.....	73
Ecuación 66.....	74
Ecuación 67.....	74
Ecuación 68.....	74
Ecuación 69.....	76
Ecuación 76.....	86
Ecuación 77.....	86
Ecuación 78.....	88
Ecuación 79.....	89
Ecuación 80.....	90
Ecuación 81.....	90
Ecuación 82.....	90
Ecuación 83.....	91
Ecuación 84.....	91
Ecuación 85.....	91

## 1 CAPÍTULO I

### 1.1 Introducción

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia Sociedad Anónima (en adelante la Empresa o ESPH S.A.) se remonta en el año 1915, cuando se inauguró la Planta Hidroeléctrica de la Joya.

Debido a que la Joya alcanzó su máxima capacidad de generación a mediados de los años cuarenta, los ciudadanos optaron por fundar la Junta Administradora del Servicio Eléctrico Municipal de Heredia (JASEMH) el 25 de octubre de 1949, donde tenían el compromiso de conservar las instalaciones de generación hidráulica, transmisión y distribución de energía, y mejorar los servicios eléctricos bajo el decreto de ley #767.

Debido a los problemas con el agua potable, el gobierno de Costa Rica del presidente Daniel Oduber Quirós obliga a la Municipalidad de Heredia a transferir temporalmente la administración, control del acueducto y alcantarillado del cantón a la JASEMH. Dadas estas mociones, el día 8 de marzo de 1976, se decide fundar la ESPH, la cual enmendó el problema de abastecimientos en calidad y cantidad del agua de los ciudadanos de Heredia. Posteriormente, tras sufrir dos crisis, los cantones de San Rafael en el año 1996 y San Isidro en el año 1998 se unieron a la Empresa. Estas alianzas y los avances en tecnología innovadoras y cambios sociales indujeron a la ESPH a convertirse en una Sociedad Anónima (ESPH S.A.), por medio de la ley #7789 el 28 de abril de 1998. En la actualidad, la Empresa se enfoca en trabajar de manera solidaria y responsable en un desarrollo local.

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. brinda los servicios de: alumbrado público, telecomunicaciones, alcantarillado sanitario, agua potable y energía eléctrica para el desarrollo de la región, lo cual aporta valor y desarrollo a la sociedad, mediante la mejora continua de su gestión.

Desde el 2015, es meritoria del certificado de Sistema de Gestión de Responsabilidad Social acorde con los requisitos de la Norma INTE 35-01-01, la cual resalta el compromiso social de la institución hacia los clientes y su confiabilidad en los servicios prestados, los cuales son dados de manera sustentable y responsable.

Por otro lado, es importante destacar que la humanidad y sus inventos siempre han estado en un constante desarrollo, presentando cada vez nuevas ideas de innovación para la mejora de los procesos. Un ejemplo de éstos es la evolución de las bombas sumergibles en los años cuarenta, cuando el máster en ingeniería de diseño Sixten Englesson, empleado de la compañía Flygt, logra

desarrollar la primera bomba sumergible conocida como “jaula de loro”, y, en el año 1946, presenta su primer prototipo. En el año 1947, se exhibe el primer prototipo al mundo, dando un impulso a la mejora de eficiencia en el aspecto laboral.

Este artefacto marcó una tendencia en la innovación. Anteriormente, las bombas existentes necesitaban postrarse sobre la superficie, recalando que las mangueras y plataformas se mantenían en constante movimiento, lo cual generaba retrasos labores. Con este nuevo invento, se logró extraer las aguas en minas de oro y drenar canales, entre otros acontecimientos.

En la actualidad, los sistemas de bombeo sumergibles se han ido modernizando con el paso de los años a tal punto de que se programan en un centro de control de motores para automatizar los mecanismos de arranque y pausa por medio de sensores instalados en el cárcamo o pozo de bombeo. El mercado de estos artefactos es muy grande a nivel internacional, lo cual facilita tablas de rendimientos de estos productos para que los ingenieros, de manera práctica, puedan optar por el equipo que mejor le convenga al proyecto.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Actualmente, la ESPH se encuentra desarrollando el Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, constituido por el diseño y construcción de distinta infraestructura para el transporte y tratamiento de aguas residuales de los distintos cantones de la provincia de Heredia donde presta los servicios: Heredia, San Rafael, Santa Lucía de Barva, San Isidro, con el objetivo de mejorar el medio ambiente y velar por la salud de la población en sus zonas de cobertura y sus colindantes.

En el distrito de Ulloa de Heredia, se presenta la necesidad de diseñar, preliminarmente, la estación de bombeo N.º26 o EBHE26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia para su nueva ubicación, ya que, en la actualidad, ésta se pretende instalar en una propiedad dentro de la misma urbanización. Sin embargo, debido a ciertas complicaciones legales con el terreno, se necesita realizar un nuevo planteamiento para la reubicación.

En marzo del 2017, la ESPH presenta la situación sobre el terreno actual para la EBHE26 al Departamento de Inversión Pública de la Municipalidad de Heredia, consultando previamente sobre el propietario registral y la naturaleza de éste, pues la intención de la Empresa es iniciar con la gestión correspondiente para poder adquirir el terreno para iniciar este proyecto el cual es parte del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia.

El Departamento de Inversión Pública de la Municipalidad de Heredia le consulta al Departamento de Urbanismo del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) sobre el

terreno actual para la EBHE26. Por otra parte, el INVU responde la consulta alegando que, según el mapa de sitio, el terreno es considerado como zona para planta de tratamiento de aguas servidas, por lo tanto, en esta propiedad se puede instalar dicha estación de bombeo, sin embargo, la propiedad debe traspasarse a la Municipalidad de Heredia para que esta a su vez la traspase a la ESPH S.A.

En diciembre del 2017, la Municipalidad de Heredia, envía la consulta a la Asociación de Desarrollo Integral Pro-Obras Comunales de Lagunilla San José de Heredia (ASODEL), donde se encuentra inmerso el Comité de Vecinos de la Urbanización Inmaculada Concepción; indicando que la zona de la planta de tratamiento de aguas servidas debe ser traspasada a la ESPH S.A., por ser la institución que presta el servicio.

La Municipalidad de Heredia en enero del 2018 responde a la ESPH S.A., adjuntando el criterio legal de la Asesoría Jurídica Municipal, indicando que las áreas no poseen planos ligados y es un área pública no traspasada a la municipalidad, por lo cual se realiza una excitativa a ASODEL a realizar el traspaso de la propiedad en donde se encuentra la planta de tratamiento a la ESPH S.A. Por otra parte, la Empresa complementando la excitativa municipal envía a ASODEL la propuesta de levantar el plano catastro de la zona de la planta de tratamiento de aguas servidas.

En junio del 2018, ASODEL solicita a los personeros de la ESPH S.A. a realizar una presentación sobre el tema del traspaso, enfatizando que los vecinos de la urbanización solicitan el pago de la inversión de hace 20 años por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

La Empresa consulta a la presidenta de ASODEL sobre la logística que se va a realizar para la presentación solicitada por los vecinos de la Urbanización Inmaculada Concepción; por otra parte, la presidenta de ASODEL pregunta por la propuesta por escrito de la ESPH S.A. para la adquisición del terreno. La Empresa solicita a ASODEL un espacio para realizar la presentación sobre el traspaso a los vecinos de la Urbanización Inmaculada Concepción. En octubre del 2018, se realiza una presentación pública del Proyecto de Saneamiento Ambiental en el salón comunal de la urbanización. Además, la Empresa presenta cuatro alternativas para adquirir el terreno previsto, brindando las opciones por escrito que solicitaron los vecinos, las cuales son las siguientes:

- a. El valor residual en libros de este sistema de tratamiento anaeróbico es reconocido por la ESPH, además deben transferir los 3.100 m<sup>2</sup> de terreno. Esta iniciativa es viable siempre y cuando la PTAR anaeróbica cuente con todos los permisos sanitarios al día,

ya que la intención de la ESPH es administrar este sistema hasta que el Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia inicie e integre a la Urbanización Inmaculada Concepción.

- b. Se trasladan sin algún costo los 3100 m<sup>2</sup>. Además, si la PTAR anaeróbica no cuenta con los permisos sanitarios al día, la ESPH S.A. no reconoce valor alguno por este sistema. Esta opción es viable debido a que se pretende conectar la urbanización a la planta de tratamiento ubicada en el Residencial Real Santa María Este.
- c. Se transfiere un terreno a la ESPH de 1200 m<sup>2</sup>, el cual no debe poseer el sistema de tratamiento de aguas servidas actual. Asimismo, los vecinos siguen operando la PTAR. Posteriormente, cuando el Proyecto de Saneamiento Ambiental opere, la Urbanización Inmaculada Concepción será integrada a la red de la ESPH S.A.
- d. Se traspasa un lote de 1.200 m<sup>2</sup> sin ningún costo a la ESPH S.A. Además, no debe ser parte del sistema anaeróbico presente. Posteriormente, la ESPH S.A. conecta la urbanización a la planta del Residencial Real Santa María del Este y el sistema actual queda fuera de servicio. Además, la ESPH S.A. asume la responsabilidad y cobro por el servicio.

Una vez presentadas las propuestas, la Empresa envía, en forma escrita, las propuestas planteadas en la presentación pública del Proyecto de Saneamiento Ambiental al presidente del Comité de Vecinos de la Urbanización Inmaculada Concepción, a la presidenta de ASODEL y otra a la Alcaldía Municipal.

Por lo tanto, con la elaboración de este proyecto, se pretende la inclusión de la Urbanización Inmaculada Concepción en el Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia por medio de la exploración de distintas propiedades dentro de la misma urbanización o el emplazamiento de la estructura de manera subterránea en vía pública.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

1. Analizar distintas alternativas de reubicación para la Estación de Bombeo de Heredia N.º26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, localizada en el distrito de Ulloa.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Visitar la Urbanización Inmaculada Concepción para hacer inspecciones de campo y así determinar cuáles pueden ser posibles alternativas de reubicación.
2. Realizar un estudio de prefactibilidad técnica para las alternativas de reubicación de la estación de bombeo de Heredia N.º26.
3. Verificar las condiciones presentes de la Urbanización Inmaculada Concepción para la aplicación de una matriz multicriterio.
4. Seleccionar, de manera preliminar, la bomba sumergible que mejor se adapte a las condiciones de bombeo.
5. Efectuar una propuesta de diseño de los principales componentes estructurales con base en la carga estimada para la estación de bombeo de Heredia N.º26.

### **1.4 Justificación**

El Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, actualmente, presenta un problema con la EBHE26, debido al actual conflicto que se presenta con la comunidad de la Urbanización Inmaculada Concepción ubicada en distrito de Ulloa en Lagunilla de Heredia. Los estudios y planteamientos previos fueron descartados en su mayor parte.

En el presente proyecto, se aportan los diseños preliminares mecánico - hidráulicos, arquitectónicos y estructurales.

Los diseños mecánicos se realizan por medio de conocimientos previos. No obstante, los cálculos y resultados obtenidos son supervisados por un ingeniero mecánico, el cual indica la veracidad de éstos y aporta de su conocimiento para el análisis final de la bomba y el arranque necesario.

Por medio de un estudio de suelos realizado por la empresa GEOAM S.A., el cual fue realizado en el parque público de la Urbanización Inmaculada Concepción, se pretende utilizar dichos datos para el diseño de los principales componentes estructurales de la estación de bombeo.

En ese sentido, se utiliza el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR10) para el diseño del cárcamo de bombeo y todo lo referente a las zonas sísmicas según provincias, cantones y distritos. Además, el estudio de suelos brindado por la empresa GEOAM S.A. indica el sitio de cimentación y la clasificación correspondiente. Asimismo, se recurre al Código de Cimentaciones de Costa

Rica para la verificación de los factores de seguridad contra el deslizamiento y volcamiento de los muros de contención, entre otra información.

Es de suma importancia ejecutar los cálculos en forma óptima aplicando las restricciones de diseño para así justificar los resultados bajo lo establecido. Este proyecto, asimismo, se rige bajo varias normativas y códigos, los cuales son de orden constitucional. Por tanto, no se pueden dar a desconocer, como lo son el del AyA, ASME, ACI 318-19, *Código de Cimentaciones de Costa Rica* y *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Bajo estos contextos técnicos y reglamentarios, se brinda un soporte y se procura brindar interés de manera seria y profesional al diseño de la estación de bombeo N.º26 de Heredia.

El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) declara los proyectos de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales de interés público nacional; asimismo El Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia recientemente fue declarado de interés público por el Ministerio de Salud y la Presidencia de Costa Rica. Asimismo, se justifica la importancia del Proyecto de Saneamiento Ambiental y el valor que tiene la estación de bombeo N°26 de Heredia para el desarrollo de éste y los beneficios que presenta para la comunidad de la Urbanización Inmaculada Concepción.

Es trascendental recalcar que no solo se brindan diseños, sino que se ofrece un aporte ingenieril, el cual genera beneficios considerables al medio ambiente y al recurso hídrico, el cual se está viendo muy afectado en gran parte por no ser tratadas las aguas. Las personas también son beneficiadas, ya que se protege la salud pública y se reduce la propagación de malos olores en la zona entre otros aspectos.

## **1.5 Alcances y limitaciones**

### **1.5.1 Alcances**

- La ESPH S.A. facilitó cualquier tipo de información necesaria para llevar a cabo este proyecto.
- Se consultó la matriz multicriterios de la ESPH S.A. para el análisis de alternativas y la toma de decisiones.
- La ESPH S.A. brindó los croquis de la forma geométrica que deben tener las estaciones de bombeo.

- La Universidad Latina proporcionó, de manera gratuita, *softwares* como AUTOCAD, Microsoft Office Excel, SAP2000 para el diseño estructural e hidráulico de la estación de bombeo.
- Se contó con el apoyo del personal de la ESPH S.A. para realizar inspecciones de campo dentro de la Urbanización Inmaculada Concepción, para así determinar cuáles son las opciones disponibles como alternativa de reubicación.
- El presupuesto preliminar se realizó con los precios del año 2021 y no contempla la inflación de años posteriores para cuando se decida iniciar con la construcción de la estación de bombeo.
- Se contó con la norma del AyA, ACI 318-19, Código de Cimentaciones de Costa Rica y el Código Sísmico de Costa Rica 2010, ASME, para sustentar los cálculos en los diseños a realizar.

### **1.5.2 Limitaciones**

- Pocas áreas disponibles dentro la Urbanización Inmaculada Concepción para reubicar la estación de bombeo.
- El estudio de suelos SPT de la Urbanización Inmaculada Concepción es realizado por la empresa GEOM S.A y brindado al estudiante por la ESPH S.A.
- Dada las circunstancias del Proyecto de Saneamiento Ambiental y la problemática actual con la Urbanización Inmaculada Concepción, únicamente, se cuenta con la topografía de la alternativa 2, la cual fue parte del primer planteamiento de la ESPH S.A.
- El proyecto de graduación no se enfoca en la tramitología y en los aspectos económicos sobre las alternativas propuestas.
- La parte legal de las alternativas de reubicación se enfoca únicamente en la situación actual de los terrenos en cuanto a las expropiaciones.
- Debido a la extensión de dicho proyecto, no se incluye el análisis de estabilidad de taludes para la EBHE26.
- El caudal de 11.7 l/s es brindado por la ESPH S.A., por lo tanto, el diseño hidráulico-mecánico se basa en el dato brindado, debido a que no se cuenta con las áreas específicas de aportaciones.

- La ESPH S.A. brinda el dato sobre profundidad del pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este.
- Dado que la Municipalidad de Heredia no cooperó con brindar información. No se cuenta con el mapa de la red de alcantarillado para conocer las interferencias existentes en la Urbanización Inmaculada Concepción.
- El anteproyecto final no cuenta con las especificaciones técnicas basadas en la salud ocupacional.

### **1.6 Impacto**

Elaborar este proyecto debe generar un impacto en la sostenibilidad de la región sin comprometer el desarrollo de las actividades de futuras generaciones, cumpliendo con los factores sociales, económicos y ambientales.

En general, el proyecto se dirige al medio ambiente, el cual es el mayor beneficiario al decretarse como un proyecto de interés público. Por otra parte, la Empresa contempla, por medio de estudios hechos previamente, los hábitats acuáticos que contengan grupos biológicos importantes por el hecho de que éstos han sido fuente de descarga de las aguas residuales. Por lo tanto, se espera que los hábitats afectados se recuperen y lleguen a habitarlos distintas especies acuáticas.

Se pretende generar un impacto social en los habitantes de la Urbanización Inmaculada Concepción al ser beneficiarios de tratamiento de las aguas servidas, por lo cual esta zona tendrá una mejora importante en la disminución de malos olores y en la contaminación de los ríos por aguas no tratadas. Todo ello generará un mejor aspecto en sus alrededores.

Se considera que habrá un mayor bienestar social y será foco de ejemplo comunitario para futuros grupos sociales concretos.

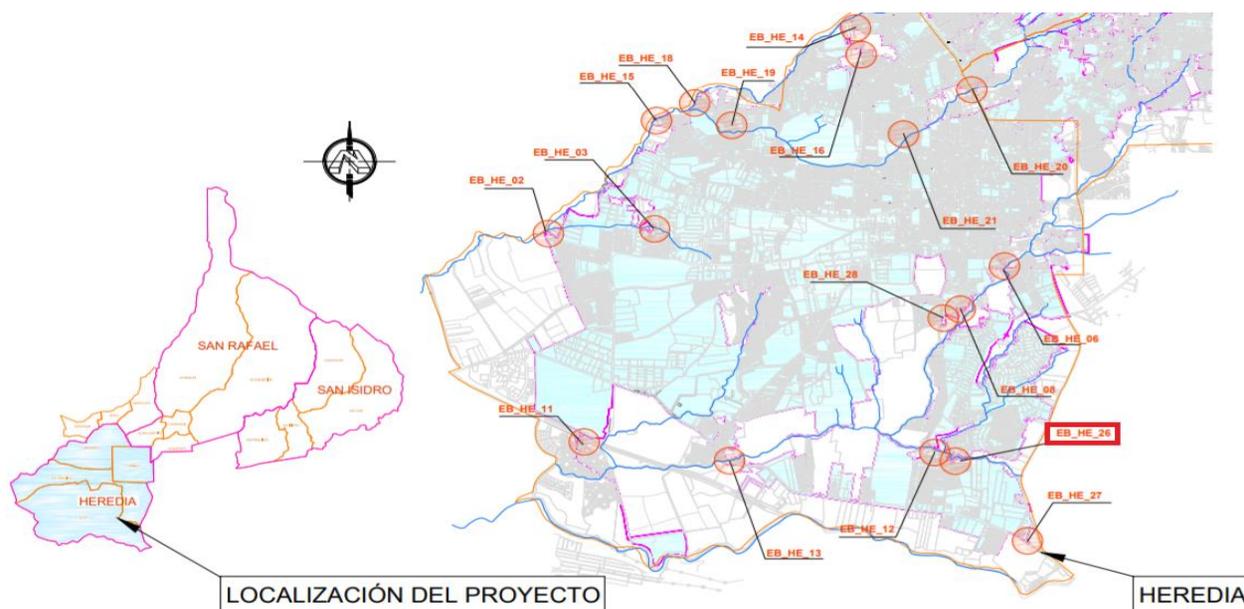
En la parte económica, habrá generación de empleo para las personas y empresas que participen del desarrollo de la obra constructiva. Además, al ser una estructura importante y delicada, contará con mantenimientos preventivos por personal capacitado de la ESPH S.A. o alguna empresa externa, lo cual generará más trabajo y empleos.

## 1.7 Ubicación del proyecto



**Ilustración 1. Ubicación del proyecto, Urbanización Inmaculada Concepción**

Fuente: Google Earth, julio 2020



**Ilustración 2. Mapa de estaciones de bombeo de Heredia**

Fuente: ESPH S.A., julio 2020

## 1.8 Hipótesis

El proyecto final de graduación no requiere planteamiento de una hipótesis, ya que no presenta novedad alguna en el tema investigativo. Asimismo, se considera como un tema desarrollado previamente por la ESPH S.A. donde se debe ajustar a sus estándares de diseño.

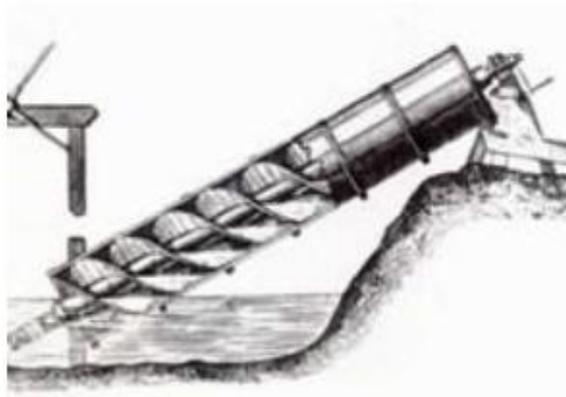
## 2 CAPÍTULO II

### 2.1 Marco teórico

El agua es la fuente más importante para la supervivencia de los seres vivos en la Tierra, pues, sin ella, el desarrollo de la vida es imposible. A través del tiempo, el ser humano siempre ha desarrollado distintas herramientas para la extracción de este elemento desde la fuente principal hasta el punto de descarga.

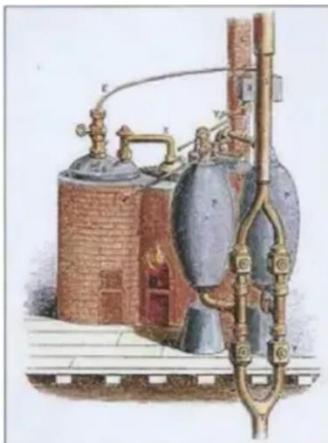
Los egipcios y mesopotámicos 3000 a.C. fueron de las primeras civilizaciones en optar por sistemas de riego que les permitieran distribuir el agua desde la fuente principal hasta las ciudades, ya que los métodos pasados consistían en la recolección de agua con cubetas de arcilla en las orillas de los ríos, lo cual involucraba caminar grandes distancias y requería de mucho tiempo.

La primera bomba de agua se le atribuye a Arquímedes, uno de los científicos más importantes en la historia de la humanidad. Este revolucionario invento se le conoce como tornillo de Arquímedes, el cual era utilizado para la extracción de agua de los barcos y para elevar cultivos como los granos.



**Ilustración 3. Tornillo de Arquímedes**  
Fuente: Historia de la Tecnología, julio 2020

Durante el transcurso del tiempo, la humanidad sigue desarrollando nuevos métodos más eficaces para el desarrollo. En la Edad Media, en Europa (siglos X y XV), se inventa el molino de viento para la extracción de agua de pozos, ríos y lagos. La primera Revolución Industrial (1760-1840) fue el período donde se desarrollaron nuevas tecnologías, las cuales se desarrollaban en serie; en medio de esta revolución, Thomas Savery, inventor inglés, patentó un mecanismo de bombeo que trabaja por medio de presión de vapor de agua para así expulsar el agua de las minas.



**Ilustración 4. Bomba de vapor**  
Fuente: DG Graduados, julio 2020

## 2.2 Agua potable

El agua potable es aquella que se puede consumir sin que exista un riesgo directo a la salud de la población. Esta agua debe ser tratada en plantas potabilizadoras para adjudicarla a las condiciones adecuadas para el consumo humano antes de ser enviada a los hogares.

En Costa Rica, se define el concepto de agua potable como:

“Agua tratada que cumple con las disposiciones de valores máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos, establecidos en el presente reglamento y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud” (Reglamento para la Calidad del Agua Potable, s.f., artículo 4).

Los entes operadores que presten el servicio de agua potable en Costa Rica deben procurar cumplir con los valores máximos admisibles mencionados anteriormente. De no ser así, pueden generar problemas de salud pública en la república.

Toda persona tiene el derecho humano básico e irrenunciable de acceso al agua potable, como bien esencial para la vida. El agua es un bien de la nación, indispensable para proteger tal derecho humano. Su uso, protección, sostenibilidad, conservación y explotación se regirá por lo que establezca la ley que se creará para estos efectos, y tendrá prioridad el abastecimiento de agua potable para consumo de las personas y las poblaciones (Constitución Política de Costa Rica, 2020, art. 50).

En Costa Rica, la declaración de agua potable como un derecho inamovible es fundamental para el desarrollo de la vida y el progreso del país en general; sin embargo, este derecho trae consigo su deber, en el cual las personas deben cuidar y proteger este recurso finito.

Lamentablemente, en el mundo, el acceso al agua e inclusive el derecho no es una opción viable por motivos varios, como lo son: injusticia social, zonas geográficas, contaminación del recurso, entre otros.

Este proyecto pretende darle razón al tratamiento de las aguas servidas para así devolverla en las mejores condiciones al punto de descarga.

### **2.2.1 Operadores de servicios de agua potable**

El Instituto Costarricense de Acueductos (AyA) es el ente rector mayoritario en el país de agua potable. También existen otras entidades públicas, semiprivadas, de operadores de servicios, como la ESPH S.A., las ASADAS y las municipalidades.

#### **Empresa de Servicios Público de Heredia S.A. (ESPH S.A.)**

La ESPH S.A. es una empresa que presta los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario a las comunidades heredianas que se fueron incorporando con el fin de satisfacer las necesidades de agua potable, subsistencia, explotación racional y administrador de los recursos hídricos existentes.

La ESPH S.A., debido a los avances tecnológicos y la búsqueda de un mercado más ambicioso, el 28 de abril de 1998, mediante la ley #7789, logra convertirse en una empresa gubernamental con carácter de sociedad anónima de utilidad pública en un plazo indefinido.

En convenio con los cantones de Heredia, San Rafael, San Isidro y el distrito de Santa Lucía de Barva, brinda los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario, generación, distribución, transmisión y comercialización de energía eléctrica y alumbrado público.



**Ilustración 5. Logo ESPH S.A.**

Fuente: Empresa de Servicios Públicos de Heredia, julio 2020

#### **Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)**

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados es el ente con mayor cobertura en el territorio nacional. Su función principal consiste en dirigir y fijar políticas, además de instaurar nuevas normas para el desarrollo y financiamiento de proyectos relacionados con el suministro de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial.

Esta institución está en la obligación de brindar asesorías a organismos estatales, semiprivados en asuntos relacionados con el establecimiento de acueductos y alcantarillados, además del control de la contaminación de los recursos de hídricos. Esta entidad debe garantizar el servicio de agua potable y su continuidad.



**Ilustración 6. Logo AyA**

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, julio 2020

### **Municipalidades**

Las municipalidades están a cargo de los sistemas de suministro de agua potable, siempre y cuando cumplan con la Ley Constitutiva del AyA, la cual menciona que las municipalidades pueden continuar con la prestación del servicio mientras mantengan un servicio eficiente. De no ser así, el AyA, bajo ordenamiento jurídico, puede asumir la dirección de los sistemas que estén bajo control del gobierno local.



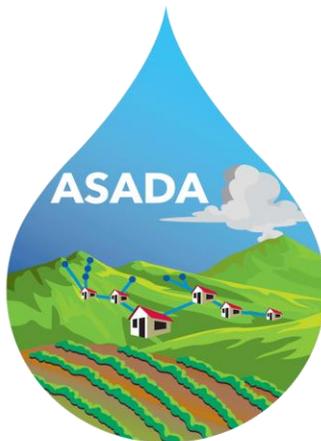
**Ilustración 7. Municipalidad de Heredia**

Fuente: Portal municipal de Heredia, julio 2020

### **Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS)**

En la década de 1990, surgen las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS) bajo el referente reglamento de operación y dirección supervisada por el AyA. Estas asociaciones deben administrar, operar y brindar mantenimiento respectivo a todas a las obras de acueductos y alcantarillado sanitario asociadas a éstas.

El AyA tiene bajo su potestad el concluir el convenio con estas asociaciones cuando existan irregularidades en la prestación del servicio; además, debe controlar las labores de operación brindadas por estas asociaciones.



**Ilustración 8. ASADA Santa Rosa De Oreamuno de Cartago**  
Fuente: ASADA Santa Rosa, julio 2020

### **2.3 Niveles de control para la calidad del agua**

Los niveles de control para la calidad del agua y los parámetros de análisis obligatorio se encuentran en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable en el artículo 8. Asimismo, define el concepto de control operativo (CO) y los cuatro niveles de control de calidad del agua potable:

- **Control Operativo (CO):** para esta función, se deben realizar mediciones en cierto lapso de parámetros como turbiedad, olor, sabor y cloro residual libre. Los entes operadores deben contar con un laboratorio para monitorear frecuentemente la red de distribución, además de una bitácora para su debida revisión.
- **Nivel Primero (N1):** se debe cumplir con la inspección sanitaria para la debida evaluación y mantenimiento de los sistemas de distribución de agua potable y su fuente de almacenamiento por medio de los siguientes parámetros: color aparente, conductividad, pH, olor, sabor, temperatura, turbiedad, coliformes fecales, Escherichia coli, y cloro residual libre o combinado.
- **Nivel Segundo (N2):** se registra la red de distribución y la fuente de abastecimiento, tomando en cuenta los parámetros máximos admisibles los cuales son: aluminio, calcio, cloruro, cobre, dureza total, fluoruro, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio, sulfato y zinc.

- **Nivel Tercero (N3):** corresponde a un control y mantenimiento en la fuente de suministro de aguas y en la red de distribución; contemplando los siguientes parámetros: amonio, antimonio, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, plomo, y selenio
- **Nivel Cuarto (N4):** el Ministerio de Salud señala algún riesgo asociado a la contaminación del agua por lo tanto establece el número de muestras a recolectar estableciendo los análisis físicos y microbiológicos

Los organismos costarricenses que presten los servicios de agua potable están en la obligación de realizar los controles operativos y los cuatro niveles de servicio, con el fin de evaluar la operación sanitaria y el mantenimiento correspondiente para así garantizar un mejor servicio de agua potable en las viviendas, comercios, industrias, entre otros establecimientos según la población servida.

#### **2.4 Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia**

La cuenca del río Grande de Tárcoles es el principal afectado en gran parte de los problemas mencionados y del vertido de aguas servidas productos de estas actividades, lo cual impacta directamente en la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales y genera una degradación importante en este río. Por eso, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. se encuentra desarrollando el Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia para así garantizar que las aguas que consumen sus abonados se restituyan al ambiente en condiciones óptimas de vertido como lo establece la ley en Costa Rica bajo la admisión del decreto 32133 del MINAE, el cual declara los proyectos de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales de interés público y nacional, siendo un valor moral como ciudadanos responsables y la ESPH S.A. como empresa comprometida al cambio, a verterlas de manera responsable y eficaz en los cuerpos receptores.

Este proyecto se considera como el más ambicioso para la ESPH S.A., pues la construcción del alcantarillado sanitario comprende los cantones de Heredia, San Rafael, Santa Lucía de Barva y San Isidro; ello permite reducir, de manera formidable, el uso y la construcción de nuevos tanques sépticos, ya que, actualmente, estas estructuras se consideran obsoletas, debido al mal diseño (en la mayoría) y poco control que se ejercen sobre ellas; asimismo, se protegen los mantos acuíferos de contaminantes generados por estas estructuras al eliminar las infiltraciones. Además,

el proyecto genera un impacto directo en la salud pública y calidad de vida de las personas en el país y el cuidado responsable del medio ambiente.



**Ilustración 9. Excavación para alcantarillado sanitario**  
Fuente: ESPH S.A., julio 2020

## 2.5 Aguas residuales

La escasez cada vez mayor de las aguas dulces debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y, probablemente, a los cambios climáticos, ha dado lugar al uso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otras áreas. En algunos casos, las aguas residuales son el único recurso hídrico de las comunidades pobres que subsisten por medio de la agricultura. Si bien el uso de aguas residuales en la agricultura puede aportar beneficios (incluidos los beneficios de salud como una mejor nutrición y provisión de alimentos para muchas viviendas), su uso no controlado, generalmente, está relacionado con impactos significativos sobre la salud humana. Estos impactos en la salud se pueden minimizar cuando se implementan buenas prácticas de manejo (Organización Mundial de la Salud, s.f., párr.1).

En la actualidad, la contaminación del recurso hídrico, como se mencionó anteriormente, se está viendo muy afectado debido al aumento de la población en el país. El deber de la nación es mitigar el impacto negativo que se está generando en el ambiente para así lograr un desarrollo sostenible y mejorar la salud de la población y la vida sobre el planeta.

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, capítulo I, artículo 2, define lo siguiente:

Las aguas residuales como agua que ha recibido un uso y cuya calidad han sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes. Para los efectos de este Reglamento, se reconocen dos tipos, ordinario y especial.

Agua residual de tipo ordinario o doméstica: agua residual generada por las actividades domésticas del hombre (uso de inodoros, duchas, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa, etc.)

Agua residual de tipo especial: agua residual de tipo diferente al ordinario (LA GACETA, 1997, p.3).

Es importante mencionar que, dentro del grupo de aguas residuales, también se encuentran otros dos tipos de aguas servidas, las cuales son las siguientes:

**Industriales:** en esta actividad, se engloban los distintos tratamientos y eliminación de aguas residuales de origen industrial, entendiéndose éste como aquel que deriva exclusivamente de las prácticas industriales, pues las emisiones provenientes de las aguas residuales comerciales se estiman como parte de las aguas domésticas. Estas aguas residuales se originan en una variedad de fuentes industriales y pueden ser tratadas *in situ* (no recolectadas), transferirse por alcantarillado a una instalación central (recolectadas) o eliminarse sin tratamiento en las cercanías o por medio de desagües (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f., p.1).

**Ganadería:** en el Manual de Buenas Prácticas Ambientales para la Producción Ganadera en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado, Costa Rica, se define el término *aguas residuales ganaderas* del siguiente modo:

“Las aguas residuales que son parte del proceso de lavado en las fincas ganaderas pueden ser tratadas de manera tal que minimicen el impacto que pueden generar en los cuerpos de agua, tales como ríos, quebradas, lagunas, entre otros” (Piedra, Orozco y Ramírez, 2017, p.9).

Considerando lo anterior, las aguas residuales presentes en el proyecto se clasifican como domésticas, debido a las actividades generadas en la zona. Por otro lado, éstas deben contar con ciertos parámetros y características, físicas, químicas y biológicas para el tratamiento apropiado.

Los parámetros físicos son aquellos visibles y únicos, lo cual quiere decir que su composición no varía al ser medida y no genera nuevas cualidades. Algunas de las propiedades son las siguientes:

- **Temperatura:** las altas temperaturas generan una aceleración en la descomposición de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual.
- **Conductividad:** es la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad se utiliza como una identificación debido a que los valores de conductividad pueden variar dependiendo de la zona.
- **Turbiedad:** es una medida por la cual se establece la claridad o la opacidad del agua. Con respecto a las aguas residuales, esta característica se ve afectada por las partículas presentes en el agua, lo cual afecta la transparencia de ésta.
- **Color:** esta propiedad se ve afectada por la recolección de agua domiciliar, comercial e industrial, debido a la descomposición de materia orgánica y su material coloidal y sustancias en solución.
- **Olor:** el olor se ve afectado debido a que la materia orgánica presente comienza a descomponerse, lo cual genera gases con aromas desagradables y es muy común.
- **Gama de sólidos**
  - **Totales:** es la materia que se encuentra asentada, suspendida o disuelta en un líquido.
  - **Suspendidos:** es una parte de los sólidos totales, la cual es retenida en los filtros y pueden flotar y ser visible fácilmente.
  - **Disueltos:** sección de los sólidos totales que logran atravesar el filtro la cual forma parte de una medida en la cantidad de material diluido en un líquido.
  - **Sedimentables:** es la cantidad de materia presente en un líquido que se acumula en un período.
  - **Volátiles:** son los microorganismos presentes en el agua residual.

Las propiedades químicas miden el comportamiento de los materiales cuando interactúan con otras sustancias o materiales, además de los cambios que éstos puedan presentar en sus propiedades físicas. Algunas de las propiedades o parámetros de calidad del agua más comunes son los siguientes:

- **pH:** es un valor que se utiliza para medir la acidez del agua. Cuando se encuentra entre valores de 5 y 9, no genera un efecto significativo en la mayor parte de las especies, pero

los valores muy dispersos sí tienden a alterar y generar cambios en la vida marina. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro.

- ***Demanda química de oxígeno (DQO)***: esta demanda es la cantidad de oxígeno necesario para así oxidar la materia orgánica bajo ciertos parámetros específicos.
- ***Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)***: es uno de los métodos para medir la cantidad de oxígeno que ingieren los microorganismos para multiplicarse en el agua residual y consumir la propia materia orgánica biodegradable. Cabe destacar que, cuanto más contaminada esté el agua de materia, éstos requieren de una mayor demanda de DBO. Además, se utiliza para evaluar el impacto que genera en la fauna acuífera. Cuanto más contaminada esté el agua con materia orgánica, requiere un valor mayor de DBO.
- ***Oxígeno Disuelto (OD)***: el oxígeno disuelto en el agua se relaciona con la vida de especies acuáticas y microorganismos, los cuales requieren de cierto nivel de oxigenación para sobrevivir. Esta relación se establece como la cantidad de oxígeno en una determinada temperatura.
- ***Grasas y aceites***: estos compuestos orgánicos no se descomponen fácilmente. Este contenido genera grandes problemas en el alcantarillado y en las plantas de tratamiento, por lo tanto, se recomienda eliminarlas en su totalidad antes del vertido de aguas residuales.
- ***Sustancias Activas al Azul del Metileno (SAAM)***: este parámetro permite identificar la cantidad de jabones y detergentes ostentes en una muestra de agua. Éstos son detectados por medio de una sal color azul que reacciona en presencia del azul del metileno.
- ***Nutrientes (Nitrógeno) N/(Fosforo) P/(Potasio) K***: estos elementos suelen generar crecimientos excesivos de materia vegetal y algas en los cuerpos de agua cerrados con poco movimiento, por lo cual se considera un problema. En Costa Rica, el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales actualmente no regula la cantidad de nutrientes a descargar debido a que hoy no hay descargas de aguas residuales en dichos cuerpos como embalses y lagos.

**Tabla 1. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en alcantarillado sanitario**

<b>Parámetro</b>	<b>Límite Máximo</b>
- DBO <sub>5,20</sub>	300 mg/L
- DQO	750 mg/L
- Sólidos suspendidos	300 mg/L
- Sólidos sedimentables	5 ml/l
- Grasas/aceites	50 mg/L
- Potencial hidrógeno	6 a 9 <sup>1</sup>
- Temperatura	15°C ≤ T ≤ 40°C <sup>1</sup>
- Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Fuente: Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, julio 2020

Un tratamiento biológico tiene como principal característica eliminar los contaminantes de las aguas residuales como la materia orgánica e inorgánica, por medio del uso de microorganismos, los cuales se encargan de descomponer dicha materia y estabilizar las propiedades del agua. Este proceso biológico cuenta con distintos parámetros:

- **Coliformes fecales:** provienen de la flora intestinal, por lo tanto, se puede señalar que se encuentran en los seres de sangre caliente; sin embargo, también se encuentran en material vegetal en estado de descomposición. Los coliformes fecales se utilizan como un indicador de contaminación en las aguas, por lo tanto, estos niveles deben ser reducidos en su totalidad con el tratamiento adecuado.
- **Coliformes totales:** se utilizan para la determinación de los parámetros bacteriológicos de los efluentes del sistema de saneamiento de aguas servidas.
- **Escherichia coli:** esta bacteria es la más conocida, ya que proviene de los intestinos de los seres de sangre caliente. Esta bacteria se considera benigna, sin embargo, algunas poblaciones pueden causar malestares como la diarrea.
- **Bacterias:** este microorganismo juega un papel importante en la descomposición y estabilización de materia orgánica en las PTAR y en el medio ambiente.
- **Virus:** son partículas parásitas conformadas por un material genético de desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN), los cuales están envueltos por una capa proteica. Los virus contenidos en las excretas de los seres humanos representan un peligro importante para la salud de la población.

- **Protozoarios:** son organismos unicelulares que se encuentran en las aguas residuales y son muy eficaces en el tratamiento de aguas residuales, ya que, al encontrarse en una planta de lodos activados, ayudan a la depuración del agua.
- **Vorticella:** es un microorganismo que se encuentra en las aguas residuales y su principal función es alimentarse de los flóculos de materia orgánica.

**Tabla 2. Tipos de organismos y cantidad presentes en las aguas residuales domiciliarias**

Organismo	Concentración, número/ml
Coliformes totales	$10^5$ - $10^6$
Coliformes fecales	$10^4$ - $10^5$
Estreptococos fecales	$10^3$ - $10^4$
Enterococos	$10^2$ - $10^3$
<i>Shigella</i>	Presentes <sup>b</sup>
<i>Salmonella</i>	$10^0$ - $10^2$
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$10^1$ - $10^2$
<i>Clostridium perfringens</i>	$10^1$ - $10^3$
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Presentes <sup>b</sup>
Cistos de protozoos <sup>a</sup>	$10^1$ - $10^3$
Cistos de giarda	$10^{-1}$ - $10^2$
Cistos de cryptosporidium	$10^{-1}$ - $10^1$
Huevos de helmintos	$10^{-2}$ - $10^1$
Virus entéricos	$10^1$ - $10^2$

<sup>a</sup> Adaptado parcialmente de la bibliografía [3, 7].  
<sup>b</sup> Los resultados de estos ensayos se suelen clasificar como positivos o negativos en lugar de ser ensayos cuantitativos.

Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA), julio 2020

## 2.6 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales, entendidas éstas como los vertidos líquidos provenientes del uso doméstico del agua –aguas negras colectadas por empresas como AyA, municipios, ESPH; industriales y agroindustriales, representan un grave y profundo problema nacional. Esto es provocado por la desatención a que ha sido sometida esta temática, motivado por el desinterés público, poca cultura ambiental, atraso educativo e informativo y, en general, rezago de las instituciones responsables de la aplicación y control de la legislación vigente (Ramírez, 2007, p.49).

Además, la legislación nacional indica que el ente operador que brinde el servicio de agua potable debe ser el encargado de realizar el tratamiento a las aguas residuales antes de verterlas. Con la instalación de la EBHE26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, se procura enviar las aguas servidas a un pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este, el cual las envía por gravedad a una PTAR ubicada en el mismo residencial

## **2.7 Sistema de alcantarillado de aguas residuales**

“El sistema de alcantarillado es el conjunto de obras e instalaciones destinadas a propiciar la recogida, evacuación, acondicionamiento (depuración cuando sea necesaria) y disposición final desde el punto de vista sanitario de las aguas servidas de una comunidad” (Berrios y Cervantes, 2015, p.15).

Dependiendo de las condiciones geográficas de las zonas, algunos de estos sistemas deben enviar las aguas a estaciones de bombeo para impulsarlas a su punto de disposición para el tratamiento correspondiente. La Empresa de Servicios Públicos de Heredia presta el servicio de agua potable para la zona de estudio, por lo tanto, debe prestar el servicio de alcantarillado sanitario para su tratamiento.

Los sistemas de alcantarillado de aguas residuales están conformados por tres subsistemas: tratamiento, disposición y recolección.

### **2.7.1 Tratamiento**

Este método utiliza una serie de procesos biológicos, químicos y físicos con la finalidad de remover materia orgánica e inorgánica proveniente del uso humano. El tratamiento en general se divide en 3 etapas de tratamiento, las cuales están conformadas por distintas estaciones de limpieza.

#### **Etapas del tratamiento:**

##### ***Primario***

- Desbaste
- Sedimentación
- Flotación
- Separación de aceites
- Neutralización

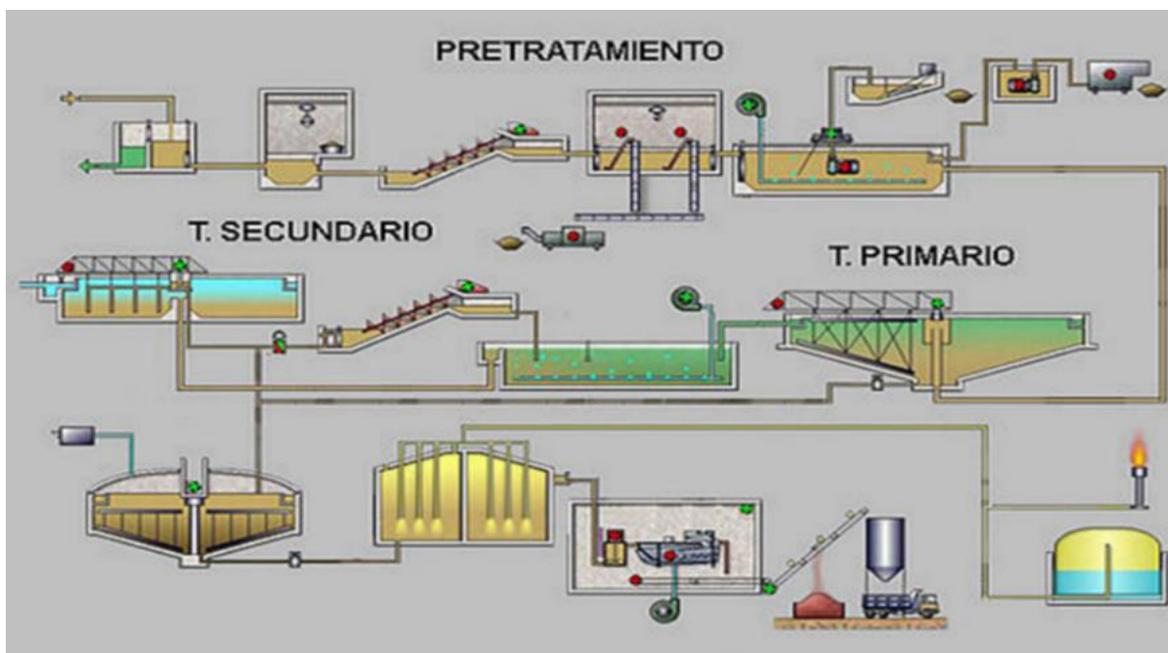
##### ***Secundario***

- Proceso de lodos activados
- Proceso de aireación extendida (u oxidación total)
- Estabilización por contacto
- Modificación del proceso de lodos activados convencional
- Lagunas de aireación

- Lagunaje
- Filtros percoladores
- Tratamiento anaerobio

### *Terciario o avanzado*

- Microfiltración
- Precipitación y coagulación
- Adsorción (carbón activado)
- Intercambio iónico
- Osmosis inversa
- Electrodialisis
- Procesos de eliminación de nutrientes
- Cloración y ozonación
- Procesos avanzados de oxidación



**Ilustración 10.** *Esquema del tratamiento de aguas residuales*

Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, julio 2020

**Tabla 3. Características de los principales niveles de tratamientos**

Nivel de tratamiento	ÍTEM		
	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	SS: <10 % DBO: <10 % Coliformes: ≈ 0 % Nutrientes: ≈ 0 %
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)	SS: 40-50 % DBO: 25-35 % Coliformes: 30-40 % Nutrientes: < 20 %
Primario avanzado	Físico y químico	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fósforo	SS: 70-85 % DBO: 45-55 % Coliformes: 60-90 % Nutrientes: 20 %N; 50-95 % P
Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	SS: 60-99 % DBO: 60-99 % Coliformes: 60-99 % Nutrientes: 10-50 %
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)	SS: > 99 % DBO: > 99 % Coliformes: > 99,9 % Nutrientes: > 90 %

Fuente: Moya, Presentación Sistema de Aguas Residuales, julio 2020

### Tratamientos más comunes en Costa Rica

**Aeróbico:** los sistemas aeróbicos de tratamiento de aguas residuales aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento, en presencia de oxígeno, que actuará como aceptor de electrones en el proceso de oxidación de la materia orgánica (Tuset., s.f., párr.6).

Este sistema cuenta con la especialidad de acelerar los procedimientos de estabilización de materia orgánica por medio de la inyección de oxígeno. Esto permite que el tiempo de retención de las aguas residuales se reduzca a unas horas, lo cual impacta en que las estructuras sean de menor tamaño. Este método requiere de un cuidadoso mantenimiento y una planificación muy estricta para su operación, además de un adecuado tratamiento de los excesivos lodos de desecho que genera.

En comparación con otros, éste genera malos olores en una escala menor, lo cual es muy importante destacar para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales por el hecho de que la estructura se puede ubicar en zonas urbanas.

**Anaeróbico:** se trata de un proceso complejo en el cual intervienen diferentes grupos de microorganismos. La materia orgánica se descompone en compuestos más sencillos, que son

transformados en ácidos grasos volátiles, los cuales son principales intermediarios y modulares del proceso. Estos ácidos son consumidos por los microorganismos metalogénicos que producen metano y dióxido de carbono. Todos estos procesos tienen lugar de manera simultánea en el reactor (Arc-Cat., 2004, p.1).

Éste es un método biológico en el cual los microorganismos trabajan en ausencia de oxígeno, por lo tanto, dicho procedimiento tiene una gran eficiencia en el tratamiento de aguas servidas. A su vez, esto reduce los costos de operación y de inversión en los proyectos de saneamiento de aguas residuales.

**Anóxico:** es una variación del anaeróbico, los microorganismos toman el oxígeno ( $O_2$ ) de los compuestos del nitrato ( $NO_3$ ), sulfato ( $SO_4$ ) y fosfato ( $PO_4$ ) por medio de un proceso llamado reducción. Posteriormente, estos compuestos se convierten en nitrito ( $NO_2$ ), sulfitos ( $SO_3$ ), fosfitos ( $PO_3$ ), y de esta manera, descomponen los residuos orgánicos.

**Facultativo/natural:** es la combinación aeróbica y anaeróbica, lo cual se debe a que una parte del sistema de tratamiento de aguas residuales trabaja de manera aerobia y la otra de manera anaerobia. Fundamentalmente, este método también se le conoce como lagunas de estabilización. Este método se divide en tres tipos, los cuales se mencionan a continuación:

- **Lagunas:** éstas pueden tener una profundidad hasta de dos metros de profundidad con aproximadamente 60 a 75 cm de capa superior conformada por microorganismos aeróbicos los cuales degradan la materia.

En la parte inferior de la laguna, alrededor de 75 cm del fondo, hay una capa conformada por microorganismos anaerobios, los cuales no necesitan oxígeno para su funcionamiento y, por ende, pueden estabilizar la materia. Posteriormente, en los 50 cm restantes, se genera la capa facultativa. Dicha capa está integrada por microorganismo facultativos que tienen la capacidad de vivir en ambientes aeróbicos o anaeróbicos.

- **Humedales:** los humedales se conocen como bio-jardineras donde se depositan aguas residuales, y las plantas cuentan con una característica en específica que le permite absorber y degradar la materia orgánica.

Los sistemas naturales deben cumplir con parámetros como el tiempo de retención, es decir, las aguas por tratar deben permanecer lapsos de 10, 12, 15 o hasta 22 días retenidas en el medio, dependiendo de las características del agua. Este tipo de sistema normalmente se encuentra en

zonas retiradas del Gran Área Metropolitana debido a que requieren grandes extensiones de terreno y podrían generar malos olores en una escala mayor en comparación con otros métodos. Asimismo, esta técnica de tratamiento es muy eficiente y su operación y mantenimiento es muy sencilla

### **2.7.2 Disposición**

Es el medio donde se distribuyen las aguas residuales ya tratadas en las PTAR y son enviadas en las mejores condiciones. Normalmente, en las zonas costeras, estas aguas son enviadas mar adentro mediante emisarios submarinos donde se disuelven con el agua del mar y su salinidad para así concluir el proceso de reciclaje. En zonas urbanas o dependiendo de la zona rural, estas aguas pueden reutilizarse en sistemas de riego de cultivos y no afectan el producto final. Generalmente, estas aguas se envían a ríos, lagunas o pantanos.

### **Conducción**

Es la tubería encargada de transportar las aguas tratadas al cuerpo receptor. También se les conoce como emisor.



**Ilustración 11. Tubería de conducción o emisaria**

Fuente: Alamy, julio 2020

### **Punto de descarga**

Es el cuerpo receptor de las aguas tratadas. En Costa Rica, en la provincia de Limón, se descargan las aguas residuales sin tratar y solo se eliminan los sólidos de tamaño medio por medio de rejillas.



**Ilustración 12. Punto de descarga de las aguas tratadas**

Fuente: Saforguía, julio 2020

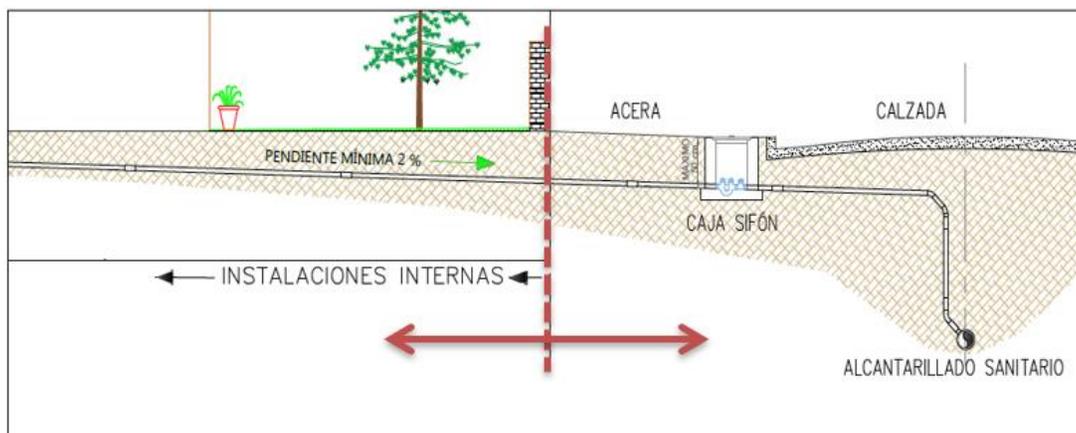
### 2.7.3 Recolección

Un sistema de recolección de aguas servidas es aquel que, por medio de tuberías subterráneas, se recolectan y se trasladan a ciertos puntos definidos donde se tratan las aguas residuales, es decir, plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### Prevista

La prevista domiciliar es la tubería que el ente operador deja hasta el límite de la propiedad privada conectada directamente a la caja de registro, con el fin de que el propietario pueda conectarse directamente a la red del alcantarillado sanitario.

Esta tubería, en el caso de las viviendas, debe tener un diámetro mínimo de 100 mm debido al arrastre de sólidos, sin embargo, dependiendo del usuario, la tubería se debe incrementar de acuerdo con el caudal.



**Ilustración 13. Prevista generada por el ente operador del servicio de alcantarillado sanitario**

Fuente: ESPH S.A., agosto 2020

### **Caja de registro**

Es una caja de concreto, plástico u otro material diseñado para interconectar las tuberías de aguas servidas de las viviendas, comercios, empresas u otros. Se encuentra ubicada en la acera frente a la propiedad.

Según las características de la edificación, se debe seleccionar la caja de registro adecuada, ya que los caudales unitarios de aguas residuales por obvias razones varían dependiendo de la magnitud de las estructuras.

Estos elementos cuentan con sus debidas tapas para el registro y mantenimientos; además, cuentan con un sifón, el cual es un accesorio que genera un sello de agua que impide que los malos olores (gases) como el metano ingresen a las casas. Este dispositivo se debe instalar en la propiedad privada por el dueño de esta.



**Ilustración 14. Caja de registro**

Fuente: EPA, agosto 2020

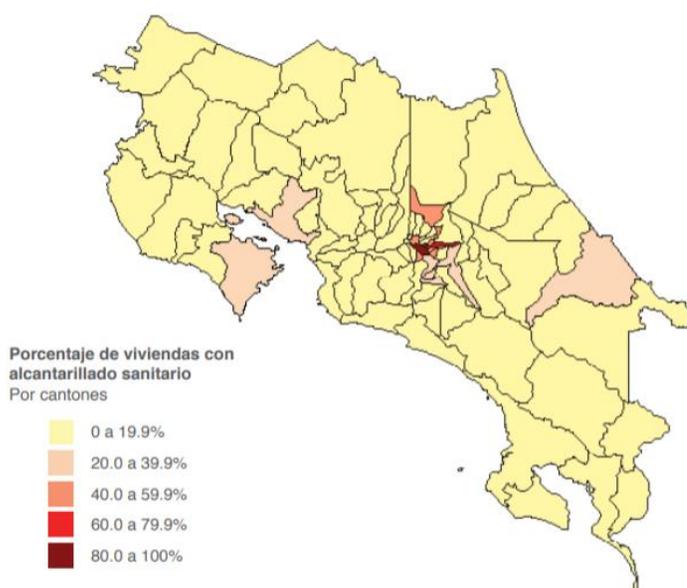
### **Red de tuberías**

Las redes de alcantarillado son estructuras hidráulicas, las cuales trabajan por presión atmosférica. Cabe recalcar que, generalmente, estas estructuras son de sección circular, las cuales se colocan de manera subterránea en el centro de las calles a través de las previstas generadas por la entidad que presta el servicio. La norma técnica del AyA indica que estas tuberías deben estar a una profundidad mínima de 1.2 m. Es importante mencionar que el alcantarillado sanitario es distinto del alcantarillado pluvial, por lo tanto, las conexiones deben ser por aparte. Este sistema tiene una alta probabilidad de obstruirse debido a los desechos que depositan las personas, tales como: toallas sanitarias, pañales, papel higiénico, preservativos, envolturas plásticas, residuos de comida y cubiertos, entre otros.



**Ilustración 15. Red de alcantarillado sanitario**

Fuente: ESPH S.A., agosto 2020



**Ilustración 16. Viviendas con servicio de alcantarillado por cantón**

Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Acueductos y Alcantarillados (AyA), Ministerio de Salud, agosto 2020

### Pozo de registro

Los pozos de registro son estructuras complementarias a una red de alcantarillado sanitario. Las conexiones entre el pozo y las tuberías, tanto, de entrada, como de salida no deben permitir la infiltración de aguas presentes en la zona. Asimismo, tampoco deben permitir la expulsión de aguas servidas.

Generalmente, éstos son elaborados de concreto ya sea “in situ” o prefabricados.

**Tabla 4. Criterios de instalación para pozos de registro**

Tipo de Red	Distancia Máxima Permitida
<b>Primaria</b>	La distancia máxima entre pozo no debe ser mayor a 120 m.
<b>Secundaria</b>	La distancia máxima entre pozo no debe ser mayor a 120 m.
<b>Terciaria</b>	La distancia máxima entre pozos no debe ser mayor a 40 m en servidumbres o terrenos donde no ingresen vehículos. En tramos rectos la distancia entre dos pozos no debe exceder los 120 m.

Fuente: AyA, agosto 2020

Las redes terciarias deben contar con pozos de registro para las siguientes condiciones: cambio de diámetro, cambio de material de la tubería, inicio e intersección de tuberías, así como los cambios de manera horizontal y vertical, y el cambio en las pendientes.

**Tabla 5. Dimensiones para pozos de concreto reforzado**

Diámetro interno del pozo (m)	Profundidad del pozo (m)	Espesor de pared del pozo (m)	Resistencia del concreto (kg/cm <sup>2</sup> )
1,2	hasta 5,0	0,12	210
1,6	más de 5,0 hasta 8,0	0,12	280
1,8	más de 8,0 hasta 10,0	0,20	280
2,00	más de 10,0 hasta 15,0	0,20	280

Fuente: AyA, agosto 2020

**Tabla 6. Diámetro interno del pozo de registro según la tubería de salida**

Tubería de salida (diámetro nominal mm)	Diámetro interno del pozo (m)			
	Pozo sin caída	Pozo con una caída	Pozo con dos caídas	Pozo con tres caídas
150	1,20	1,40	1,60	1,80
200	1,20	1,40	1,60	1,80
250	1,40	1,60	1,80	2,00
300	1,40	1,60	1,80	2,00
350	1,40	1,60	1,80	2,00
400	1,60	1,80	2,00	2,20

Fuente: AyA, agosto 2020



**Ilustración 17. Pozo de registro**

Fuente: La Nación, agosto 2020

### **Subcolector**

Es la tubería que recibe las aguas servidas de distintas redes de saneamiento, lo cual infiere en el aumento del caudal de recolección para así aumentar el diámetro de la tubería; posteriormente, el subcolector se conecta a un colector.



**Ilustración 18. Subcolector**

Fuente: El siglo de Torreón, agosto 2020

### **Colector**

Los colectores son las tuberías que recolectan las aguas provenientes de los aportes de subcolectores. Posteriormente, puede enviar estas aguas a una estación de bombeo, un interceptor, o bien, directamente a la planta de tratamiento o al tubo emisario.



**Ilustración 19. Colector principal**

Fuente: Iagua, agosto 2020

### **Emisario**

El emisario es la tubería final que recolecta las aguas de uno o más colectores. Su función principal se basa en conducir las aguas residuales a la PTAR. Los emisarios pueden trabajar por gravedad, la cual es una ventaja muy significativa en la parte económica del proyecto siempre y cuando las condiciones topográficas lo permitan. De no ser así, se debe instalar una estación de bombeo.



**Ilustración 20. Tubo emisario**

Fuente: Grupo Cobra, agosto 2020

### **Línea de impulsión**

La línea de impulsión es la tubería encargada de conducir el agua desde un punto de menor altura (captación) a uno de mayor altura que puede ser una PTAR, red de recolección a través de un pozo de registro, un tanque de almacenamiento o una red de distribución. La diferencia de niveles se debe vencer por medio de equipos de bombeo.

Es importante realizar inspecciones en la zona de trabajo, en este caso en la Urbanización Inmaculada Concepción, para recolectar una serie de datos relevantes, como el caudal, desnivel entre el punto de carga y descarga, el tipo de fluido (aguas residuales).



**Ilustración 21. Bomba sumergible**

Fuente: Venta Generadores, agosto 2020

## 2.8 Estación de Bombeo

En el resumen del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, se indica qué es una estación de Bombeo: “Sistema de bombeo que, a través de bombas, elevan las aguas residuales de un punto a otro con mayor elevación, mediante tuberías sometidas a un flujo a presión” (Quesada, 2019, pág.13).

La EBHE26, como menciona la cita anterior, tiene como objetivo proporcionar la energía suficiente en presión para elevar el líquido desde la Urbanización Inmaculada Concepción (menor elevación) hasta un pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este (mayor elevación).

Las estaciones de bombeo son estructuras que comprenden distintos campos de la ingeniería como lo son la obra civil, mecánica, eléctrica. Éstas deben estar compuestas por más de una bomba. Además, están constituidas por distintos equipos, accesorios y tuberías para recolectar las aguas desde una fuente directa o indirecta de suministro.

Este sistema debe contar siempre con una bomba extra de respaldo, es decir, si por alguna razón la bomba principal se daña y queda fuera de servicio, la otra debe quedar funcionando de tal manera que pueda controlar el caudal establecido; asimismo, deben programarse los sistemas de "bomba encendida" y "bomba apagada" para controlar los arranques y paradas de la bomba, de tal forma que el cárcamo no se llene en su totalidad.

Las condiciones por las cuales se necesita optar por una estación de bombeo son muy diversas. Como explica la definición anterior, la idea es elevar las aguas de una menor cota a una mayor cota. En la vida real, se puede percibir esta idea en variaciones significativas de la topografía, donde definitivamente la gravedad no es suficiente para elevar un líquido o en casos más severos la energía es igual a cero.

La ecuación de Bernoulli se puede considerar como una apropiada declaración del principio de la conservación de la energía para el flujo de fluidos. El comportamiento cualitativo evocado, normalmente, con el término "efecto de Bernoulli" es el descenso de la presión del líquido en las regiones donde la velocidad del flujo es mayor. Este descenso de presión por un estrechamiento de una vía de flujo puede parecer contradictorio, pero no tanto cuando se considera la presión como una densidad de energía. En el flujo de alta velocidad a través de un estrechamiento, se debe incrementar la energía cinética a expensas de la energía de presión (HyperPhysics1, s.f., p.1):

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1)$$

Donde:

g: aceleración debido a la gravedad.

$P_1$  y  $P_2$ : presión sobre la superficie del líquido en los puntos 1 y 2, respectivamente.

$\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ : peso específico del fluido a la temperatura de bombeo.

$Z_1$ ,  $Z_2$ : carga de elevación.

$V_1$ ,  $V_2$ : velocidad que experimenta el fluido en los puntos 1 y 2, respectivamente.

Sin embargo, la ecuación de Bernoulli presenta algunas restricciones para su uso como las siguientes:

- Solo es válida para fluidos incompresibles.
- Entre las dos secciones en interés, no puede haber dispositivos mecánicos como bombas, motores de fluidos o turbinas.
- No puede haber pérdida de energía por la fricción o turbulencia que generan válvulas y accesorios en el sistema de flujo.
- No puede existir transferencia de calor hacia el sistema o fuera de éste (Mott, 2006, pág. 198).

Para compensar las restricciones de la ecuación de Bernoulli, se utiliza la ecuación general de la energía que permite solucionar los problemas donde hay pérdida y ganancia de energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_b - h_l - h_f = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

Donde:

$P_1$  y  $P_2$ : presión sobre la superficie del líquido en los puntos 1 y 2, respectivamente.

$\gamma_1, \gamma_2$ : peso específico del fluido a la temperatura de bombeo.

$Z_1, Z_2$ : carga de elevación.

$V_1, V_2$ : Velocidad que experimenta el fluido en los puntos 1 y 2, respectivamente.

$g$ : aceleración debido a la gravedad.

$h_b$ : energía que se agrega al fluido por medio de una bomba.

$h_l$ : pérdidas de energía locales en el fluido generada por accesorios.

$h_f$ : pérdidas de energía por la fricción en la tubería.

### 2.8.1 Tipos de estaciones de bombeo

Usualmente, se clasifican en primarias y secundarias por medio de las funciones que éstas cumplan y sus características respectivas. Además, se caracterizan por ser de una o dos cámaras.

**Estación de una cámara:** esta configuración se compone de un solo cárcamo de bombeo, donde se encuentran la entrada de agua, el almacenamiento de las aguas y el equipo de bombeo, que, normalmente, se colocan bombas sumergibles, las cuales se enfocan en la aplicación de este proyecto.

**Estaciones de dos cámaras:** está conformada por dos cárcamos, donde uno de éstos se dispone para la entrada y almacenamiento de agua, el cual puede ser un pozo natural o una estructura hecha por el hombre. Posteriormente, se conecta a la bomba por medio de una tubería de succión, la cual no debe de sufrir cavitaciones para evitar el daño anticipado de la bomba; asimismo, el otro cárcamo se dispone como un punto de descarga.

### 2.9 Métodos de instalación

Como se ha mencionado, dependiendo de las condiciones del proyecto, las estaciones de bombeo pueden ser instaladas de manera superficial o subterránea siempre y cuando garanticen un funcionamiento constante y seguro.

### 2.9.1 Estación superficial

Éstas se deben instalar en un terreno adecuado para su funcionamiento sobre el nivel  $\pm 0.000$ , cumpliendo con el retiro mínimo de los linderos, según lo establece el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Dicho sistema cuenta con tuberías de impulsión para el transporte de las aguas. Esta configuración de estación debe contener los siguientes elementos físicos:

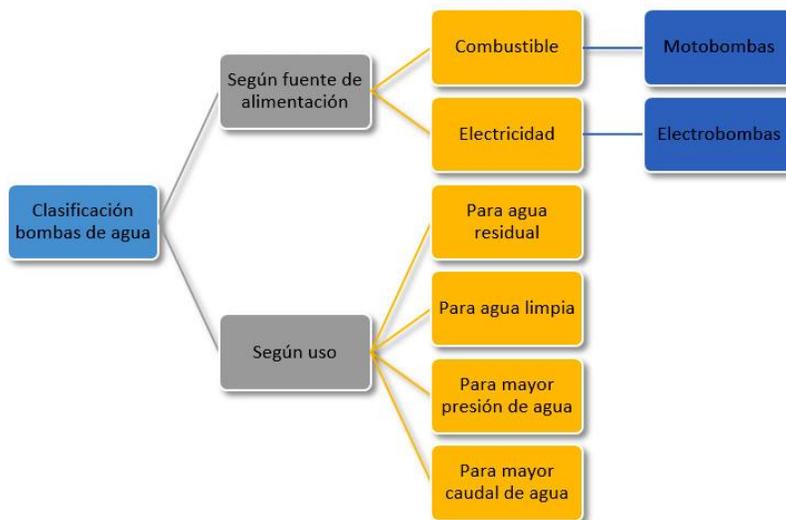
**Canal de entrada:** esta estructura se encarga de la entrada del líquido al cárcamo de bombeo. El ingreso debe ser contralado sin generar movimientos que puedan afectar la estabilidad de la estructura. Por eso, se procura colocar un instrumento que guíe el líquido que reduzca la entrada turbulenta del agua. Sin embargo, en relación con las aguas servidas, este canal de entrada debe ser cerrado y evitar altas velocidades que puedan generar espumas en el fondo del tanque e ingresen a las bombas. Lo anterior es perjudicial para estos equipos, ya que puede dañarlos antes de tiempo.

**Dispositivo para la retención de sólidos:** este componente puede ser una caja de acero y debe fabricarse de acero inoxidable, debe ser capaz de contener sólidos grumos mayores de 25 mm de diámetro; asimismo esta debe diseñarse a partir del caudal de entrada a la estación de bombeo. Para su debido mantenimiento la cisterna debe tener un acceso para la limpieza de este dispositivo de retención.

**Tanque cisterna:** el tanque puede construirse de manera circular, cuadrado o rectangular, dependiendo de las condiciones del proyecto. Éste debe cumplir con el objetivo de recibir y retener las aguas por un determinado tiempo. El volumen de éste se debe realizar en función del caudal y la cantidad de bombas a instalarse incluyendo la potencia de éstas.

**Equipo de bombeo:** las bombas se encargan de transformar la energía mecánica en energía hidráulica de tal manera para elevar el agua. Todas poseen un orificio o tubo de succión y otro de salida o impulsión; éstas deben estar en función del caudal a bombear y deben ser al menos dos unidades como se ha mencionado anteriormente debido a que la segunda funge como un factor de seguridad en caso de que haya una falta energía eléctrica, reparaciones en pozos o algún evento inoportuno; además, permite alternar su operación.

Estos equipos son alimentados por distintas fuentes de alimentación, como electricidad, combustible, gas natural y energía solar, entre otras.



**Ilustración 22. Clasificación de bombas y fuentes de energía**

Fuente: De máquinas y herramientas, agosto 2020

**Tubería de impulsión:** para las líneas de impulsión, se toma como base una serie de criterios y parámetros, iniciando en las condiciones a las que se encuentra sometida la tubería como son su entorno y el tipo de fluido que conduce al punto de descarga.

**Válvulas:** las válvulas son accesorios que habilitan la entrada y/o salida de líquido (agua) para que el valor límite prefijado no sea sobrepasado por la presión máxima en el interior de la tubería. Éstas se instalan en redes hidráulicas, estaciones de bombeo y en dimensiones más pequeñas en los hogares.

Cuando estos componentes se ensamblen por medio de bridas hacia la tubería, es fundamental que se instalen con los elementos de ajuste como los tornillos, tuercas, arandelas planas, arandelas de presión y empaques para evitar un fallo y que se generen fugas de agua. Además, todas deben contar con la marca de la fábrica impresa, troquelada en el cuerdo de la válvula. Asimismo, es importante incluir las normas técnicas de las válvulas, especificaciones de instalación y desmontaje, y especificar para qué tipo de sistema se va a utilizar este artefacto (*aguas residuales*) en los planos constructivos.

Los fabricantes de válvulas en los catálogos suministran datos de rendimiento, lo cual permite elegir la válvula que se ajuste mejor al diseño.

**Caseta de control de motores (CCM):** la estación de bombeo se debe adaptar con sistemas de control y protección dentro de una caseta o centro de control de motores (CCM), el cual es un

tablero que protege los sistemas de circuitos que están conformados principalmente por motores y sus respectivos arrancadores, reduciendo significativamente los costos debido a que su cableado se puede configurar para realizar un proceso específico automáticamente. Ello permite que los procesos de operación y supervisión sean mínimos, sin embargo, los mantenimientos preventivos no se deben limitar por esta función. La instalación se debe realizar en la propiedad donde se instale la estación de bombeo.

La CCM debe controlar el sistema y la protección de los equipos de bombeo por medio de los siguientes mecanismos:

- **Automatización:** por medio de la programación de este método, las bombas se deben activar y desactivar dependiendo del nivel de agua en el cárcamo de bombeo. De no ser así, el agua puede llegar a rebalsarse; esta automatización debe permitir que las bombas trabajen el mismo número de horas incluyendo la de respaldo.

En el diseño, se deben integrar elementos de control y protección como:

- Protectores térmicos
  - Control del encendido y apagado
  - Control del nivel de rebalse
  - Controles de presión.
  - Medidores de caudal
  - Protectores para los picos de voltaje
- **Telemetría:** consta de un elemento transmisor, en este caso, son los sensores en la estación de bombeo que envía las señales al receptor en este caso la CCM. Los controles mínimos en este mecanismo son:
    - Fallo en el grupo electrógeno
    - Fallo en el compresor
    - Presencia de intrusos
    - Fallo de juntas mecánicas
    - Temperatura de cojinetes
    - Temperatura de bobinados
    - Fallo en el generador de emergencia
    - Detección de gases nocivos
    - Pérdida de la reserva

- Entrada en funcionamiento de la bomba de reserva.
- Caudales
- Fallo en bombas de reserva
- Salto de térmicos



**Ilustración 23. Estación de bombeo superficial**

Fuente: INGENIO<sup>XYZ</sup>, agosto 2020

### 2.9.2 Estación subterránea

Cuando las condiciones no son adecuadas, ya sea por aspectos ambientales, económicos, legales, sociales o técnicos, por lo general, se construyen en calle pública de manera subterránea. Igualmente, cuenta con tuberías de impulsión, válvulas que habiliten la entrada y salida de agua. Además, los sistemas de control se deben colocar en un poste de alumbrado público o en un gabinete sobre la zona verde contigua a la acera.

Por otra parte, los componentes que debe considerar son los siguientes:

**Canal de entrada:** al ser una estación de una sola cámara, el canal de entrada se conecta directamente al tanque y la tubería debe colocarse frente a los rieles guía de acero inoxidable por donde se bajan las bombas y en paralelo a éstas. El agua no debe llegar en flujo turbulento.

**Canasta o rejilla para retención de sólidos:** se debe adaptar una canasta para la recolección de sólidos o se acepta el uso de una rejilla automática empacadora de sólidos. Debe indicarse en los planos el sistema que se llegue a utilizar.

**Cárcamo o pozo de bombeo:** puede construirse de manera circular, cuadrado o rectangular, dependiendo de las condiciones del proyecto.

**Equipo de bombeo:** usualmente, en las estaciones subterráneas, se utilizan bombas sumergibles anti-atasco, debido a que, en la parte interior, cuentan con un sistema de aspas, las cuales muelen todo tipo de objetos sólidos que puedan generar obstrucciones en el sistema. Al igual que en las estaciones superficiales, se debe colocar una bomba extra como “factor de seguridad”.

**Sistema de control en gabinete:** la CCM se debe colocar en la zona verde contiguo a la acera o en un poste de alumbrado público.



**Ilustración 24: Estación de bombeo subterránea**

Fuente: Direct Industry, agosto 2020

Ambos métodos de instalación (*superficial o subterránea*) de bombas deben contar un sistema de generación eléctrica de emergencia. Los artefactos que compongan este sistema deben cumplir con la reglamentación técnica dedicada para cada uno de ellos. El sistema de generación debe contar con los siguientes componentes:

- Gabinete
- Tanque de combustible
- Generador
- Motor
- Sistema de escape y de enfriamiento
- Tablero de transferencia
- Sistema de control (arranque y carga)
- Sistema de soporte para el sistema de generación eléctrica

El tanque de almacenamiento debe cumplir con ciertos parámetros indicados en el Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos para su respectivo almacenamiento de combustible e instalarse con respecto a distintos criterios técnicos. En casos de emergencia o averías, el tanque de combustible debe trabajar durante 8 horas seguidas de manera autónoma.

## **2.10 Datos preliminares de diseño**

La información preliminar de diseño es el conjunto de datos extraídos de varias fuentes de información para el análisis previo. La verificación de los datos juega un papel muy importante debido a que es la revisión del estado del conocimiento, el cual se debe aplicar para el diseño de la estructura; cabe recalcar que se debe aplicar la normativa costarricense para el diseño.

### **2.10.1 Parámetros mecánicos**

#### **2.10.1.1 Período de diseño**

El periodo de diseño es un “factor de diseño” que determina el tiempo en el cual las obras son eficientes sin generar costos de operación y mantenimiento elevados. Cabe recalcar que se debe diferenciar entre periodo de diseño y vida útil que se define como el periodo de una estructura para cumplir correctamente con su función, debido a que tiende a generar confusiones.

Es determinado por la capacidad hidráulica o funcional del sistema, más allá del cual no funcionará satisfactoriamente. Este período está comprendido en años desde la fecha del diseño original hasta una futura, cuando la capacidad del sistema es alcanzada. Un análisis de los períodos de diseño debe tomar en cuenta lo siguiente: a) que el equipo llegue a ser obsoleto, b) su uso y desgaste, c) la posibilidad de futuras expansiones, d) la facilidad o dificultad de llevar a cabo la expansión, e) la eficiencia en el funcionamiento del sistema durante sus primeros años, cuando no está operando a plena capacidad. Al escoger los períodos de diseño, debe evitarse la imposición de una carga financiera indebida a los usuarios actuales del sistema. La selección cuidadosa del periodo es aún más importante para asegurar que el costo del sistema sea compartido equitativamente por los usuarios actuales y futuros (Carmona, 2019, p.268).

En Costa Rica, el periodo de diseño para estaciones de bombeo de aguas residuales es de 20 a 25 años, tomando en cuenta los análisis mencionados anteriormente.

### 2.10.1.2 Volumen del cárcamo

El volumen mínimo de los tanques o cárcamos está en función del caudal, de la cantidad de bombas (más de dos) por instalarse, incluyendo la potencia y la secuencia de funcionamiento, tomando en cuenta que el tiempo de retención de aguas máximo no debe exceder los 30 minutos.

El ciclo de bombeo se refiere al número de arranques de una bomba en una hora, aplicando una lógica que, para un cárcamo de menor volumen, el tiempo de llenado es menor. Por lo tanto, la cantidad de arranques debe ser mayor en comparación con un tanque de mayor volumen.

Otro criterio de diseño menciona que, para bombas sumergibles, la máxima cantidad de arranques debe ser 8, para bombas horizontales y verticales debe ser 5 y, en general, todas deben arrancar cada hora en la noche. En Costa Rica, el límite máximo de arranques no debe superar los 10 arranques y la bomba seleccionada no debe trabajar más de 5 minutos.

**Tabla 7. Número de arranques por hora según la potencia nominal de los motores**

CUADRO 11.1	
NÚMERO DE ARRANQUES POR HORA SEGÚN POTENCIA NOMINAL (MOTORES)	
Potencia (Kw)	Número arranques / hora
Menor de 11	De 12 a 20
De 11 a 37	De 10 a 17
Mayor de 37 a 110	De 8 a 14
Mayor de 110 a 160	De 7 a 12
Mayor de 160	De 5 a 10

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, agosto 2020

### 2.10.1.3 Caudal de diseño

El caudal de diseño es el parámetro obtenido previamente para realizar los distintos análisis preliminares para así, luego, realizar el diseño de la estructura en general. Éste se obtiene a partir de la adición de un tramo de tubería más el acumulado correspondiente hasta llegar al nivel de menor cota del cárcamo de bombeo, considerando las aportaciones de los siguientes caudales promedio:

**Caudal promedio de aguas residuales tipo ordinario ( $Q_{\text{paro}}$ ):** se debe calcular aplicando la fórmula:

$$Q_{\text{paro}} = FR * Q_{\text{pap}} \quad (3)$$

Donde:

- Factor de retorno (FR)= 0,80
- Q<sub>paro</sub>: caudal promedio diario de agua potable, según las dotaciones establecidas en la Normativa del AyA.

**Caudal promedio de agua residual especial (Q<sub>pare</sub>):** se calcula especialmente para la actividad que se vaya a desarrollar.

El caudal promedio de agua residual especial tratada se debe calcular para cada caso particular según la actividad.

**Contribuciones externas (Q<sub>ext</sub>):** son las aguas provenientes de fuentes adyacentes externas ya sean actuales o futuras.

**Aguas de infiltración (Q<sub>inf</sub>):** según el material de la tubería, ya sea concreto o PVC, este caudal se establece como 0.25 l/s/km.

Por lo tanto, para el cálculo de caudal promedio de aguas residuales (Q<sub>par</sub>), se deben sumar los caudales mencionados:

$$Q_{par} = Q_{paro} + Q_{pare} + Q_{ext} \quad (4)$$

Por lo tanto, el volumen del tanque se debe obtener por medio del caudal máximo de llegada a la estación y de cumplir con el caudal mínimo de llegada a la estación; cabe recalcar que éste no debe ser menor a 1.5 l/s. Los caudales mínimos y máximos se deben multiplicar por su factor de demanda máxima respectivo.

Una vez determinado el promedio de aguas servidas en la red que descarga en la estación de bombeo, se debe determinar el caudal del bombeo (Q<sub>BE</sub>) por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{BE} = (Q_{paro} * FMD + Q_{inf}) * \left(\frac{24}{N}\right) \quad (5)$$

Donde:

Q<sub>BE</sub>: caudal de bombeo de la estación

Q<sub>paro</sub>: caudal promedio de aguas residuales

FMD: factor máximo diario igual a 1,25 según el AyA

Q<sub>inf</sub>: caudal de infiltración con un valor de 0,1 Q<sub>par</sub> por recomendación del AyA

N: número de horas de bombeo, el AyA sugiere que N sea mayor a 12

**Caudal mínimo de diseño ( $Q_{min}$ ):**

$$Q_{min} = FMD * Q_{paro} + Q_{inf} \quad (6)$$

Factor Máximo Diario (FMD) = 1.2

**Caudal máximo de diseño ( $Q_{max}$ ):**

$$Q_{max} = Q_{paro} * FMD * FMH + Q_{inf} \quad (7)$$

Factor Máximo Horario (FMH) = 1,80

**2.10.1.4 Velocidad**

Para el cálculo de la velocidad, se aplica la ecuación de la continuidad.

$$V=Q*A \quad (8)$$

Donde:

V: velocidad del flujo (m/s)

Q: caudal en operación (m<sup>3</sup>/s)

A: área de la tubería en función del diámetro interno (m<sup>2</sup>)

**2.10.1.5 Pérdidas**

Para la obtención de las pérdidas por fricción, se utiliza, como criterio de cálculo, la ecuación debida a Hazen-Williams y se obtiene lo siguiente:

$$h_f = \left( \frac{10.679}{C^{1.852} * D^{4.781}} \right) (Q^{1.852} * L) \quad (9)$$

Donde:

$h_f$ : pérdidas por fricción (m)

C: coeficiente de Hazen-Williams

D: diámetro interno de la tubería (m)

Q: caudal de operación (m<sup>3</sup>/s)

L: longitud de la línea de impulsión (m)

**Tabla 8. Coeficiente C para la ecuación de Hazen-Williams**

Material	Valor máximo de C (Adimensional)
Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	130
Cloruro de Polivinilo (PVC)	130
Concreto	120 - 140
Hierro galvanizado	120
Hierro dúctil	120
Hierro fundido <sup>a</sup>	130
Hierro fundido (10 años de edad)	107 - 113
Hierro fundido (20 años de edad)	89 - 100
Hierro fundido (30 años de edad)	75 - 90
Hierro fundido (40 años de edad)	64 - 83
Acero	130
Acero <sup>a</sup>	140 - 150
Acero rolado	110
Cobre	130 - 140

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, agosto 2020

Las pérdidas locales o pérdidas en los accesorios se calculan con la ecuación para pérdidas locales en conductos a presión por medio del método de coeficiente de resistencia K.

$$h_l = K * \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (10)$$

Donde:

$h_l$ : pérdidas locales (m)

K: coeficiente de resistencia

v: velocidad del flujo (m/s)

g: aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Para el cálculo, se utilizan los valores recomendados por Sotelo para diferentes grados de curvatura de las tuberías:

 $K_s = 0.016$ $K_r = 0.024$	 $K_s = 0.034$ $K_r = 0.044$	 $K_s = 0.042$ $K_r = 0.062$	 $K_s = 0.066$ $K_r = 0.154$																																																																										
 $K_s = 0.112$ $K_r = 0.284$	 $K_s = 0.150$ $K_r = 0.268$	 $K_s = 0.143$ $K_r = 0.227$	 $K_s = 0.108$ $K_r = 0.236$																																																																										
 $K_s = 0.130$ $K_r = 0.165$	 $K_s = 0.202$ $K_r = 0.323$	 $K_s = 0.400$ $K_r = 0.534$	 $K_s = 0.400$ $K_r = 0.601$																																																																										
*Valor óptimo de $\alpha$ , Interpolado																																																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\%D</math></th> <th><math>K_s</math></th> <th><math>K_r</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.71</td><td>0.507</td><td>0.510</td></tr> <tr><td>0.943</td><td>0.350</td><td>0.415</td></tr> <tr><td>1.174</td><td>0.333</td><td>0.384</td></tr> <tr><td>1.42</td><td>0.261</td><td>0.377</td></tr> <tr><td>1.50*</td><td>0.280</td><td>0.376</td></tr> <tr><td>1.86</td><td>0.289</td><td>0.350</td></tr> <tr><td>2.56</td><td>0.355</td><td>0.423</td></tr> <tr><td>3.14</td><td>0.346</td><td>0.426</td></tr> <tr><td>3.72</td><td>0.356</td><td>0.460</td></tr> <tr><td>4.89</td><td>0.389</td><td>0.455</td></tr> <tr><td>5.59</td><td>0.392</td><td>0.444</td></tr> <tr><td>6.28</td><td>0.391</td><td>0.444</td></tr> </tbody> </table>	$\%D$	$K_s$	$K_r$	0.71	0.507	0.510	0.943	0.350	0.415	1.174	0.333	0.384	1.42	0.261	0.377	1.50*	0.280	0.376	1.86	0.289	0.350	2.56	0.355	0.423	3.14	0.346	0.426	3.72	0.356	0.460	4.89	0.389	0.455	5.59	0.392	0.444	6.28	0.391	0.444	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\%D</math></th> <th><math>K_s</math></th> <th><math>K_r</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.188</td><td>0.120</td><td>0.294</td></tr> <tr><td>1.40</td><td>0.125</td><td>0.252</td></tr> <tr><td>1.50*</td><td>0.124</td><td>0.260</td></tr> <tr><td>1.63</td><td>0.124</td><td>0.266</td></tr> <tr><td>1.86</td><td>0.117</td><td>0.272</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>0.096</td><td>0.317</td></tr> <tr><td>2.40*</td><td>0.096</td><td>—</td></tr> <tr><td>2.91</td><td>0.108</td><td>0.317</td></tr> <tr><td>3.49</td><td>0.130</td><td>0.318</td></tr> <tr><td>4.65</td><td>0.148</td><td>0.310</td></tr> <tr><td>6.05</td><td>0.142</td><td>0.313</td></tr> </tbody> </table>	$\%D$	$K_s$	$K_r$	1.188	0.120	0.294	1.40	0.125	0.252	1.50*	0.124	0.260	1.63	0.124	0.266	1.86	0.117	0.272	2.325	0.096	0.317	2.40*	0.096	—	2.91	0.108	0.317	3.49	0.130	0.318	4.65	0.148	0.310	6.05	0.142	0.313
$\%D$	$K_s$	$K_r$																																																																											
0.71	0.507	0.510																																																																											
0.943	0.350	0.415																																																																											
1.174	0.333	0.384																																																																											
1.42	0.261	0.377																																																																											
1.50*	0.280	0.376																																																																											
1.86	0.289	0.350																																																																											
2.56	0.355	0.423																																																																											
3.14	0.346	0.426																																																																											
3.72	0.356	0.460																																																																											
4.89	0.389	0.455																																																																											
5.59	0.392	0.444																																																																											
6.28	0.391	0.444																																																																											
$\%D$	$K_s$	$K_r$																																																																											
1.188	0.120	0.294																																																																											
1.40	0.125	0.252																																																																											
1.50*	0.124	0.260																																																																											
1.63	0.124	0.266																																																																											
1.86	0.117	0.272																																																																											
2.325	0.096	0.317																																																																											
2.40*	0.096	—																																																																											
2.91	0.108	0.317																																																																											
3.49	0.130	0.318																																																																											
4.65	0.148	0.310																																																																											
6.05	0.142	0.313																																																																											
 $K_s = 0.130$ $K_r = 0.165$	 $K_s = 0.202$ $K_r = 0.323$	 $K_s = 0.400$ $K_r = 0.534$	 $K_s = 0.400$ $K_r = 0.601$																																																																										
 $K_s = 0.188$ $K_r = 0.320$	 $K_s = 0.202$ $K_r = 0.323$	 $K_s = 0.400$ $K_r = 0.534$	 $K_s = 0.400$ $K_r = 0.601$																																																																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\%D</math></th> <th><math>K_s</math></th> <th><math>K_r</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.23</td><td>0.185</td><td>0.347</td></tr> <tr><td>1.44</td><td>0.196</td><td>0.320</td></tr> <tr><td>1.67</td><td>0.150</td><td>0.300</td></tr> <tr><td>1.70*</td><td>0.149</td><td>0.299</td></tr> <tr><td>1.91</td><td>0.154</td><td>0.312</td></tr> <tr><td>2.37</td><td>0.167</td><td>0.337</td></tr> <tr><td>2.96</td><td>0.172</td><td>0.342</td></tr> <tr><td>4.11</td><td>0.190</td><td>0.354</td></tr> <tr><td>4.70</td><td>0.192</td><td>0.360</td></tr> <tr><td>6.10</td><td>0.201</td><td>0.360</td></tr> </tbody> </table>	$\%D$	$K_s$	$K_r$	1.23	0.185	0.347	1.44	0.196	0.320	1.67	0.150	0.300	1.70*	0.149	0.299	1.91	0.154	0.312	2.37	0.167	0.337	2.96	0.172	0.342	4.11	0.190	0.354	4.70	0.192	0.360	6.10	0.201	0.360	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\%D</math></th> <th><math>K_s</math></th> <th><math>K_r</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.23</td><td>0.157</td><td>0.300</td></tr> <tr><td>1.67</td><td>0.156</td><td>0.378</td></tr> <tr><td>2.37</td><td>0.143</td><td>0.264</td></tr> <tr><td>3.77</td><td>0.160</td><td>0.242</td></tr> </tbody> </table>	$\%D$	$K_s$	$K_r$	1.23	0.157	0.300	1.67	0.156	0.378	2.37	0.143	0.264	3.77	0.160	0.242																											
$\%D$	$K_s$	$K_r$																																																																											
1.23	0.185	0.347																																																																											
1.44	0.196	0.320																																																																											
1.67	0.150	0.300																																																																											
1.70*	0.149	0.299																																																																											
1.91	0.154	0.312																																																																											
2.37	0.167	0.337																																																																											
2.96	0.172	0.342																																																																											
4.11	0.190	0.354																																																																											
4.70	0.192	0.360																																																																											
6.10	0.201	0.360																																																																											
$\%D$	$K_s$	$K_r$																																																																											
1.23	0.157	0.300																																																																											
1.67	0.156	0.378																																																																											
2.37	0.143	0.264																																																																											
3.77	0.160	0.242																																																																											

$K_s$  = Coeficiente de pérdida para una superficie lisa.  
 $K_r$  = Coeficiente de pérdida para una superficie rugosa,  $\frac{L}{D} = 0.0022$ .

### Ilustración 25. Valores de coeficiente $K$ de pérdida para curvas compuestas

Fuente: Universidad Estatal Paulista Júlio de Mesquita Filho, agosto 2020

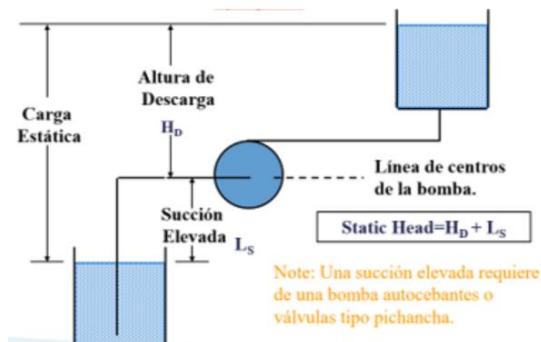
Asimismo, existe un criterio práctico para el cálculo de pérdidas locales en las líneas de impulsión, el cual consiste en considerar un 5% para las pérdidas locales.

También confirman por qué se ignoran muchas veces estas pérdidas, ya que las variaciones entre los valores encontrados para las pérdidas a lo largo de las conducciones oscilan alrededor de un 20% entre las obtenidas con el método de Darcy comparadas con el método de Hazen-Williams. Mientras tanto, si se compara Hazen-Williams con Manning, se obtienen diferencias de un 10% (Estudio de factibilidad para el alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales para los cantones de Heredia, San Rafael y San Isidro, y diseño de la primera etapa de construcción, s.f., pág.9).

Para el Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, la ESPH S.A. utiliza la ecuación de Hazen-Williams para el cálculo de pérdidas locales, por lo cual se aplica el criterio de ignorar dichas pérdidas. No obstante, para este proyecto, se aplica el criterio de considerar, en un 5%, las pérdidas locales.

### 2.10.1.6 Carga Estática (Hst)

La carga estática es la diferencia de nivel que existe entre el nivel inferior de agua del punto de aspiración y el nivel superior de agua del punto de descarga.



**Ilustración 26. Esquemización de la carga estática.**

Fuente: FESMEX, agosto 2020.

### 2.10.1.7 Carga Dinámica Total (CDT)

La carga dinámica total es la resistencia que ejerce un fluido en movimiento al equipo de bombeo. Ésta se calcula mediante la sumatoria de la carga estática, más la sumatoria de las pérdidas por fricción y pérdidas por accesorios (locales).

### 2.10.1.8 Sobrepresión por golpe de ariete

Para las líneas de impulsión, se deben revisar las sobrepresiones por el golpe de ariete ocasionadas por el cierre de válvulas, arranque y paro de los equipos de bombeo. Dicho valor se obtiene por medio de la ecuación de Joukowski:

$$\Delta h_{ga} = \frac{145v}{\sqrt{1 + \frac{Ea(D)}{Et(t)}}} \quad (11)$$

Donde:

$\Delta h_{ga}$ : sobrepresión por golpe de ariete (m.c.a.)

V: velocidad (m/s)

Ea: módulo de elasticidad del agua igual a 20670 kg/cm<sup>2</sup>

Et: módulo de elasticidad del material de la tubería

D: diámetro del tubo en m

T: espesor de la pared del tubo en m

Por lo tanto, si el valor obtenido de la fórmula de sobrepresión por golpe de ariete es menor a la presión que soporta la tubería, esto quiere decir que la tubería sí cumple con la demanda.

Presión de la tubería  $> \Delta h_{ga}$ ,  $\therefore$  Sí cumple

### 2.10.1.9 Potencia y eficiencia

La potencia se refiere a la rapidez con la cual se transfiere la energía. En unidades del Sistema Internacional de Medidas (SI), la potencia se mide en watt (W):

$$P_a = \frac{\gamma * h_b * Q}{n} \quad (12)$$

Donde:

$P_a$ : potencia de la bomba

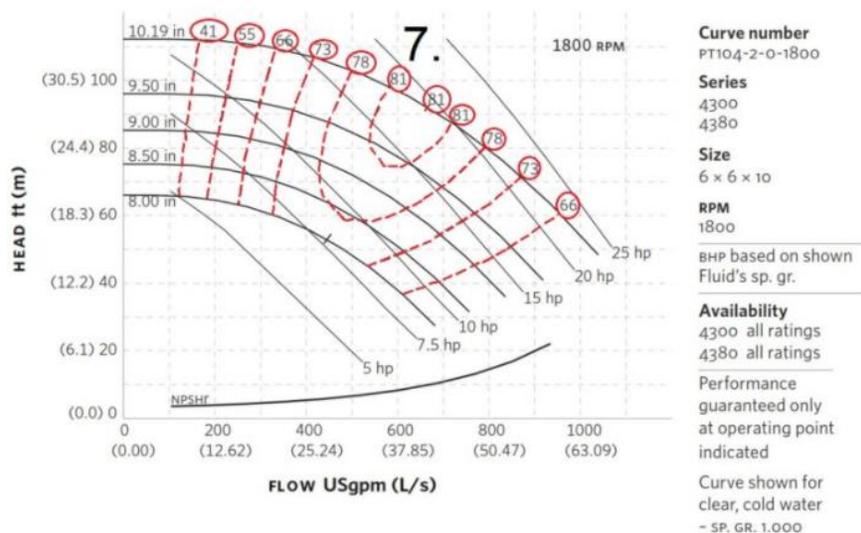
$\gamma$ : peso específico del fluido

$H_b$ : carga a ser bombeada

$Q$ : caudal a ser bombeado

$n$ : eficiencia

“La eficiencia de la bomba hidráulica se considera técnicamente como una relación de la salida del caudal real a la salida del caudal teórico de la bomba” (Doyle, 2018, párr. 1). Cabe destacar que el valor “n” es menor a 1.0, además de que el valor de la eficiencia generalmente es un dato brindado por los fabricantes de estos equipos en los gráficos de rendimientos.



**Ilustración 27. Gráfico de eficiencia de una bomba**

Fuente: Aquasistemas, agosto 2020

### 2.10.1.10 Altura Neta Positiva de Aspiración Disponible o Carga de Succión Neta Disponible (NPSH<sub>D</sub>)

En inglés las siglas significan Net Positive Suction Head Available o carga de succión neta disponible es una reserva de energía de presión que debe ser controlada y representa la carga de succión disponible del sistema con el que cuenta el sistema. Ésta depende de las pérdidas de energía en el tubo de aspiración, altura del punto de descarga, presión de vapor del líquido (en el caso de aguas residuales se utilizan los valores de agua potable). El cálculo de la NPSH<sub>Disp</sub> se obtiene por medio de la fórmula:

$$NPSH_{Disponible} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_{vap}}{\gamma} \pm z_s - h_{TS} - \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

Donde:

P<sub>atm</sub>: presión atmosférica

P<sub>vap</sub>: presión de vapor

γ: peso específico del fluido

P<sub>vol</sub>: peso volumétrico

Z<sub>s</sub>: distancia entre la parte superior del pozo de succión y el centro de la tubería de impulsión

h<sub>ts</sub>: pérdidas totales

El valor obtenido por medio de la NPSH<sub>Disp</sub> se debe comparar con el valor requerido por la bomba seleccionada, es decir, el Net Positive Suction Head Required o Carga de Succión Neta Requerida, el cual se extrae de los catálogos brindados por los fabricantes.

$NPSH_D > 0$ : esto evita que ocurra cavitación en la tubería.

$NPSH_D > NPSH_R$  : evita cavitación en la bomba.

El factor de seguridad para el diseño de bombas se debe calcular por medio de la expresión:

$$FS = \frac{NPSH_D}{NPSH_R} : \text{ se recomienda entre 1,2 y 1,4}$$

**Tabla 9. Presión atmosférica a distintas alturas**

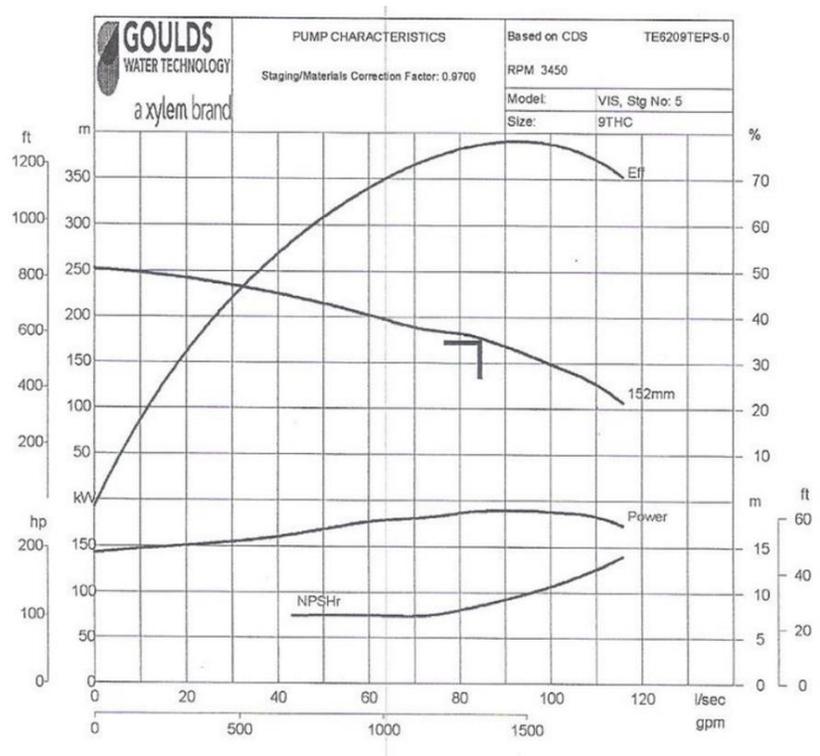
h (m)	P atm. (m)						
0	10,33	1000	9,11	2000	8,04	3000	7,10
100	10,20	1100	9,00	2100	7,94	3100	7,01
200	10,08	1200	8,89	2200	7,85	3200	6,93
300	9,92	1300	8,78	2300	7,75	3300	6,84
400	9,83	1400	8,67	2400	7,65	3400	6,76
500	9,69	1500	8,56	2500	7,56	3500	6,68
600	9,53	1600	8,45	2600	7,47	3600	6,60
700	9,43	1700	8,34	2700	7,37	3700	6,52
800	9,34	1800	8,24	2800	7,28	3800	6,43
900	9,23	1900	8,14	2900	7,19	3900	6,35

Fuente: Ing. Michael Sánchez Guerrero, agosto 2020

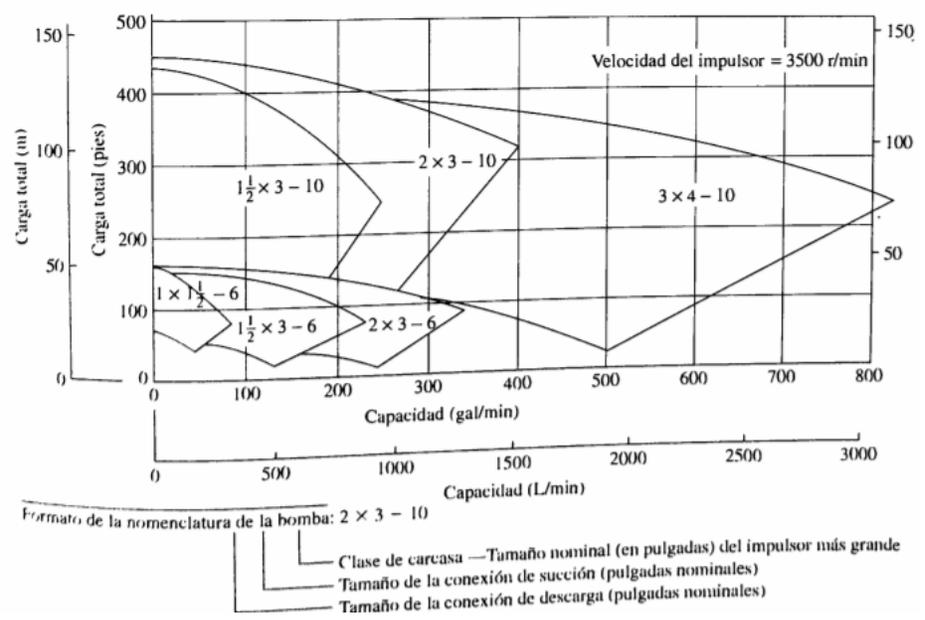
**Tabla 10. Presión de vapor del agua**

Temperatura [°C]	Presión de vapor [mca]	Temperatura [°C]	Presión de vapor [mca]
0	0,067628	21	0,27514
1	0,072699	22	0,29252
2	0,078113	23	0,31090
3	0,083870	24	0,33017
4	0,090004	25	0,35054
5	0,096526	26	0,37202
6	0,103468	27	0,39461
7	0,110853	28	0,41830
8	0,118692	29	0,44332
9	0,127018	30	0,46956
10	0,135853	31	0,49724
11	0,145220	32	0,52625
12	0,155163	33	0,55681
13	0,165692	34	0,58881
14	0,176853	35	0,62247
15	0,188656	36	0,65768
16	0,201156	37	0,69466
17	0,214376	38	0,73341
18	0,22830	39	0,77404
19	0,24314	40	0,81656
20	0,25875	41	0,86107

Fuente: Ing. Michael Sánchez Guerrero, agosto 2020



**Ilustración 28. Gráfica de rendimientos para una línea de bombas**  
Fuente: GOULDS WATER TECHNOLOGY, agosto 2020



**Ilustración 29: Gráfica para la elección de bombas**  
Fuente: Mecánica de fluidos, Robert L. Mott, agosto 2020

### **2.10.1.11 Par de arranque**

El par de arranque es el momento que realiza el motor para arrancar debido a las condiciones de inercia en las que se encuentra y poder operar.

### **2.10.1.12 Configuraciones de bombeo**

La configuración del sistema de bombeo puede variar dependiendo de lo que se quiere obtener, es decir, si un mayor flujo de caudal o proporcionar una mayor altura; las configuraciones se clasifican en paralelo y en serie.

**En serie:** este tipo de configuración sistemática se emplea cuando se requiere elevar un caudal a alturas muy elevadas, para lograrlo se requiere vencer resistencias mayores debido a la longitud de conducción, por lo tanto, la carga de bombeo es igual la suma de los valores de las bombas.

**Paralelo:** con respecto a las configuraciones de las bombas, el libro *Mecánica de Fluidos* menciona que:

Muchos sistemas de flujo de fluidos requieren flujos volumétricos que varían mucho por lo que son difíciles de obtener con una bomba sin provocar que opere muy lejos de su punto óptimo de eficiencia.

Una solución frecuente de este problema es utilizar dos o más bombas en paralelo, cada una de las cuales extrae el fluido de la misma fuente de entrada y lo envían a un colector en común para hacerlo llegar a todo el sistema. El pronóstico de rendimiento de sistemas en paralelo requiere comprender la relación entre las curvas de las bombas y la curva del sistema de aplicación. En teoría, agregar una segunda bomba duplica la capacidad del sistema. Sin embargo, conforme ocurre un flujo volumétrico más grande en el sistema de tubería, crea una carga mayor, lo que hace que cada bomba envíe menos flujo (Mott, 2006, p.427).

Para la aplicación de la estación de bombeo N°26 de Heredia, se debe utilizar una configuración en paralelo debido a que se precisa bombear una mayor cantidad de caudal, el cual es la característica principal de esta configuración.

## **2.10.2 Diseño estructural**

La obtención de datos preliminares estructurales se obtiene por medio del Código Sísmico de Costa Rica 2010 - Revisión 2014 (CSCR-2010/14). Para el diseño estructural de la estructura

independientemente de su forma geométrica, debe cumplir con los estándares mencionados en dicho código.

Siguiendo los lineamientos establecidos para el diseño sismorresistente del CSCR-2010/14, se establecen las siguientes condiciones por usar durante el desarrollo del proyecto:

#### **2.10.2.1 Concreto**

De acuerdo con el inciso *8.1.2 Resistencia de los materiales* del CSCR-10/14, se establece que la resistencia mínima permitida del concreto en compresión debe ser  $210 \text{ kg/cm}^2$  y la resistencia máxima especificada para elementos de concreto liviano deber ser  $280 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **2.10.2.2 Acero de refuerzo**

Al igual que el concreto, los requisitos mínimos solicitados para el acero de refuerzo están descritos en el inciso *8.1.2 Resistencia de los materiales* del CSCR-10/14, siendo en este caso que “se debe utilizar acero de refuerzo elaborado según la norma ASTM A 706, grado 60, o elaborado según la norma ASTM A 615, grado 60 o 40”, según sea necesario partiendo de la ductilidad que se requiera para la estructura.

Tomando esto como base, se plantea el uso de:

- Varillas calibre #3 y mayores elaboradas bajo la norma ASTM A 706,  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$  para refuerzo longitudinal donde se requiera.

#### **2.10.2.3 Zonificación sísmica**

En Costa Rica, el territorio se divide en tres zonas sísmicas, denominadas como II, III, IV. La clasificación sísmica del proyecto se obtiene basado en la ubicación donde se proyecta la estructura en las tablas contenidas en el capítulo 2 del CSCR-2010/14.

La tabla 10 indica que el cantón de Heredia y todos sus distritos, incluyendo Ulloa de Heredia donde se encuentra la Urbanización Inmaculada Concepción, se localizan dentro de una zona sísmica III.

#### **2.10.2.4 Sitios de cimentación**

La construcción de la estructura se debe realizar de acuerdo con las condiciones del tipo de suelo presente en la ubicación final. Según el CSCR-2010/14, existen 4 tipos de suelos presentes a nivel nacional denominados S1, S2, S3, S4. El tipo de sitio de cimentación es establecido a partir de las propiedades mecánicas del suelo presente en el lugar, que previamente han sido obtenidas a partir de un estudio del suelo según corresponda.

El estudio de suelos para la construcción de la estación de bombeo de aguas residuales en Lagunilla 26-1, Heredia, recomienda, luego del estudio usado para el diseño estructural, un perfil de suelo tipo S2.

Según el CSCR-2010/14, el Sitio Tipo S2 describe que se trata de “un perfil de suelo con condiciones predominantemente de medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido, cuya profundidad excede los 50 m”, por lo tanto, se indica que debido a la profundidad del estudio de penetración estándar (SPT) y la consistencia de los suelos presentes en el terreno, para el diseño estructural se aconseja utilizar un perfil de suelo tipo S2 para la EBHE N°26.

### **2.10.2.5 Cargas de servicio**

#### **Carpa Permanente (CP)**

Las cargas permanentes son todas aquellas cargas gravitacionales producto del peso propio (P.p) de los elementos constructivos como columnas, vigas, muros, muros de cortante, losas, entre otros. Cabe recalcar que el peso propio proviene de elementos estructurales y no estructurales.

#### **Carga Temporal (CT)**

Las cargas temporales se definen como aquellas distintas a las permanentes, es decir, correspondidas a la ocupación que tengan o vayan a tener las estructuras.

#### **Combinaciones de Carga (Cu)**

Las estructuras deben ser capaces de soportar las cargas mencionadas anteriormente (CP, CT) e introducirlas al análisis por medio de las combinaciones de carga utilizadas en Costa Rica para obtener el valor de carga última (CU), la cual es la que rige el diseño. Sin embargo, ésta puede variar por medio de la configuración de distribución de cargas y cargas puntuales presentes. Las combinaciones de cargas por considerar de acuerdo con el CSCR-2010/14 son las siguientes:

$$CU1 = 1.4CP \quad (14)$$

$$CU2 = 1.2CP + 1.6CT + 1.6CE \quad (15)$$

### **2.11 Estudio de prefactibilidad técnica**

El estudio de factibilidad tiene como objetivo tomar buenas decisiones por medio de evidencias y estudios matemáticos que respalden los estudios, considerando las limitaciones actuales para realizar un proyecto.

Este proceso de estudio se divide en:

- Prefactibilidad (*enfoque de este proyecto*)
- Factibilidad

## Prefactibilidad

La prefactibilidad es un análisis previo que se realiza en distintas ramas, como técnica, económica, ambiental, social y financiera con el propósito de una exploración sobre limitaciones que puedan afectar directamente al proyecto y brinde parámetros para las compañías o empresas para la toma de decisiones como bien común y justificar las acciones sobre las acciones que se tomen. Un estudio previo de este tipo requiere de una inversión previa, sin embargo, esto ayuda a no gastar dinero adicional en un estudio de factibilidad.

El desarrollo de este proyecto se involucra únicamente con el análisis de prefactibilidad técnica.



**Ilustración 30: Campos para el análisis de prefactibilidad**

Fuente: Solarte, agosto 2020

## Prefactibilidad técnica

Este tipo de análisis se centra en la implementación de recursos para el proyecto y características que éste puede presentar; además, se debe requerir de herramientas, equipos, personal profesional, entre otros para el desarrollo del método.

Es importante, en este estudio, tener conocimiento del proyecto realizado para determinar la posible inversión y el costo del estudio.

Procedimiento para el análisis de prefactibilidad:

- Consultas o entrevistas a profesionales involucrados en el proyecto
- Análisis de riesgos técnicos por medio de matriz multicriterios
- Cálculo de un presupuesto preliminar de la opción final

## 2.12 Análisis de riesgos por medio de matriz multicriterio

La matriz multicriterios o *multiple criteria decision making* (MCDM) es una herramienta para medir las condiciones y los riesgos del proyecto para la toma de decisiones por medio de criterios de interés, medibles y variados.

Con base en la determinación de las zonas donde se requieren estaciones de bombeo para impulsar las aguas a través de las líneas a presión (impulsiones), se realizan análisis multicriterios donde se compararon distintas características y requerimientos de dos o más opciones de terrenos disponibles en la zona. Ello con el fin de determinar cuál era el más conveniente desde el punto de vista técnico, económico, ambiental, social y normativo... En algunos casos, sería necesario una segregación de un terreno de menor tamaño de una propiedad más grande. La matriz de evaluación multicriterios es utilizada para los terrenos de todas las estaciones de bombeo (Quesada, 2018, p.14).

Para la determinación de los terrenos para las estaciones de bombeo del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, se implementa este mecanismo para la toma de decisiones para la EBHE N°26, donde se evalúan dos terrenos ubicados dentro de la Urbanización Inmaculada Concepción más la evaluación en calle pública.

**Tabla 11. Ejemplo de matriz multicriterios, Estación de Bombeo 04**

ESTACION DE BOMBEO 04 SAN ISIDRO		Coeficiente Ponderación	Calificación no ponderada de Alternativas				Puntaje ponderado de Alternativas					
Apartado	CRITERIO DE EVALUACIÓN		Alternativa				Alternativa					
			1	2	3	4	1	2	3	4		
1,0	ASPECTOS TÉCNICOS											
1,1	Dimensiones del terreno: libertad para alojar la estación de bombeo	7	7,5	7,5	7,5	7,5	52,5	52,5	52,5	52,5		
1,2	Grado de dificultad de las obras	8	7,5	7,5	7,5	7,5	60	60	60	60		
2,0	ASPECTOS ECONÓMICOS											
2,1	Costos por infraestructura: colectores, línea a presión y cruces especiales	10	7,5	7,5	7,5	7,5	75	75	75	75		
2,2	Facilidad para adquirir el terreno	10	10	7,5	7,5	7,5	100	75	75	75		
3,0	ASPECTOS SOCIALES											
3,1	Afectaciones para accesos y vialidad	4	7,5	7,5	7,5	7,5	30	30	30	30		
3,2	Afectaciones a comercios, fábricas, escuelas y oficinas	5	7,5	7,5	7,5	7,5	37,5	37,5	37,5	37,5		
4,0	ASPECTOS AMBIENTALES											
4,1	Afectación a árboles, vegetación y zonas de protección.	6	7,5	7,5	7,5	5	45	45	45	30		
4,2	Capacidad de amortiguamiento de efectos como olores y ruido	5	7,5	10	10	7,5	37,5	50	50	37,5		
TOTALES			62,5	62,5	62,5	57,5	437,5	425	425	397,5		

Fuente: Ing. José Daniel Quesada Rojas, agosto 2020

Donde:

- El coeficiente de ponderación se estima de 1-10 dependiendo de la importancia del aspecto por evaluar.

- La calificación no ponderada de alternativas se evalúa de la siguiente manera:
  - 10 - Excelente
  - 7.5 - Buena
  - 5 - Regular
  - 2.5 – Mala

Se brindan las calificaciones de acuerdo con las necesidades del proyecto y lo que indique la descripción para cada una de las puntuaciones según los criterios de evaluación técnicos, económicos, sociales y ambientales.

- La calificación ponderada de alternativas se obtiene por medio de la multiplicación del coeficiente de ponderación por la calificación ponderada. Posteriormente, se suman los valores por casilla de las columnas de alternativas y la columna con mayor puntaje indica cuál es la opción favorable.
- Para el coeficiente de ponderación, se emplea una escala de calificación del 1 a 10, donde el 1 es el “menos favorable” y el 10 se interpreta como “más beneficioso”. Dicho factor se asigna de acuerdo con el criterio de análisis.
- Posteriormente, una vez determinados los aspectos señalados con sus determinados puntajes, se realiza una matriz con la priorización de las alternativas, las alternativas y el puntaje total correspondiente.

### **3 CAPÍTULO III**

#### **3.1 Marco metodológico**

La metodología de este proyecto consiste en los mecanismos correspondientes para la toma de decisiones y la evaluación de alternativas para la reubicación de la EBHE 26. Una vez analizados los datos, se plantea la mejor alternativa y, posteriormente, se realiza la propuesta de diseño preliminar, incluyendo detalles hidráulicos, electromecánicos, hidrosanitarios y estructurales.

#### **3.2 Enfoque y método de la investigación**

Los métodos cualitativos y cuantitativos se pueden unificar de tal manera que sus procedimientos, estructuras y datos se convierten en un solo estudio. Este método se caracteriza por la exactitud de los resultados y el margen de error es mínimo (Metodología de un proyecto...,2018, p.1).

La propuesta del proyecto es un enfoque mixto, donde se pretenden emplear las mejores características del enfoque cualitativo y cuantitativo para así enriquecer el desarrollo del proyecto.

### 3.2.1 Enfoque mixto

Chen, Johnson, et al. (2006), citados por Barrantes (2014, pp.99-100), aducen que los métodos de investigación mixta son la integración sistemática de los métodos cuantitativos y cualitativos en un solo estudio con el fin de obtener la “fotografía” más completa del fenómeno.

Por ende, se toman en cuenta gráficas, entrevistas a los colaboradores de la ESPH S.A. e información matemática brindada para así buscar la solución que mejor se adapte a los requisitos del proyecto. Especificados estos parámetros, se indica que, en el trabajo, se extrae información por la aplicación de ambos métodos.

**Tabla 12. Cuadro de variables**

Variable	Variable Independiente	Herramienta a Utilizar	Variable Dependiente
Efectuar una propuesta de diseño de los principales componentes estructurales con base a la carga estimada.	Diseño Estructural	CSCR10 ACI318-19 Código de Cimentaciones de Costa Rica Norma Técnica Para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial	La EBHE26, se debe construir en concreto armado de acuerdo con las condiciones presentes en la Urbanización Inmaculada Concepción
Diseño preliminar de la bomba sumergible y el análisis para determinar el arranque que esta necesite.	Diseño Mecánico y Civil	The American Society of Mechanical Engineers (ASME) Curvas de Rendimiento Flygt Norma Técnica Para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial	Cumplir con el requerimiento para que las bombas tengan la capacidad de impulsar el caudal de bombeo y determinar el arranque correcto para que la bomba no sufra daños por medio del par de arranque. Mencionar la parte civil de la estación de bombeo y sus componentes.
Análisis de alternativas de reubicación	Análisis de Prefactibilidad	Entrevistas Matriz Multicriterios Presupuesto Preliminar	Se determina la ubicación final de reubicación de la EBHE26 y el costo preliminar de la construcción

Fuente: Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

### 3.3 Población y muestra

El proyecto no requiere la selección de una población y la toma de muestras debido a que este no cuenta con análisis estadísticos para su elaboración. Los distintos diseños propuestos ya se

encuentran establecidos por la ESPH S.A., por lo tanto, la extracción de estos datos no interfiere en la realización del trabajo. Es importante aludir que se llevaron a cabo visitas de campo en la zona del proyecto para realizar una corta inspección visual de la urbanización y los posibles terrenos para la reubicación de la estación.

### **3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

Dada la metodología del proyecto, se realiza una serie de preguntas a personal de la ESPH S.A. para el estudio de prefactibilidad técnica, pues uno de los puntos consiste en la opinión de expertos que se encuentren involucrados en el desarrollo del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia para que así brinden su criterio profesional sobre las alternativas de reubicación propuestas.

Además, se recopilan datos mediante distintas fuentes de información, como tesis, páginas *web*, catálogos, libros de texto, normativa del AyA, ACI 318-19, CSCR-10, Código de Cimentaciones de Costa Rica, Google Earth Pro, Altimeter (*app* móvil para la obtención de las alturas en m.s.n.m. del punto de carga y punto de descarga). Además, se obtiene información brindada por la misma empresa como el estudio de suelos de la Urbanización Inmaculada Concepción, caudal de bombeo y mapas del Proyecto de Saneamiento Ambiental.

#### **3.4.1 Análisis de datos**

Los datos recopilados, se implementan en distintos programas para su análisis y diseño respectivo.

Por medio de AUTOCAD 2020, se realiza el diseño final de los planos arquitectónicos, civiles y estructurales de la EBHE26, ya sea de manera superficial o subterránea.

El diseño estructural de los muros del cárcamo y las losas se realizan de acuerdo con la Norma ACI 318-19, CSCR-10 y Código de Cimentaciones de Costa Rica. Por medio del *software* de análisis estructural SAP2000 de la compañía *Computers and Structures, Inc.*, se realiza un modelado de la estación de bombeo para la obtención de los momentos máximos en los extremos y el centro ( $M_u$ ) y cortante último ( $V_u$ ), para las vigas V1 y V2, y momentos de los muros tipo M1. El diseño estructural de dichos elementos se realiza en una hoja de cálculo programada en la herramienta de Microsoft Excel.

Al mismo tiempo, el diseño mecánico – hidráulico se elabora por medio de las fórmulas mencionadas y la extracción de datos en los gráficos de rendimientos y cuadro de especificaciones para el análisis respectivo de la bomba brindados por la empresa referente.

### 3.4.2 Procesamiento de los datos

#### 3.4.2.1 Muros de contención

Los parámetros de empuje del suelo  $K_a$  (coeficiente de empuje activo) y  $K_p$  (coeficiente de empuje pasivo) son datos que se obtienen por medio de los estudios de suelo de manera más concisa. Sin embargo, éstos se pueden calcular por medio de ecuaciones presentes en el Código de Cimentaciones de Costa Rica. Asimismo, el empuje pasivo y el empuje sísmico son presiones generadas del lado del relleno.

##### -Empuje activo ( $E_a$ )

Se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$E_a = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_s * H^2 \quad (16)$$

Donde:

$K_a$ = coeficiente de empuje activo

$H$ = altura total del muro (m)

$\gamma$ = peso volumétrico del suelo ( $\text{kg/m}^3$ )

##### -Brazo de palanca ( $E_a$ )

El brazo de palanca para el empuje activo se define como tres tercios de la altura total del muro, tal como se menciona en la siguiente expresión:

$$br = \frac{H}{3} \quad (17)$$

Donde:

$H$ = altura total del muro (m)

##### - Calculo de Empuje Sísmico ( $E_s$ )

Al ser un análisis dinámico, el muro de contención debe contemplar las presiones que genera el sismo, por lo tanto, este valor se obtiene por siguiente ecuación:

$$E_s = \frac{1}{2} * \gamma_s * H^2 * \left( \frac{3}{4} * a_{ef} * \lambda \right) \quad (18)$$

Donde:

Coficiente dinámico horizontal ( $K_h$ )=  $a_{ef} * \lambda$

El valor de coeficiente dinámico horizontal se obtiene de la tabla 13.2 del Código Sísmico de Costa Rica. (*ver anexo 14*)

**- Brazo de palanca (Es)**

$$br = 0.6 * H \quad (19)$$

**- Momento desestabilizador (M.dst)**

$$M. vol = E_a * (bp_{E_a}) + E_s * (bp_{E_s}) \quad (20)$$

$$M. vol = 1850.18 * 0,8 + 795.94 * 1.44 = 2621.98 \text{ kgf} * \text{m}$$

**- Fuerza desestabilizadora**

$$F. dest = E_a + E_s \quad (21)$$

La tabla para el cálculo del momento estabilizador se extrae por medio de hoja de cálculo previamente programada en la herramienta de Microsoft Office Excel, donde se obtienen el peso, el brazo de palanca y los momentos generados por los elementos que componen el muro de contención.

Obtenidos los momentos de cada elemento del muro, se suman y se obtiene el momento total del muro de la contención. De esta manera, se procede a obtener el factor de seguridad contra el volcamiento de la siguiente manera:

$$FS_v = \frac{\sum M. est}{\sum M. dst} \geq 1.5$$

Si el resultado de dicha fracción es mayor a 1.5, indica que el muro cumple contra el volcamiento generado por la presión activa y el empuje sísmico.

**- Empuje pasivo**

$$E_p = K_p * \gamma_s * h. pas^2 \quad (22)$$

Donde:

$K_p$  = coeficiente de empuje pasivo

$\gamma_s$  = peso volumétrico del suelo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$h_d$  = altura pasiva ( $h.pas$ ) (m)

**- Fricción**

$$f = \mu * w. \text{ total} \quad (23)$$

Donde:

$\mu$ = fricción entre concreto y el suelo

$$\mu = \tan (\phi_{\text{suelo}}) \quad (24)$$

**- Fuerza estabilizadora**

$$F. \text{ est} = f + E_p \quad (25)$$

Es la sumatoria del valor de fricción más el empuje pasivo. Dicha presión debe tener la capacidad de contener los empujes generados por el  $E_a$  y el  $E_s$ , sin embargo, el resultado final debe ser mayor para determinar si cumple con el factor de seguridad de las fuerzas desestabilizadoras; este factor contra el deslizamiento se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{\sum F_{\text{est}}}{\sum F_{\text{dst}}} \geq 1.15$$

Si el resultado de esta división es mayor a 1.15, quiere decir que el muro cumple contra el deslizamiento.

**- Cálculo de excentricidad**

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_{\text{est}} - \sum M_{\text{dst}}}{R_v} \quad (26)$$

$$e < \frac{B}{6}$$

**- Cálculo de capacidad en la punta**

$$q_{\text{puntera}} = \frac{R_v}{B} * \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (27)$$

**- Cálculo de capacidad en el talón**

$$q_{\text{talón}} = \frac{R_v}{B} * \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \quad (28)$$

Una vez obtenidos los resultados de la capacidad de la punta y del talón, se debe determinar el chequeo por capacidad del elemento más crítico contra la capacidad de soporte admisible del suelo.

$$q_{\max} \leq q_{\text{adm}}$$

Si el  $q_{\text{adm}}$  es mayor al  $q_{\text{max}}$ , significa que el suelo tiene la capacidad de soporte dicha carga, por lo tanto, se procede al diseño de la placa base y del muro.

### **-Diseño de la placa base**

#### **- Esfuerzos en la punta**

Se debe realizar un diagrama de esfuerzos trapezoidal, donde se debe dividir dicho diagrama en un rectángulo y un triángulo para obtener la reacción en cada una de las figuras que conforman la punta.

$$R_{1\text{rectangulo}} = bw * b * h. \text{ rect} \quad (29)$$

Donde:

$$bw = 1 \text{ m}$$

El brazo de palanca para la deformación rectangular se calcula por medio de la expresión:

$$B_{p.\text{rect}} = \frac{1}{2} * \text{long. punta} = 0.25 \text{ m}$$

$$R_{2\text{triangulo}} = \frac{1}{2} * bw * tp * (q. \text{ punta} - h. \text{ rect}) \quad (30)$$

Donde:

$h.\text{rect}$  = altura del rectángulo

El brazo de palanca para la deformación triangular se calcula por medio de la expresión:

$$B_{p.\text{tria}} = \frac{2}{3} * \text{long. punta}$$

#### ***- Peso propio de la puntera del muro por metro***

$$W_{pp} = \gamma_{\text{concreto}} * bw * \text{long. punta} * tp \quad (31)$$

Donde:

$\gamma_{\text{concreto}}$  = peso volumétrico del concreto ( $\text{kg/m}^3$ )

$t_p$  = peralte de la punta (m)

Además, se debe calcular el brazo de palanca del peso propio de la puntera como un medio por la longitud de la punta.

**- Peso de la sobrecarga**

$$W_s = h' * b_w * \gamma_s * \text{long. punta} \quad (32)$$

El brazo de palanca de la sobrecarga es igual a un medio por la longitud de la punta.

**- Cortante en la base de la punta**

Se debe calcular el cortante de la base de la punta para determinar el cortante último. Además, al tenerse cargas permanentes y temporales, se deben aplicar las combinaciones de carga presentes en la *ecuación 14* para CP y *la ecuación 15* para CP y CT. Asimismo, se recalca que el cortante último es el resultado mayor de las combinaciones de carga.

$$V_{\text{punta}} = R_1 + R_2 - P_p \text{ punta} \quad (33)$$

**- Momento en la base de la punta**

Los momentos en la base de la punta se deben calcular por medio de la multiplicación de cada reacción por su brazo de palanca correspondiente. Además, el resultado se debe introducir en las combinaciones de cargas presentes en la *ecuación 14* y *ecuación 15*.

**- Esfuerzos en el talón**

Los esfuerzos presentes en el talón se obtienen de la misma manera que en la punta. De igual forma, el diagrama de esfuerzo es trapezoidal compuesto de un diagrama rectangular y otro triangular.

**- Peso propio del talón del muro por metro**

Se debe aplicar la *ecuación 31* con la pequeña variante de que, en este caso, se multiplica por la longitud del talón.

El peso propio del relleno, el peso de sobrecarga, el cortante en la base del talón y el momento en la base del talón se obtienen aplicando el mismo procedimiento y mismas ecuaciones que se utilizan en la punta.

**- Diseño por cortante de la placa**

El diseño por cortante de la placa se debe realizar por el valor de cortante último más crítico.

Se debe proponer un recubrimiento para el diseño de la placa, dado que la placa se encuentra en contacto directo con el suelo y el agua. El ACI sugiere utilizar un recubrimiento de 7.5 cm aproximadamente. Además, se debe calcular el valor de “d” por medio de la siguiente ecuación:

$$d = t_p - \text{recubrimiento propuesto} \quad (34)$$

Una vez obtenido este valor, se debe calcular la capacidad a cortante del concreto  $\phi V_c$ , con la siguiente ecuación:

$$\phi V_c = 0.75 * 0.53 * \sqrt{f'_c} * b_w * d \quad (35)$$

Donde:

$f'_c$  = resistencia a compresión del concreto (kg/cm<sup>2</sup>)

Posterior a este cálculo, se debe comprobar que el  $\phi V_c$  tiene la capacidad de soportar el cortante último  $V_u$ .

$$\phi V_c \geq V_u, \therefore \text{Sí cumple}$$

En caso de que se cumpla lo anterior, se procede al diseño a flexión de la placa del muro de contención.

#### - Diseño a flexión de la placa

$$\tilde{n} = \frac{0.85 * f'_c * b_w}{f_y} \quad (36)$$

Donde:

$f_y$  = resistencia de fluencia del acero (kg/cm<sup>2</sup>)

#### - As de la punta

Se calcula el área de acero por metro que requiere la punta por medio de la siguiente ecuación:

$$A_s = (\tilde{n} * d) - \sqrt{(\tilde{n} * d)^2 + \frac{2 * M_u * \tilde{n}}{0.90 * f_y}} \quad (37)$$

Donde:

$M_u$  = momento último de la punta (kg/cm)

**- As del talón**

Para el cálculo del área de acero requerido por metro en el talón, se aplica la *ecuación 37*.

**- Verificación del espesor de la placa**

$$d \geq \sqrt{\frac{M_u}{0.189 * 0.90 * f'_c * b_w}} \quad (38)$$

Donde:

$M_u$  = valor de momento último mayor ( $\text{kg/cm}^2$ )

Obtenido el resultado de la ecuación, se debe aplicar la siguiente ecuación para así verificar si el peralte de la placa es el adecuado:

$$d = d + \text{rec} \quad (39)$$

$$d \geq d + \text{rec}, \therefore \text{Sí cumple}$$

Una vez determino que el peralte de la placa es el indicado, se procede a determinar el acero mínimo requerido:

**- Aceros mínimos**

$$A_{s\text{min}1} = \left(\frac{14}{f_y}\right) * b_w * d \quad (40)$$

$$A_{s\text{min}2} = \left(\frac{0.8 * \sqrt{280}}{4200}\right) * b_w * d \quad (41)$$

De los resultados de ambas ecuaciones para la obtención del acero mínimo, rige la ecuación donde el resultado sea el menor.

**Diseño de la pared**

**- Esfuerzos en la pared**

Se deben recalcular nuevamente los empujes  $E_a$ ,  $E_s$  para una altura  $h_m$ , por medio de las *ecuaciones 16 y 18*.

Obtenidos los resultados de los empujes, se debe aplicar la ecuación 15 para mayorar las cargas de empuje.

Posteriormente, los empujes mayorados se procede a introducirlos en el programa de análisis estructural SAP2000 elaborado por la compañía Computers and Structures, Inc, para así obtener los diagramas de cortante y momento máximo.

#### - Diseño por cortante de la pared

Se debe calcular el  $\phi V_c$  de la pared por medio de la *ecuación 35* y comprobar que dicho valor sea mayor al cortante último de la pared.

$$\phi V_c \geq V_u, \therefore \text{Sí cumple}$$

#### - Diseño a flexión de la pared

Se aplica la *ecuación 36* para obtener el factor  $\tilde{n}$ .

#### - As del muro

Para el cálculo de área de acero por metro de muro, se debe utilizar la *ecuación 37*.

#### - Verificación del espesor del muro

La verificación del espesor del muro se realiza de la misma manera que la placa, es decir, aplicando las *ecuaciones 38 y 39*.

#### - Aceros mínimos

Se aplican las *ecuaciones 40 y 41* para obtener los aceros mínimos de la pared del muro de contención.

#### - Separación máxima de acero

$$S_1 = 38 * \left( \frac{2800}{f_s} \right) - 2.5 * cc \quad (42)$$

$$S_2 = 30 * \left( \frac{2800}{f_s} \right) \quad (43)$$

De los resultados obtenidos en ambas ecuaciones, el resultado menor rige.

Donde:

cc = la menor distancia desde la superficie del refuerzo corrugado a la cara en tracción

f<sub>s</sub> = dos tercios de f'<sub>y</sub>

#### - Refuerzo horizontal mínimo

El refuerzo horizontal mínimo de la estructura se obtiene por la siguiente ecuación:

$$A_s = 0.0025 * bw * corona \quad (44)$$

### 3.4.2.2 Vigas

Todos los elementos de tipo viga son diseñados como elementos a flexión. Se detalla el procedimiento de diseño de las vigas tipo V1 para obtener capacidades nominales en flexión y cortante que sean capaces de soportar como mínimo las cargas esperadas a las que se someterá el elemento.

#### - Diseño a flexión

Todos los elementos diseñados a flexión deberán cumplir el siguiente criterio:

$$\phi M_n = \phi * A_s * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \geq M_u \quad (45)$$

Donde:

$\phi$ : es el factor de reducción para elementos a flexión (0.90).

Usando:

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b} \quad (46)$$

Finalmente, se sustituye la ecuación 46 dentro de la ecuación 45 para obtener la siguiente expresión:

$$\phi M_n = \phi * A_s * f_y * \left( d - \frac{A_s * f_y}{1.7 * f'_c * b} \right) \geq M_u \quad (47)$$

#### - Momentos de diseño (Mu)

Se extraen, desde SAP2000, los momentos de diseño obtenidas al introducir previamente todos los parámetros para el modelo estructural.

- $M_u^-$  Izquierda
- $M_u^+$  Centro
- $M_u^-$  Derecha

#### - Acero longitudinal en flexión

Partiendo de la ecuación 47, al igualar la ecuación a cero y sacar factor común donde corresponda, se obtiene:

$$\left( \frac{\phi * f_y^2}{1.7 * f'_c * b} \right) A_s^2 + (-\phi * f_y * d) A_s + M_u = 0 \quad (48)$$

Donde:

d= (cm)

b= (cm)

Mu= (kg/cm)

$\Phi$ = 0.90 (adimensional)

As= (cm<sup>2</sup>)

Aplicando la *ecuación 48* con la variación del Mu para cada momento extraído, se obtienen los As (área de acero requerido en tensión) usando el principio de la ecuación cuadrática y descartando los valores absurdos.

#### - Revisión de As mínimo y máximo

Para efectos de tener un diseño de viga, existen parámetros de As mínimo y máximo que deben ser verificados:

##### - As mínimo

Este criterio obedece al valor mayor calculado con las siguientes ecuaciones:

$$A_{s_{\min}} = \frac{14}{f_y} * b * d \quad (49)$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{0.8 * \sqrt{280}}{f_y} * b * d \quad (50)$$

##### - As máximo

Se calcula el acero máximo por medio de la siguiente ecuación:

$$A_{s_{\max}} = 0.025 * b * d \quad (51)$$

#### - Propuestas de acero

##### *Propuesta A's (área de acero en tensión):*

Finalmente, se debe hacer una propuesta del área de acero en tensión, que cumpla el acero mínimo y acero máximo. Además, debe cumplir con la cantidad de varillas que pueden acomodarse en una sola capa para distintos anchos de viga.

**Propuesta A's (área de acero en compresión):**

Para la cara en compresión, se tienen los siguientes criterios para el cálculo del área de acero mínimo requerido:

$$M^- = A's = \frac{A's. req}{2}$$

$$M^+ = A's \geq \frac{A's. propuesto\ máximo}{4}$$

**- Revisión**

Aplicando la ecuación 45, se comprueba que las propuestas cumplan con el criterio de diseño para cada momento.

- Momento izquierdo
- Momento centro
- Momento derecho

$$\phi Mn \geq Mu \therefore, \text{ Sí cumple}$$

**Diseño a cortante**

Todos los elementos diseñados a cortante deberán cumplir el siguiente criterio:

$$\phi V_n = \phi V_s + \phi V_c \geq V_{diseño} \quad (52)$$

Donde:

$\phi V_n$ : cortante nominal

$V_{diseño} = V_u =$  (se extrae de SAP2000)

Factor de reducción  $\phi$  para elementos a cortante: 0.75

$\phi V_s$ : resistencia al cortante debida al acero (aros)

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \quad (53)$$

El procedimiento para determinar la varilla de los aros y su separación puede visualizarse como un diagrama en el cual se deciden los casos que aplica. Dichos casos están definidos en función del cortante requerido de acero.

**- Caso I**

Si,  $V_u \leq \frac{\phi V_c}{2}$ : no se requieren aros

Sin embargo, se debe proponer un acero mínimo en la viga.

**- Caso II**

Si,  $\frac{\phi V_c}{2} < V_u \leq \frac{\phi V_c}{2}$ : se coloca refuerzo mínimo a cortante

$$S. \max = \text{rige el menor} \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} \\ 60 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$Av. \text{mín} = \frac{3.5 * b * s}{f_{y_{\text{aros}}}} \quad (54)$$

**- Caso III**

Si,  $V_u > \phi V_c$ : se requieren aros

**- Sub-caso a)**

Si,  $\phi V_s \leq 2\phi V_c$  entonces:

$$S. \max = \text{rige el menor} \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{2} \\ 60 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$Av. \text{mín} = \frac{\phi V_s * s}{\phi * f_{y_{\text{aros}}} * d} \quad (55)$$

**- Sub-caso b)**

Si,  $2\phi V_c < \phi V_s \leq 4\phi V_c$  entonces:

$$S. \max = \text{rige el menor} \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{4} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$Av. \text{mín} = \frac{\phi V_s * s}{\phi * f_{y_{\text{aros}}} * d}$$

**- Caso IV**

Si,  $\phi V_s > 4\phi V_c$ : se debe cambiar la sección de la viga o aumentar el grado de acero en los aros.

**Zona de confinamiento S1**

La separación máxima de los aros en la zona de confinamiento S1 se extiende por un valor de 2d en ambos extremos de la viga. El valor por escoger lo rige el menor de los siguientes criterios:

$$S. \text{ máx} = \frac{d}{4} \quad (56)$$

$$S. \text{ máx} = 6 * d_{b \text{ long. menor}} \quad (57)$$

$$S. \text{ máx} = 24 * d_{b \text{ aro}} \quad (58)$$

$$Av. \text{ mín} = \frac{3.5 * b * s}{f_{y \text{ aros}}} \quad (59)$$

30 cm

### **Zona sin confinamiento S2**

La separación máxima en la zona de confinamiento S2 se ubica entre ambos extremos de la viga por una distancia de  $L_n - 4d$ . El aro mínimo permitido es #3 y el valor de separación máxima corresponde a:

$$Av. \text{ mín} = \frac{d}{2} \quad (60)$$

### **Cálculo de área mínima de acero ( $A_v$ ) para los aros**

Este procedimiento se debe realizar para la zona de confinamiento y sin confinamiento. Aplicando la *ecuación 35*, se obtiene la capacidad de cortante del concreto.

- Aros para la zona sin confinamiento
- Aros para la zona sin confinamiento

Nota: si el aporte del concreto es capaz de soportar el cortante de diseño, en teoría, no se requieren aros, sin embargo, para evitar el fenómeno de pandeo se debe proponer aro #3.

### **Revisión por capacidad nominal**

Se comprueba que las propuestas de la zona de confinamiento y sin confinamiento cumplan el criterio de diseño por cortante nominal.

$$\phi V_n \geq V_u, \therefore \text{Sí cumple}$$

### Longitud de anclaje

En la longitud de anclaje ( $l_a$ ) de las varillas longitudinales, debe regir el valor mayor según los siguientes criterios:

$$8 * d_b \text{ long.mayor} \quad (61)$$

$$\frac{f_y * d_b}{16 * \sqrt{f'_c}} \quad (62)$$

15 cm

Donde:

$d_b$ = diámetro de la varilla longitudinal de mayor diámetro utilizada.

#### 3.4.2.3 Losa

Si la división de la luz corta ( $l_a$ ) entre la luz larga ( $l_b$ ) es menor a 2, se debe utilizar el método de diseño de losas en dos direcciones.

$l_a/l_b < 2.0$  ,  $\therefore$  se diseña por el método de losas en dos direcciones

Cabe destacar que se deben definir las propiedades de los materiales, es decir, la resistencia de concreto a compresión ( $f'_c$ ), la fluencia del acero ( $f_y$ ) y el peso volumétrico del concreto ( $\gamma$ . concreto).

Dado que las losas se apoyan sobre los muros de contención, las longitudes  $l_a$  y  $l_b$  se deben restar por dos veces la corona del muro, tal como se muestra en la siguiente expresión:

**Solución:**

$$l_{n(\text{corta})} = l_a - 2 (\text{corona del muro}) \quad (63)$$

$$l_{n(\text{larga})} = l_b - 2 (\text{corona del muro})$$

Posteriormente, se debe obtener el peralte mínimo de la losa de concreto:

$$t. \text{ min} = \frac{l_{n(\text{larga})}}{30 + 3B} \quad (64)$$

Sin embargo, previo al cálculo del peralte mínimo, se debe obtener el valor del factor B, el cual consiste en la división de  $l_{n(\text{larga})}$  entre  $l_{n(\text{corta})}$ .

$$B = \frac{l_{n(\text{larga})}}{l_{n(\text{corta})}} \quad (65)$$

Se sustituyen los valores de B y ln, en *la ecuación 64*. Una vez obtenido el resultado, se propone un peralte para la losa de concreto. Dado que este proyecto se basa en el dimensionamiento geométrico de las estaciones de bombeo de la ESPH S.A., se propone un peralte de 20 cm.

Asimismo, se deben determinar las cargas de diseño permanentes y temporales en el sistema. Una vez definidas, éstas se mayoran por medio de las combinaciones de carga presentes en las *ecuaciones 14 y 15*, respectivamente. Rige la combinación mayor.

Se debe calcular el valor *m* por medio de las tablas del método de coeficientes para losas en dos direcciones.

$$m = \frac{\text{lado corto}}{\text{lado largo}} \quad (66)$$

Por lo tanto, para las condiciones presentes, se debe verificar el caso que aplique.

#### **- Flexión lado corto y largo**

Para la obtención de los momentos, se debe sustituir la carga mayorada que rige en la siguiente fórmula, tanto para momento negativo, como para un momento positivo.

$$M_{a \text{ ó } b} = C_a * P * l_{a \text{ ó } b}^2 \quad (67)$$

Donde:

Ma= momento en la dirección corta (kgf\*m)

Mb= momento en la dirección larga (kgf\*m)

la = luz corta (m)

lb = luz larga (m)

Ca= coeficiente (*ver anexo 21*)

P = carga de diseño

Obtenidos los momentos, se sustituyen los valores en *la ecuación 48* para obtener el área de acero requerida para cada momento.

Posteriormente, se obtiene el acero mínimo requerido para la losa por un metro de ancho.

$$A_s. \text{min} = 0.18 * t \quad (68)$$

Nota: en caso de que el As.min sea mayor que el acero requerido, se debe utilizar el acero mínimo como propuesta de refuerzo.

### 3.4.2.4 Mecánico

#### Caudal

Como se mencionó anteriormente, dicho proyecto se basa en el caudal de bombeo ( $Q_{BE}$ ) brindado por la ESPH. S.A. Así mismo, se adjunta la siguiente tabla con los caudales de bombeo del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia.

**Tabla 13. Caudales de bombeo ( $Q_{BE}$ ) del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia**

ESTACIÓN	$Q_{par}$ (l/s)	N	FACTOR	$Q_{BE}$ (l/s)
EB-HE-02	225	13,6849	2,37	534
EB-HE-03	7,4	14,33	2,26	16,7
EB-HE-06	3,3	15,12	2,14	7,07
EB-HE-08	3,7	14,67	2,21	8,17
EB-HE-11	1.022	13,9377	2,32	2.370
EB-HE-12	156	14,419	2,25	351
EB-HE-13	519	13,439	2,41	1.250
EB-HE-14	4,33	14,67	2,21	9,56
EB-HE-15	4,22	14,82	2,19	9,25
EB-HE-16	1,1	14,90	2,17	2,39
EB-HE-18	2,2	14,38	2,25	4,96
EB-HE-19	106	14,2015	2,28	241
EB-HE-20	2,36	14,40	2,25	5,30
EB-HE-21	54	13,688	2,37	127
EB-HE-26	5,3	14,66	2,21	11,7
EB-HE-27	9,24	14,38	2,25	20,8
EB-HE-28	4,43	14,66	2,21	9,8

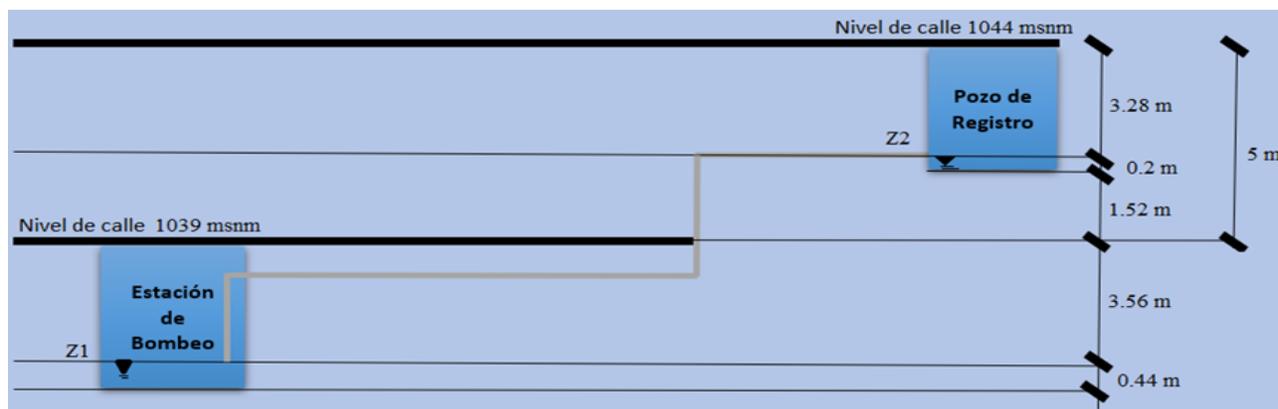
Fuente: Estudio de factibilidad para el alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales para los cantones de Heredia, San Rafael y San Isidro, y diseño de la primera etapa de construcción, febrero 2021

#### Volumen de cárcamo de bombeo

Se realiza el cálculo del volumen del cárcamo para un tiempo de retención máximo de 30 minutos, tal como lo indica la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial.

#### Carga estática (Hst)

Dadas las elevaciones de terreno que se tienen actualmente, la carga estática total se presenta por medio del siguiente esquema:



### Ilustración 31. Esquema de bombeo

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

### Pérdidas en la tubería de impulsión

#### Perdidas por fricción

Se aplica la *ecuación 9* y se sustituyen los datos correspondientes:

- Diámetro de impulsión
- Caudal (Q)
- Longitud de impulsión
- C

#### Pérdidas locales

Para el cálculo de pérdidas locales, aplica la *ecuación 10* del método de coeficiente de resistencia K. Sin embargo, para este proyecto, se aplica el criterio de considerar las pérdidas locales iguales a un 5%, debido a que el cálculo por medio de la ecuación de Hazen-Williams presenta valores mayores por pérdidas de fricción.

#### Cálculo de la carga dinámica total

$$CDT = hf + \Sigma hl \pm Hst \quad (69)$$

La empresa Flygt solicita los datos de caudal, carga dinámica total y carga estática para introducirlos en un *software* especializado donde brinda la bomba que mejor se adapte a las condiciones descritas y con una mejor eficiencia.

#### Velocidad

Para la obtención de la velocidad, se debe aplicar la *ecuación 8*.

### Sobrepresión por golpe de ariete

Se calcula la sobrepresión por golpe de ariete aplicando la *ecuación 11*.

Presión de la tubería  $> \Delta hga$ ,  $\therefore$  Sí cumple

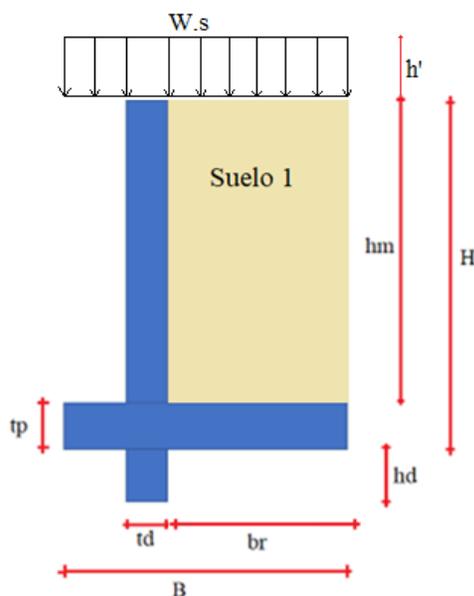
## 4 Análisis de resultados

### 4.1 Diseños preliminares

#### 4.1.1 Estructural

##### 4.1.1.1 Muros de contención M1

Dimensiones de los muros de contención M1 para la estación de bombeo



### Ilustración 32. Dimensiones de los muros del cárcamo de bombeo

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Según el detalle de la geometría anterior:

- $hm = 2.2$  m
- $tp = 0.20$  m
- $H = (hm + tp) = 2.4$  m
- $B = 1.7$  m
- $br = 1.0$  m
- $hd = 0.5$  m
- $h' =$  altura de sobrecarga
- $W.s = 300$  kg/m<sup>2</sup> (ver anexo 15)

### Parámetros de diseño

- Ubicación: Heredia, distrito de Ulloa
- Tipo de suelo: S2 (*ver anexo 8*)
- Zona sísmica: ZIII (*ver anexo 13*)
- Capacidad admisible del suelo: 18.1 ton/m<sup>2</sup> (*ver anexo 5*)
- Concreto con resistencia  $f'c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>
- Acero de refuerzo G60, fluencia  $f_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- Coeficiente dinámico horizontal  $K_h$ , para una zona sísmica ZIII y un tipo de suelo S2 según tabla 13.2 del CSCR10: 0.20 (*ver anexo 14*)

Debido a que la empresa GEOM S.A no brindó el peso volumétrico del suelo en el estudio de suelos, se le consulta al Ing. Muñoz, profesor de Cimientos y Excavaciones de la Universidad Latina de Costa Rica, y éste menciona que, debido a que el estudio de suelos no reporta cuál es el peso volumétrico del suelo, se recomienda utilizar valores conservadores un poco altos entre 17.5 – 18 kN/m<sup>3</sup> (comunicación personal, 22 de febrero de 2020):

- $\gamma_1$ . suelo= 18 kN/m<sup>3</sup> = 1835.5 kg/m<sup>3</sup>
- $C_1$ = 0 kg/cm<sup>2</sup> (*ver anexo 6*)
- $\phi_1$ = 25° (*ver anexo 6*)

### Parámetros de empuje del suelo 1

- $K_a$ = 0.35 (*ver anexo 6*)
- $K_p$ = 2.46 (*ver anexo 6*)

### Capacidad de soporte del suelo

- $Q$ . admisible= 18100 kg/m<sup>2</sup>

Según expresa el Ing. Arguedas, subdirector de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina de Costa Rica, para muros de contención de concreto reforzado, cuando la capacidad de soporte del suelo se encuentra entre  $10 \text{ ton/m}^2 < Q. \text{ admisible} < 15 \text{ ton/m}^2$ , la capacidad de soporte es regular; cuando  $Q. \text{ admisible} > 15 \text{ ton/m}^2$ , la capacidad de soporte es “buena” (comunicación personal, 24 de febrero de 2020).

Por lo tanto, se justifica que la capacidad de soporte para una profundidad de 4.15 es “buena” debido a que  $18.1 \text{ ton/m}^2 > 15 \text{ ton/m}^2$ .

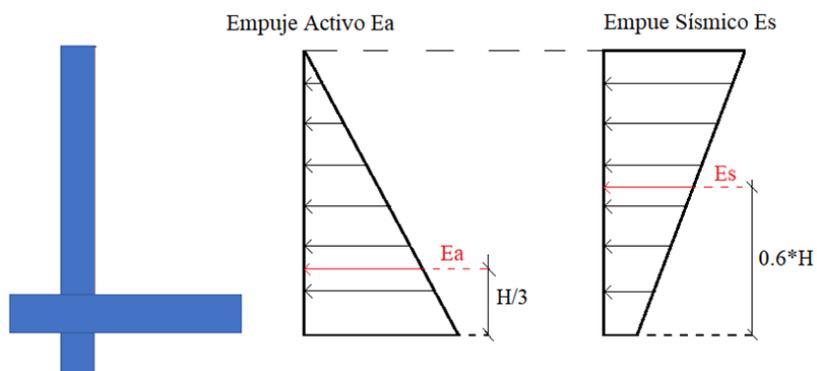
### Propiedades de los materiales

Las propiedades por utilizar para el diseño estructural se basan en los análisis previos realizados por la ESPH S.A. para las estaciones de bombeo del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, por lo tanto, la resistencia del concreto y el grado de fluencia del acero son las siguientes:

- $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- $\gamma. \text{ concreto} = 2400 \text{ kg/m}^3$

Según las condiciones del análisis previo, el diseño del muro se debe considerar como si el cárcamo de bombeo se encuentra vacío, ya que es la condición más crítica debido a que no se cuenta con el empuje pasivo del suelo del lado de la punta. Por lo tanto, la solución planteada consiste en adicionar un diente con una altura (hd) de 50 cm para crear un empuje pasivo que contrarreste el efecto producido por la presión activa y sísmica.

Además, se debe utilizar un valor de carga temporal de  $300 \text{ kg/m}^2$  para garajes y aparcamientos según el CSCR-10, ya que el martillo donde se pretende instalar la estación de bombeo no es una zona muy transitada. Además, el cordón de caño está pintado de color amarillo, lo cual indica que no es una zona de parqueo, sin embargo, suelen haber ocasiones donde los conductores dejan su auto estacionado en esta zona, tal como se observa en el *anexo 20*. Dada esa condición crítica, se decide utilizar la sobrecarga mencionada.

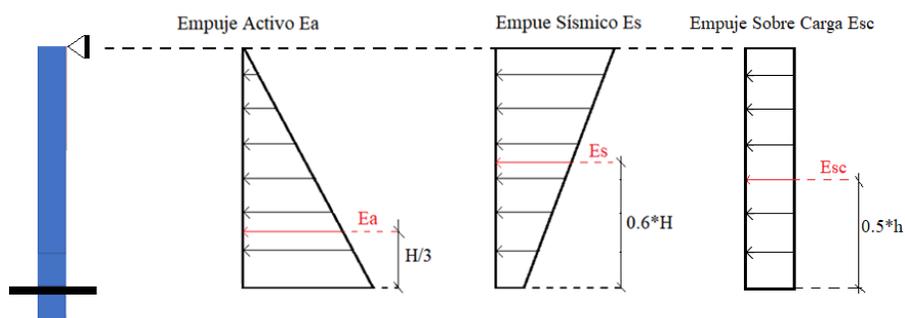


**Ilustración 33: Representación de  $E_a$  y  $E_s$**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Para los muros tipo M1, se deben recalculer los empujes para una altura  $hm$  suponiendo una pared empotrada en la placa, Sin embargo, este muro no trabaja en voladizo durante un período importante, ya que sobre él se apoya una losa, por lo tanto, se asume un apoyo fijo en la parte superior que restrinja el movimiento en ese punto.

Analizando la estructura, se determina que la condición más crítica para el diseño del muro es por medio del empuje activo (ecuación 16) y el empuje de sobrecarga igual a  $300 \text{ kg/m}^2$ , por lo tanto, se descarta el empuje sísmico para el diseño del muro.



### Ilustración 34. Empujes para una altura $hm$

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Asimismo, una vez hechos los análisis correspondientes, como se muestra en el *anexo memoria de cálculo estructural muro de contención M1*, se realizan las siguientes propuestas de diseño:

**Tabla 14. Resumen muro tipo M1**

Tabla de resumen				
Elemento	d(cm)	t(cm)	As.req (cm <sup>2</sup> )	As.hor (cm <sup>2</sup> )
Punta	12,5	20	4,17	5
Talón	12,5	20	4,33	5
Pared	12,5	20	4,17	5

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

### - Propuesta de aceros muro M1

**Tabla 15. Propuestas de acero para los muros M1**

Propuesta de diseño	
<b>Vertical:</b>	Doble malla varilla #3 @ 15 cm (9.46 cm <sup>2</sup> )
<b>Horizontal:</b>	Doble malla varilla #3 @ 15 cm (9.46 cm <sup>2</sup> )

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Para los muros M2, el procedimiento de cálculo es el mismo, sin embargo, éstos sí trabajan como un voladizo, por lo tanto, el diseño de la pared se realiza con una altura *hm*, asumiendo que el muro está únicamente empotrado. Se recalculan los empujes  $E_a$  y  $E_s$ , y sus respectivos brazos de palanca. Una vez obtenidos dichos datos, se calcula el momento  $M_u$  y el cortante  $V_u$ .

**Tabla 16. Propuestas de acero para los muros M2**

Propuesta de diseño	
<b>Vertical:</b>	Doble malla varilla #3 @ 15 cm (9.46 cm <sup>2</sup> )
<b>Horizontal:</b>	Doble malla varilla #3 @ 15 cm (9.46 cm <sup>2</sup> )

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Además, se recomienda utilizar un tubo tipo drenafort de 100 mm de diámetro (4 pulg) sobre lo ancho de los talones de los muros de contención, con aproximadamente 20 cm de grava sobre éste, con la finalidad de reducir la presión hidrostática sobre los muros.

#### 4.1.1.2 Diseño de viga V1

Parámetros de diseño:

- Sección transversal: 20 x 20 cm
- Corona del muro: 0.20 m
- Longitud de viga: 2.225 m
- Longitud luz libre =  $2.225 - 0.20 = 2.025$  m
- $f'_c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>
- $f_y$  longitudinal: 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- $f_y$  aros: 2800 kg/cm<sup>2</sup>
- $d$ :  $h - 6.0 = 20 \text{ cm} - 6.0 = 14.0 \text{ cm}$  (*se propone un espesor conservador de 6 cm*)

#### Diseño a flexión

El análisis de vigas se efectuó por medio de la herramienta de análisis estructural SAP2000, donde se realizó un modelado estructural en planta de la estación de bombeo. Además, se extrajeron las tablas de cortante último ( $V_u$ ) y momentos últimos ( $M_u$ ) en los extremos y centro de la viga. Para el diseño estructural, se utilizaron los datos más críticos de momento y cortante del sistema presentes en el *anexo 18*.

Asimismo, se determina, de manera general para el diseño, utilizar 2#3 (1.42 cm<sup>2</sup>) longitudinales en la cara superior de la viga, 2#3 (1.42 cm<sup>2</sup>) longitudinal, ya que ambas propuestas cumplen con los criterios de  $A_s$ .min y  $A_s$ . máx. Además, cumplen con la propuesta de área de acero en compresión. También, se determina que es mejor utilizar un solo número de varilla para

evitar desperdicios importantes que puedan afectar directamente al factor económico, el cual tiene un papel fundamental en el desarrollo de cualquier proyecto.

Por lo anterior, las varillas longitudinales requieren recorrer un mínimo de  $15 + 3.0 = 18$  cm en el nudo entre la viga y la columna más un anclaje vertical de 12 cm. Al ser un muro con una corona de 20 cm, la distancia resulta suficiente para el anclaje mínimo.

#### - Propuesta de aceros para las vigas V1 y vigas V2

**Tabla 17. Propuesta de acero para las vigas tipo V1**

Viga	Refuerzo longitudinal y transversal
Vigas 20x20	Se proponen dos varillas #3 en la cara en tensión de manera longitudinal y dos varillas #3 en la cara en compresión de manera longitudinal, doble aro #3 @ 10 cm.

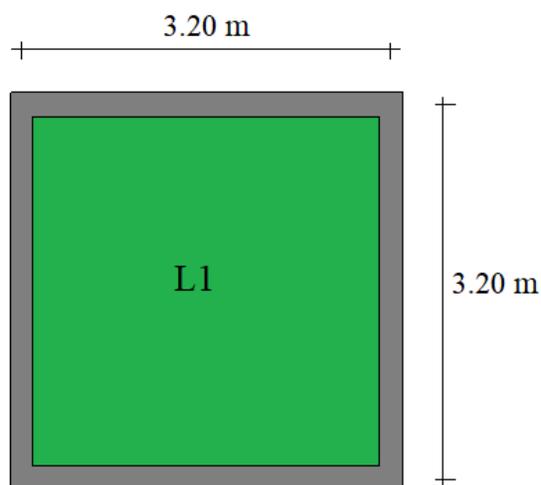
Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

**Tabla 18. Propuestas de acero para las vigas tipo V2**

Viga	Refuerzo longitudinal y transversal
Vigas 35x20	Se proponen dos varillas #3 en la cara en tensión de manera longitudinal y dos varillas #3 en la cara en compresión de manera longitudinal, doble aro #3 @ 10 cm.

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

#### 4.1.1.3 Diseño de losa L1



#### **Ilustración 35. Dimensiones de losa más crítica**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Según el detalle de la geometría anterior, se procede al diseño de las losas tipo L1.

Dimensiones de la losa:

- Luz corta ( $l_a$ )= 3.20 m
- Luz larga ( $l_b$ )= 3.20 m

$$\frac{l_a}{l_b} < 2$$

$$\frac{3.20 \text{ m}}{3.20 \text{ m}} = 1.0 < 2.0, \therefore \text{se diseña por el método de losas en dos direcciones}$$

### Propiedades de los materiales

- $f_y = 4200 \text{ kg/cm}$
- $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- $\gamma. \text{ concreto} = 2400 \text{ kg/m}^3$

Debido a que la luz corta y larga son iguales, se calcula  $l_n$  para ambas por medio de la *ecuación 63*.

$$l_{n(\text{corta})} = l_{n(\text{larga})} = 3.20 - 2(0.20) = 2.8 \text{ m}$$

Obtenidas las longitudes, se calcula el peralte mínimo que requiere la losa por medio de la *ecuación 64*, sin embargo, se debe calcular primero el factor B utilizando la *ecuación 65*.

$$B = \frac{2.80}{2.80} = 1.00$$

Sustituyendo el resultado de B y  $l_{n(\text{larga, corta})}$  en la *ecuación 65*.

$$t. \text{ min} = \frac{2.8}{30 + 3 * 1.00} = 0.084 \text{ m} =$$

$\therefore$  se propone un peralte  $t = 20 \text{ cm}$

### - Cargas de diseño

#### - Cargas permanentes

$$\text{Peso propio de la losa} = 2400 * 0.20 = 480 \text{ kgf/m}^2$$

$$\text{Equipo de mantenimiento} = 80 \text{ kgf/m}^2$$

$$\Sigma CP = 480 + 80 = 560 \text{ kgf/m}^2$$

#### - Cargas temporales

$$\text{Garajes y aparcamientos} = 300 \text{ kgf/m}^2 \text{ (ver anexo 15 y 20)}$$

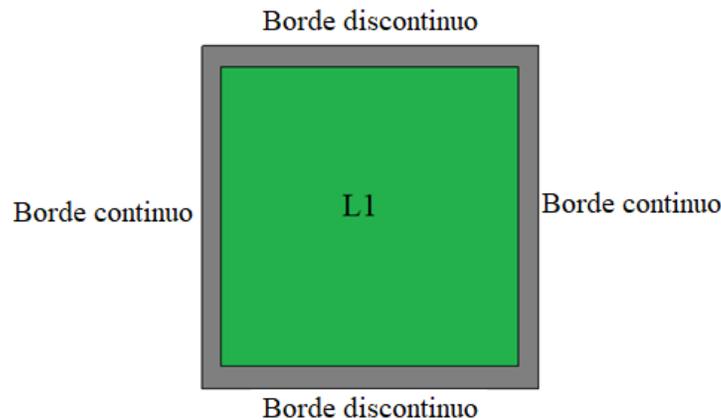
### - Cargas de diseño

Se aplican las *ecuaciones 14 y 15* para la mayorización de las cargas permanentes y temporales.

$$Cu_1 = 1.4 * 560 = 784 \text{ kgf/m}^2$$

$$Cu_2 = 1.2 * 560 + 1.6 * 300 = 1152 \text{ kgf/m}^2$$

∴ la combinación  $Cu_2$  rige, ya que es la mayor



### **Ilustración 36. Condiciones de borde**

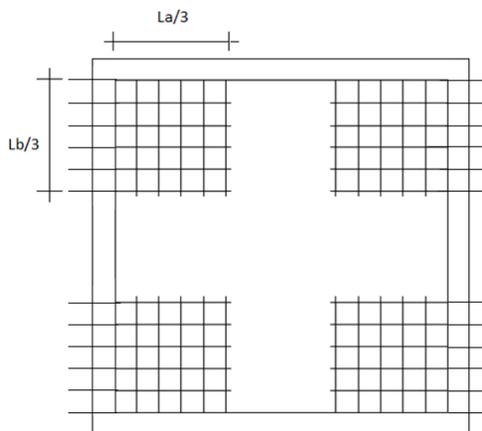
Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Se calcula el acero mínimo requerido por la losa por medio de la *ecuación 68*.

$$As. \text{ min} = 0.18 * 20 = 3.6 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, se determina que la losa se puede reforzar con un acero mínimo de  $3.6 \text{ cm}^2$ , por lo cual se propone utilizar varilla #3 espaciada a cada  $15.0 \text{ cm}$  ( $\#3 @ 15.0 \text{ cm} = 4.73 \text{ cm}^2$ ) en el lecho inferior.

Para el lecho superior, se proponen las siguientes dimensiones de bastones continuos:



### **Ilustración 37. Interpretación para el cálculo del acero en el lecho superior**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

$$L_a = L_b = \frac{2.80}{3} = 0.93 \cong 1.00 \text{ m}$$

De esta manera, se propone un refuerzo de acero en las esquinas de la losa de bastones de varilla #3 de un 1.00 m de longitud, separados a cada 15.0 cm.

Para las losas tipo L2 de acuerdo con las condiciones presentes en este tipo de losas, se plantea utilizar un área de acero mínima de  $3.6 \text{ cm}^2$ . De esta manera, se propone utilizar varilla #3 espaciada a cada 15.0 cm ( $\#3 @ 15.0 \text{ cm} = 4.73 \text{ cm}^2$ ) en el lecho inferior, y en el lecho superior en las esquinas de la losa, bastones de varilla #3 de un 1.00 m de longitud, separados a cada 15.0 cm.

## **4.1.2 Mecánico y civil**

### **4.1.2.1 Mecánico**

#### **Elevaciones del terreno**

Elevación cárcamo de bombeo

- 1039 msnm (*ver anexo 22*)

Elevación pozo de registro

- 1044 msnm (*ver anexo 23*)

#### **Caudal**

- $Q_{Be} = 11.7 \text{ l/s}$

### Volumen de cárcamo de bombeo

Se calcula el volumen correspondiente del cárcamo de bombeo para un tiempo de retención máximo de 30 minutos por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de retención} = Q * \text{tiempo de retención} \quad (76)$$

$$Q = 11.7 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0.0117 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.702 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$\text{Volumen de retención} = 0.702 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 30 \text{ min} = 21.03 \text{ m}^3$$

Se proponen las siguientes dimensiones para un tiempo de retención de 30 minutos:

- Largo: 3 m
- Ancho: 3 m
- Profundidad: 2.4 m

$$\text{Volumen del cárcamo} = \text{largo} * \text{ancho} * \text{profundidad} \quad (77)$$

$$V = 3 * 3 * 2.4 = 21.6 \text{ m}^3$$

$$\therefore 21.6 \text{ m}^3 > 21.03 \text{ m}^3 \text{ si cumple}$$

### Carga estática (Hst)

Dadas las elevaciones del terreno, la carga estática es la siguiente:

$$Hst = 5.28 \text{ m}$$

### Pérdidas en la tubería de impulsión

#### Perdidas por fricción

Aplicando la *ecuación 9* y sustituyendo los datos correspondientes, se obtienen los siguientes datos:

- Diámetro de impulsión = 102 mm = 0.102 m
- Caudal (Q) = 11.7 L/s = 0.0117 m<sup>3</sup>/s
- Longitud de impulsión = 104 m aproximadamente
- C = 130 para tubos de acero

$$hf = \left( \frac{10.679}{130^{1.852} * 0.102^{4.781}} \right) (0.0117^{1.852} * 104)$$

$$hf = 1.96 \text{ m} \cong 2.0 \text{ m}$$

### Pérdidas locales

$$h_l = 2\text{m} * 5\% = 0.1 \text{ m}$$

### Cálculo de la carga dinámica total

La carga dinámica total (CDT) se obtiene por medio de la *ecuación 70*.

$$\text{CDT} = 2.0 + 0.1 + 5.28 = 7.38 \text{ m} \cong 7.4 \text{ m}$$

### Velocidad

Para obtener la velocidad del sistema, se aplica la *ecuación 8*.

$$V = \frac{0.0117}{\frac{\pi * 0.102^2}{4}} = 1.43 \text{ m/s}$$

### Sobrepresión por golpe de ariete

Se calcula la sobrepresión por golpe de ariete aplicando la *ecuación 11*:

Donde:

Presión de tubería= 164 kg/cm<sup>2</sup> (*ver anexo 33*)

Ea= 20670 kg/cm<sup>2</sup>

Et= 2100000 kg/cm<sup>2</sup> (*ver anexo 24*)

D=102 mm = 0.102 m

T= 6 mm = 0.006 m

$$\Delta h_{ga} = \frac{145 * 1.43}{\sqrt{1 + \frac{20670(0.102)}{2100000(0.006)}}$$

$$\Delta h_{ga} = 191.91 \text{ m. c. a.}$$

$$\Delta h_{ga} = 19.91 \text{ kg/cm}^2$$

$$164 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > 19.91 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, \therefore \text{ Sí cumple}$$

### Análisis de bomba

Una vez enviados los datos anteriores a la empresa Flygt, ellos recomiendan utilizar la bomba Flygt NP 3127 SH 3.

El Ing. Soto, director 1 del Departamento de Dirección y Apoyo de Investigación y Desarrollo de la ESPH S.A. menciona que se debe realizar el análisis de la bomba Flygt NP 3127 SH 3:

### A. Carga

- Bomba

- $Q_{BE} = 11.7 \text{ l/s}$
- $H_n$  (altura neta) = 8.25 m

- Sistema

- $TDH = 7.4 \text{ m}$

$$TDH \leq H_n \therefore \text{la bomba entrega más de } 11.7 \text{ l/s}$$

La velocidad específica es la misma debido a que son dos puntos de similitud hidráulica:

$$ns = \frac{N_1 * Q_1^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{75} * H_1^{\frac{3}{4}}} = \frac{N_2 * Q_2^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{75} * H_2^{\frac{3}{4}}}$$

Donde:

N= velocidad de rotación

Q= caudal

H= altura neta

La velocidad de rotación N y la raíz de 75 se cancela en ambos lados debido a que la velocidad de rotación es la misma, por lo tanto, queda de la siguiente manera para obtener el Q2:

$$Q_2 = Q_1 * \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{\frac{3}{4}} \quad (78)$$

$$Q_2 = 11.7 * \left(\frac{8.25}{7.4}\right)^{\frac{3}{4}} = 12.7 \text{ l/s}$$

$\therefore$  con dicho modelo de bomba se espera que entregue 13.2 l/s en su punto de diseño

### B. NPSH

- $Q = 12.7 \text{ l/s}$
- $NPSH_{req} = 2.5 \text{ m}$  (ver anexo 27)

Cálculo de  $NPSH_{disp}$ , aplicando la ecuación 13:

$$NPSH_{Disponible} = H. \text{ abs } \pm H_s - h_f - h_{vp}$$

Se aplica la *ecuación 8* para obtener la velocidad, con  $D_i = 0.1\text{ m}$  y un  $Q = 0.0127\text{ m}^3/\text{s}$ , por lo tanto, la velocidad es igual a:

$$V = \frac{0.0127}{\frac{\pi * 0.1^2}{4}} = 1.61\text{ m/s}$$

Se calculan las pérdidas de succión, sin embargo, solo hay pérdidas por contracción súbita. El diámetro  $D_1$  del cárcamo se considera infinito y  $D_2$  es el diámetro del ojo de la entrada de la bomba, por lo tanto, dicha relación se considera infinita:

$$\frac{D_1}{D_2} = \infty$$

$$V = 1.61\text{ m/s}$$

Utilizando la tabla 10.3 Robert L. Mott, presente en el *anexo 3I*, cuando  $D_1/D_2 = \infty$ , con una velocidad de  $1.7\text{ m/s}$ , por medio de una interpolación, se obtiene que el valor  $K = 0.48$ .

1.2	0.48
1.7	0.48
1.8	0.48

**Ilustración 38: Interpolación para la obtención del coeficiente K.**

Fuente: Academia Rafa Vilchez, febrero 2021

Se calculan las pérdidas por fricción:

$$h_f = K * \frac{V^2}{2 * g} \quad (79)$$

Donde:

$H_f$ = pérdidas por fricción (m)

$V$ = velocidad (m/s)

$K$ = coeficiente de resistencia-contracción súbita

$$h_f = 0.48 * \frac{1.61^2}{2 * 9.8} = 0.063\text{ m}$$

Se calcula de la presión de vaporización del agua por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{vp} = 101.3 * \left( \frac{T_v}{100} \right)^{3.01} \quad (80)$$

Donde:

$T_v$ : temperatura de vaporización (°C)

$$P_{vp} = 101.3 * \left( \frac{20}{100} \right)^{3.01} = 0.80 \text{ Kpa}$$

Una vez obtenida la presión de vaporización, se calcula la altura de vaporización por medio de la ecuación:

$$h_{vp} = \left( \frac{P_{vp}}{\gamma} \right) \quad (81)$$

$$h_{vp} = \left( \frac{0.80 \text{ Kpa}}{9.81 \text{ Kn/m}^3} \right) = 0.08 \text{ m}$$

Cálculo de la altura atmosférica por medio de la ecuación:

$$H_{abs} = \left( \frac{P_{atm}}{\gamma} \right) \quad (82)$$

$$H_{abs} = \left( \frac{101.3}{9.81} \right) = 10.3 \text{ m}$$

En relación con la altura de succión, al ser una bomba sumergible, ésta se encuentra en el fondo, por lo tanto, la carga de succión más crítica es cuando el cárcamo de bombeo se encuentra casi vacío. Por ende, se asume lo siguiente:

$$\therefore H_s \cong 0$$

Aplicando la ecuación 13, se obtiene lo siguiente:

$$NPSH_{Disp} = 10.3 + 0 - 0.063 - 0.08 \cong 10.15 \text{ m}$$

$$NPSH_D > NPSHR \therefore \text{la bomba cumple}$$

$$FS = \frac{10.15}{2.5} = 4.06 \therefore \text{Sí cumple}$$

### C. Eficiencia

Según los gráficos brindados por el fabricante, para un caudal de 12.7 l/s, la eficiencia  $\eta$  del 59.1 % es aceptable.

#### D. Potencia requerida al motor

Aplicando la *ecuación 12* de potencia, se obtiene lo siguiente:

$$P_a = \frac{9.81 * 8.25 * 0.0127}{0.591} = 1.74 \text{ kw} = 2.3 \text{ hp}$$

Se obtiene la potencia requerida al motor por medio de la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{P_b}{h_m} \quad (83)$$

Donde:

H<sub>m</sub>: se obtiene de los porcentajes mostrados en la ilustración 33.

$$P_m = \frac{2.3}{0.863} = 2.67 \text{ hp}$$

Según el gráfico mostrado en la ilustración 33, la potencia máxima de esta bomba es de 7.5 hp.

2.67 hp < 7.5 hp ∴ si cumple

#### E. Potencia del motor al arranque

Para P<sub>m</sub> (potencia del motor) igual 7.5 hp, los datos correspondientes según la ilustración 33 para la obtención de la potencia del motor de arranque son:

- I<sub>d</sub> (arranque directo): 58 amperios
- I<sub>Δ-★</sub> (arranque delta-estrella): 19 amperios

$$P = V * A \quad (84)$$

Donde:

V: voltaje = 460 voltios (constante)

A: amperaje

$$\therefore \frac{A_1}{P_1} = \frac{A_2}{P_2} \quad (85)$$

#### - Arranque directo

Despejando la *ecuación 85* en función de A<sub>2</sub> y sustituyendo los valores, se obtiene que:

$$A_2 = 58 * \frac{2.67}{7.5} = 20.65 \text{ amperios}$$

Se calcula la potencia por medio de la *ecuación 84*:

$$P. \text{ directa} = 460 * 20.65 = 9499 \text{ W} = 12.64 \text{ hp}$$

12.64 hp > 7.5 hp ∴ no puede tener un arranque directo.

#### - Arranque Δ-★

Despejando la *ecuación 85* en función de A2 y sustituyendo los valores, se obtiene que:

$$A1 = 19 * \frac{2.67}{7.5} = 6.76 \text{ amperios}$$

Se calcula la potencia por medio de la *ecuación 84*:

$$P. \text{ delta} - \text{ estrella} = 460 * 6.76 = 3111.44 \text{ W} = 4.14 \text{ hp}$$

7.5 hp > 4.14 hp ∴ necesita un arranque tipo Δ-★ (comunicación personal, 16/02/21)

#### 4.1.2.2 Componentes civiles

Entre las características de servicio más importantes de la EBHE26, se encuentra que ésta será subterránea y bombeará aguas residuales con arrastre de sólidos, por lo tanto, es un factor muy importante por considerar para la distribución de la estación de bombeo.

La EBHE 26 contará con una tubería de entrada de 203 mm (8") de diámetro, debido a que la ESPH S.A. dispone de esta tubería como prevista. Además, la estación de bombeo cuenta con uniones flexibles, válvulas de retención, válvulas de seccionamiento, válvula de compuerta, ampliación concéntrica para las bombas y válvulas de admisión y expulsión.

Asimismo, el primer compartimiento está constituido por un desarenador, el cual tiene la función de permitir que los sólidos pequeños como arenas se sedimenten. Además, en caso de que este compartimiento se llene, en la parte superior, cuenta con una tubería de desfogue de 102 mm (4"), la cual enviará las aguas al río más cercano. El primer compartimiento cuenta con tres tuberías de salida de 102 mm (4"), las cuales se montan sobre pedestales de concreto armado de al menos 25 cm de altura, asimismo, las tuberías están conectadas a rejillas automáticas de limpieza encargadas de elevar los sólidos de mayor tamaño a un cajón de concreto donde los funcionarios de la ESPH S.A. visitarán de manera periódica para la extracción de la basura en este cajón como parte del mantenimiento de limpieza general.

Las rejillas automáticas de limpieza cuentan con orificios por donde el agua va a fluir por gravedad hacia el cárcamo de bombeo. El cárcamo de bombeo cuenta con una pantalla de concreto para disminuir el flujo turbulento del agua y evitar que se generen burbujas que provoquen cavitación en la bomba y dañen de manera prematura el equipo; además, estas pantallas cuentan

con canastas de limpieza, las cuales deben ser capaces de retener sólidos al menos de 25 mm de diámetro y deben estar construidas con acero inoxidable. Como se mencionó anteriormente, el pozo de bombeo se dimensionó de 3 m x 3 m x 2.4 m para que cumpla un tiempo de retención máximo de 30 minutos, además de que el fondo de éste cuenta con una pendiente de 45 grados hacia la boca de succión de las bombas, y evitar la acumulación de sedimentos en las esquinas del cárcamo, como lo establece la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial.

Las dos bombas propuestas para este sistema son sumergibles del tipo “inatascable”. Éstas se deben colocar en una configuración en paralelo y ambas deben tener la misma capacidad de poder bombear el caudal de 11.7 l/s. Cabe recalcar que los arranques de las bombas pueden variar dependiendo de la función que estén cumpliendo.

El compartimiento de impulsión tiene una profundidad de 2 m para el montaje y desmontaje de los accesorios que componen esta sección, y la separación entre las tuberías y las paredes es de 50 cm. Cada tubería de impulsión cuenta con un manómetro y válvula de alivio para evitar las sobrepresiones. Además, la tubería se apoya sobre pedestales de concreto de aproximadamente 30 cm. Las líneas de impulsión se acoplan a un múltiple de admisión, el cual se conecta con la línea de impulsión para el transporte de las aguas residuales hasta el pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este.

La estación de bombeo cuenta con 12 tapas de registro metálicas, en forma circular y en hierro fundido de 60 cm de diámetro, ubicadas de manera estratégica para la extracción e instalación de los accesorios, equipos de bombeo y extracción de basura acumulada en los compartimientos y canastas de limpieza.

La estación de bombeo cuenta con una losa en concreto reforzado de 20 cm de peralte para que el personal de la ESPH S.A. pueda situarse sobre ella y realizar los mantenimientos necesarios sin entrar en contacto directo con las aguas residuales.

El cárcamo de bombeo cuenta con cuatro accesos: dos para la extracción de las bombas por medio de un sistema de izaje, el cual incluye dos barras de acero como guía y un teclé móvil instalado en camión con la capacidad de soportar el peso del equipo de bombeo; los otros dos accesos cumplen la función de extracción de las canastas de sólidos y sirven como un punto de entrada para el personal operativo.

## 4.2 Análisis de prefactibilidad

### 4.2.1 Alternativas de reubicación

- 1) Consiste en un terreno de la Municipalidad de Heredia perteneciente a un parque público. Mide aproximadamente 13 m<sup>2</sup> y está ubicado costado oeste de la Urbanización Inmaculada Concepción, contiguo a las alternativas 2 y 3.



#### **Ilustración 39. Alternativa 1**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

- 2) Este terreno es de carácter público sin traspasar a la Municipalidad de Heredia de aproximadamente 12678.98 m<sup>2</sup>. Se encuentra al costado norte de la Urbanización Inmaculada Concepción. Asimismo, el planteamiento del problema menciona dicha propiedad.



#### **Ilustración 40. Alternativa 2**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

- 3) Calle pública dentro de la urbanización Inmaculada Concepción, ubicada al sur de la alternativa 1 y 2. La ESPH S.A. no requiere de permisos de construcción para iniciar la obra en esta zona.



#### **Ilustración 41. Alternativa 3**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

- 4) La alternativa 4 es una propiedad dentro de la Urbanización Inmaculada Concepción de aproximadamente 100 m<sup>2</sup>. Se localiza al sur de las alternativas 1, 2 y 3. Se requiere una expropiación.



#### **Ilustración 42. Alternativa 4**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

##### **4.2.2 Entrevista a Profesionales de la ESPH S.A.**

La entrevista se realiza al Ing. José Daniel Quesada Rojas, a la Ing. Adriana Sancho Porras, y al director 1 de DAID el Ing. Pablo Soto Ortega.

Las preguntas son las mismas para los tres ingenieros, por lo tanto, el análisis de datos se realiza en uno solo de acuerdo con las respuestas brindadas y con los criterios profesionales.

La entrevista se realiza por medio de la plataforma virtual Teams, debido a la actual pandemia mundial de la Covid-19.

**Tabla 19. Categorización de análisis cualitativo**

<b>Categoría (Variable)</b>	<b>Subcategoría (lo que mide la variable)</b>
Alternativas de reubicación	- Aspectos legales - Aspectos sociales - Aspectos ambientales
Criterios técnicos	- Dificultad constructiva - Dimensiones mínimas de los terrenos

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

## **Análisis de datos**

### **Variable 1: Alternativas de reubicación**

Como se mencionó anteriormente, este proyecto cuenta con cuatro alternativas de reubicación para la EBHE26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia. Las alternativas propuestas son la siguientes:

- La alternativa 1 es un terreno perteneciente a un parque público, ubicado al costado oeste de la Urbanización Inmaculada Concepción.
- La alternativa 2 es un terreno de carácter público sin traspasar a la Municipalidad de Heredia. Se ubica al costado norte de la Urbanización Inmaculada Concepción.
- La alternativa 3 es calle pública, ubicada al sur de la alternativa 1 y 2.
- La alternativa 4 corresponde a una casa ubicada em Urbanización Inmaculada Concepción.

Un aspecto fundamental por considerar para el desarrollo del proyecto es el ambiental, debido a que, por medio de la EBHE26, se pretenden enviar, de manera responsable, las aguas servidas a su debido punto de descarga para el tratamiento previo a la disposición final.

Para la evaluación ambiental, se enfoca en aspectos tales como la afectación de árboles, vegetación y zonas de protección, punto de desfogue, control de ruido y olores, entre otros.

En el caso de la alternativa 2, se debe remover aproximadamente 400 m<sup>2</sup> de capa vegetal para construir la estación en esa zona, caso contrario a las alternativas 3 y 4, las cuales tienen la ventaja de no contar con zona vegetal.

Se debe considerar el control de olores y ruidos, durante y después de la construcción debido a que las bombas generan ruidos por el arranque y las pausas que éstas tengan. Asimismo, se deben contrarrestar los olores generados durante y después de la construcción para evitar problemas con los vecinos de la urbanización.

Otro aspecto por considerar en el Proyecto de Saneamiento Ambiental es el factor social debido a la actual problemática presentada por la ESPH S.A. con la Urbanización Inmaculada Concepción.

Los ingenieros de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia entrevistados manifiestan que, desde un punto de vista social, “siempre se van a presentar problemas con los vecinos de cualquier zona independientemente el tipo de obra que se vaya a realizar” (Quesada, Sancho y Ortega, 8/02/21).

Por otro lado, las alternativas propuestas no afectan de manera significativa el tránsito de personas y vehículos en la urbanización, recalcando que la alternativa 3 tiene la ventaja de estar en un martillo, por lo cual es un factor a favor debido al bajo tránsito de la zona.

La alternativa 1, al ser un terreno de origen municipal, cuenta como zona de parque según la Ley de Planificación Urbana del INVU, por lo tanto, se resalta que utilizar dicha zona podría involucrarlos en problema legales y confrontaciones con los vecinos.

El último aspecto por evaluar para la EBHE26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia es la parte legal de las propiedades debido a que, en dos alternativas (2 y 4), está contemplado el proceso de expropiación. Por otra parte, al estar involucrado en una acción legal como ésta, los procesos son muy extensos y se escapa del control del grupo. Además, las dependencias que se tiene de los abogados, de los tribunales, de los peritos, entre otros profesionales externos a la empresa, le suman costos y tiempo al proyecto, por lo cual recalcan que las expropiaciones se toman en cuenta cuando no haya ninguna otra alternativa disponible en la zona.

Asimismo, los ingenieros recalcan la importancia de la alternativa 3 al ser calle pública, ya que “al ser zonas públicas y pertenecientes al estado, la ESPH S.A. tiene la potestad de utilizar las vías públicas de Heredia y de los cantones donde brinda servicios” (Quesada, Sancho y Ortega,

8/02/21). Por lo tanto, si para la Urbanización Inmaculada Concepción es viable utilizar la calle pública, se escoge dicha opción con respecto a la compra de un terreno.

### **Variable 2: Criterios técnicos**

Los profesionales entrevistados mencionan ciertos criterios por considerar para la estación de bombeo:

- La alternativa 2, durante la evaluación realizada anteriormente para el Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia por parte del consorcio CACISA-GIA, cumplía con todos los criterios técnicos requeridos por el proyecto para la construcción de la estación de bombeo en dicho terreno. Sin embargo, los ingenieros mencionan que, por aspectos legales, no se puede utilizar dicho terreno.
- Se deben tomar en cuenta las dimensiones de los terrenos, ya que el AyA menciona que, para estaciones de bombeo subterráneas, se requiere como mínimo 15 m<sup>2</sup> y estaciones superficiales 60 m<sup>2</sup>, o bien, en caso contrario, se deben adquirir extensiones. Los ingenieros recalcan que la alternativa 3 cuenta con un área suficiente para construir la estación de bombeo y cuenta con una elevación adecuada, por lo tanto, es una muy buena opción. Por otra parte, se debe hacer un reacomodo de las obras, ya que ésta sería de manera subterránea.
- Un aspecto por tomar en cuenta para la construcción de una estación subterránea y por lo que justifica su uso en el Proyecto de Saneamiento Ambiental, según el análisis de prefactibilidad realizado por el consorcio CACISA-GIA, menciona, que para realizar estaciones de bombeo subterráneas, el caudal de bombeo ( $Q_{BE}$ ) debe ser menor a 20 l/s y el caudal de bombeo de la estación 26 es de 11.7 L/s. Por ende, la EBHE26 cumple con dicho criterio para estaciones subterráneas y evita todas las externalidades. Consecuentemente, de esta manera, se puede incluir a la Urbanización Inmaculada Concepción y sus alrededores dentro del Proyecto de Saneamiento para esta primera etapa, y una vez aprobado el financiamiento, se confirma la inclusión dentro del proyecto.

Por otra parte, según el criterio de los expertos, éstos recomiendan utilizar la alternativa 3 debido a que cuenta con el área y los niveles necesarios para el desarrollo del proyecto. Además, al ser zona pública y perteneciente al Estado, la ESPH S.A. tiene la autorización de utilizar la vía pública para el desarrollo del proyecto, lo cual es de suma importancia para el factor social, ya que

beneficia a los vecinos con la circulación de peatones y vehículos de la zona. De esta manera, los vecinos no pueden presentar quejas contra el desarrollo del proyecto.

Como se mencionó anteriormente, los aspectos legales son de gran importancia debido a que, actualmente, la ESPH S.A. se encuentra en varios procesos de expropiación, y estos casos descontrolan los tiempos del Proyecto de Saneamiento Ambiental, lo cual significa un mayor tiempo de trabajo y costos, por lo tanto, los expertos sugieren que se debe verificar la parte legal de los terrenos.

El Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia se enfoca en dar prioridad al desarrollo ambiental de la provincia de Heredia, por lo tanto, el ambiente es el beneficiario directo de este proyecto.

### **4.2.3 Matriz multicriterios**

#### **4.2.3.1 Análisis de matriz multicriterios**

La elección de los terrenos para la EBHE26 se realiza por medio de un análisis de evaluación técnica, legal, social y ambiental. Así mismo, como se mencionó anteriormente, los terrenos para el desarrollo de este proyecto en esta urbanización son muy pocos, por lo tanto, las opciones consideradas se basan por conveniencia para el proyecto y aspectos como las áreas disponibles, facilidad constructiva, afectaciones en el transporte y ambiente, entre otros aspectos.

A continuación, se adjunta la evaluación de los terrenos disponibles para la EBHE26. Según la matriz multicriterios de las cuatro alternativas analizadas. La opción 3 es la más conveniente para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 20. Matriz de evaluación y selección de terrenos para la EBHE26**

Estación de Bombeo 26 Ulloa, Lagunilla		Coeficiente Ponderación	Calificación no ponderada de Alternativas				Puntaje ponderada de Alternativas				
Apartado	Criterio de Evaluación		Alternativa				Alternativa				
			1	2	3	4	1	2	3	4	
<b>1 ASPECTOS TÉCNICOS</b>											
1,1	Dimensiones del terreno: libertad para alojar la estación	10	2,5	10	10	7,5		25	100	100	75
1,2	Grado de dificultad de las obras	8	7,5	7,5	7,5	7,5		60	60	60	60
<b>2 ASPECTOS LEGALES</b>											
2,1	Facilidad de adquirir el terreno	5	2,5	2,5	10	5		12,5	12,5	50	25
<b>3 ASPECTOS SOCIALES</b>											
3,1	Afectaciones para accesos y viabilidad	7	5	10	7,5	7,5		35	70	52,5	52,5
3,2	Afectaciones a comercios, fabricas, escuelas, oficinas o parques públicos.	10	5	10	10	10		50	100	100	100
<b>4 ASPECTOS AMBIENTALES</b>											
4,1	Afectación a árboles, vegetación y zonas donde habiten animales	6	7,5	5	10	10		45	30	60	60
4,2	Capacidad de amortiguamiento de efectos como olores y ruidos	5	7,5	10	5	10		37,5	50	25	50
<b>TOTALES</b>			37,5	55	60	57,5		265	422,5	447,5	422,5

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

**Tabla 21. Matriz de puntaje para la evaluación de aspectos para la estación de bombeo**

Puntaje	ASPECTOS A EVALUAR			
	ASPECTOS TÉCNICOS	ASPECTOS LEGALES	ASPECTOS SOCIALES	ASPECTOS AMBIENTALES
<b>Excelente</b>	Las dimensiones del terreno permiten alojar de manera adecuada la estación.	Se cuenta con carta de disponibilidad de venta de la propiedad.	No afecta los accesos de la urbanización además la transitabilidad vehicular y peatonal no se ve interrumpidas.	No hay afectación a árboles, vegetación y zonas donde habiten animales.
<b>10</b>	No presenta un grado de dificultad para la construcción de la misma	No se requiere de expropiaciones.	No hay afectaciones a comercios, fabricas, escuelas, oficinas y parques públicos.	Existe una capacidad de amortiguamiento tanto para olores y ruidos que afecten a los vecinos de la urbanización y zonas colidantes.
<b>Buena</b>	Las dimensiones del terreno aún permiten alojar de manera adecuada la estación.	Existe la posibilidad de adquirir el terreno para la instalación de la estación por medio de una compra donde el dueño acepta el avalúo por parte de la Empresa.	Los accesos a la urbanización, la transitabilidad vehicular y peatonal se ven mínimamente interrumpidas.	Hay una afectación mínima a árboles, vegetación y zonas donde habiten animales.
<b>7,5</b>	El grado de dificultad para la construcción de la misma es mínima.	Se requiere un proceso de negociación y notificación del avalúo.	Las afectaciones son mínimas a comercios, fabricas, escuelas, oficinas y parques públicos.	Pueden haber problemas mínimos con la capacidad de amortiguamiento tanto para olores y ruidos que afecten a los vecinos de la urbanización y zonas colidantes.
<b>Regular</b>	Las dimensiones del terreno están muy ajustadas al mínimo requerido sin embargo no impide alojar de manera adecuada la estación.	Se presentan dificultades para adquirir el terreno, sin embargo, se puede seguir intentado negociar la propiedad con el propietario.	Los accesos de la urbanización, la transitabilidad vehicular y peatonal se comienzan a ver interrumpidas.	Hay una afectación representativa a árboles, vegetación y zonas donde habiten animales.
<b>5</b>	Se presenta un grado de dificultad para la construcción de esta.	La ESPH S.A puede apelar a su potestad de expropiación, cuya notificación puede generar que el propietario acepte el avalúo, sin necesidad de recurrir al proceso de expropiación; o bien se continúa el proceso de expropiación hasta que el juez intervenga y declare a la ESPH S.A.	Se presentan afectaciones ocasionales a comercios, fabricas, escuelas, oficinas y parques públicos.	Se pueden presentar notables problemas con la capacidad de amortiguamiento tanto para olores y ruidos que afecten a los vecinos de la urbanización y zonas colidantes.
<b>Mala</b>	Las dimensiones del terreno no permiten alojar de manera adecuada la estación, por lo tanto se debe adquirir uno extra.	El terreno a evaluar tiene un uso no compatible con el desarrollo de la obra, y pertenece a la Municipalidad o Asociación, lo que imposibilita la adquisición del bien.	Afecta directamente los accesos de la urbanización, además la transitabilidad vehicular y peatonal se ven interrumpidas.	Hay afectaciones directas a árboles, vegetación y zonas donde habiten animales.
<b>2,5</b>	El grado de dificultad para la construcción de la estación es notable.		Se presentan afectaciones directas a comercios, fabricas, escuelas, oficinas y de parques públicos.	Hay problemas con la capacidad de amortiguamiento de olores y ruido que afectan a los vecinos de la urbanización y zonas colidantes.

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

**Tabla 22. Cuadro de priorización de alternativas**

<b>Orden de prioridad</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Puntaje</b>
<b>1</b>	3: Construir la estación de bombeo de manera subterránea en calle pública para enviar las aguas servidas por medio de una línea de impulsión al pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este.	<b>447.5/700</b>
<b>2</b>	4: Expropiar la casa para así construir la estación de bombeo en el terreno de aproximadamente 100 m <sup>2</sup> (se deben restar los retiros) y enviar las aguas residuales por medio de una tubería de impulsión al pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este.	<b>422.5/700</b>
<b>3</b>	2: Construir la estación de bombeo de manera superficial en el terreno de 12678.98 m <sup>2</sup> (400 m <sup>2</sup> para construir) para así enviar las aguas servidas por medio de una línea de impulsión al pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este.	<b>422.5/700</b>
<b>4</b>	1: Construir la estación de bombeo en el terreno de aproximadamente 13 m <sup>2</sup> que es parte de un parque público y así enviar las aguas residuales por medio de una línea de impulsión al pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este.	<b>265/700</b>

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Como indica el cuadro de priorización de alternativas, la alternativa 3 es la primer y mejor opción para el desarrollo del proyecto, el cual consiste en construir la estación de bombeo de manera subterránea en calle pública y enviar las aguas residuales al pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María para que así éstas se vayan por gravedad a la planta de tratamiento.

El orden de prioridad puede variar dependiendo de los criterios profesionales. Cabe recalcar que, *en ocasiones, un puntaje elevado no significa un mayor orden de prioridad*, como lo es el caso de la prioridad 4 y 2, donde ambas poseen el mismo puntaje. Sin embargo, debido a la actual problemática legal que presenta la alternativa 2, donde no existe un dueño definido, estas condiciones le dan menos valor para el orden de prioridad, caso contrario a la alternativa 4. Por ende, ésta ocupa el segundo puesto.

#### **4.3 Presupuesto preliminar de costos**

Para este proyecto de graduación, se plantea la realización de un presupuesto preliminar de costos de la obra, ya que omite gastos de administración, imprevistos, utilidades, costo de mano de obra, así como costo de equipos y maquinaria.

Se utiliza la hoja de cálculo de presupuesto preliminar de estaciones de bombeo de la ESPH S.A. para el Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, donde se detalla la descripción del artículo, cantidad por unidad de medida, costo de materiales en colones y dólares, y total de costos.

El propósito de realizar dicho presupuesto consiste en dar un monto previo del proyecto para que, en el futuro, la ESPH S.A. considere el monto dado como una base o monto de referencia del presupuesto de la EBHE26.

Como se mencionó anteriormente, la hoja de cálculo se basa en la hoja de Escala de Cantidades y Precios para Estación de Bombeo de Aguas Residuales, la cual es utilizada por el AyA para la proyección y viabilidad del proyecto.

Tabla 23. Presupuesto de la obra



EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE HEREDIA SOCIEDAD ANÓNIMA  
 PROYECTO DE SANEAMIENTO AMBIENTAL  
 ESTACIÓN DE BOMBEO DE HEREDIA N°26  
 ESCALA DE PRECIOS Y CANTIDADES



RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	SUMINISTRO DE MATERIALES				DÓLAR \$
				COSTO LOCAL ₡		COSTO EXTRANJERO \$		620
				UNITARIO	TOTAL	UNITARIO	TOTAL	
<b>EQUIPAMIENTO MECÁNICO</b>								
1	BOMBA SUMERGIBLE, PARA MANEJO DE AGUAS RESIDUALES, CAUDAL DE 11,7 l/s Y UNA CARGA DINÁMICA TOTAL DE 7,4 m.c.a., IMPULSOR INATASCABLE, 1750 rpm, CON MOTOR SUMERGIBLE DE 7.5 hp, 460 V, 3 FASES, INCLUYE CODO SILLETA DE 76 x 76 mm (3X3 plg), Y GUÍAS PARA DESMONTAJE DE EQUIPOS.	pza	2	₡ 5 365 000,00	₡ 10 730 000,00	\$ 8 653,23	\$ 17 306,45	
2	JUNTA FLEXIBLE TIPO DRESSER ESTILO 38, PARA ACOPLAMIENTO DE TUBERÍA DE ACERO DE 102 mm (4 plg)Ø, PARA UNA PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO DE 2.94 bar (30 mca).	pza	2	₡ 41 645,25	₡ 83 290,50	\$ 67,17	\$ 134,34	
3	VÁLVULA DE RETENCIÓN TIPO SWING FLEX, BRIDADA, CLASE 125, DE 102 mm (4 plg)Ø.	pza	2	₡ 101 880,71	₡ 203 761,42	\$ 164,32	\$ 328,65	
4	VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO, TIPO CAM CENTRIC PLUG, DE H.F., ASTM A 126, CON OPERADOR DE ENGRANES, BRIDADA, CLASE 125, DE 102 mm (4 plg)Ø.	pza	2	₡ 104 680,00	₡ 209 360,00	\$ 168,84	\$ 337,68	
5	TUBERÍA DE ACERO AL CARBÓN ASTM A120, DE 6.00 mm DE ESPESOR, DE 5.8 METROS DE LONGITUD, DE 102 mm (4 plg)Ø.	pza	30	₡ 78 680,00	₡ 2 360 400,00	\$ 126,90	\$ 3 807,10	
6	CODO DE ACERO AL CARBÓN ASTM A 234 WPB, EXTREMOS BISELADOS, CÉDULA ESTANDAR DE 102 mm (4 plg)Ø.	A).- 45°	pza	2	₡ 2 211,72	₡ 4 423,44	\$ 3,57	\$ 7,13
		B).- 90°	pza	2	₡ 3 471,02	₡ 6 942,04	\$ 5,60	\$ 11,20
7	BRIDA DESLIZANTE SLIP ON, DISEÑO ANSI B16.5, CLASE 150, EN ACERO AL CARBÓN ASTM A 181-II, DE 102 mm (4 plg)Ø.	pza	2	₡ 8 169,61	₡ 16 339,22	\$ 13,18	\$ 26,35	
8	AMPLIACIÓN CONCÉNTRICA, DISEÑO ANSI B16.5 CÉDULA ESTÁNDAR, EN ACERO AL CARBÓN ASTM A 234 WPB, DE 16X102mm (3x4") Ø	pza	2	₡ 4 730,00	₡ 9 460,00	\$ 7,63	\$ 15,26	
9	SENSOR DE NIVEL TIPO PERA, DE CÁPSULA DE MERCURIO	pza	2	₡ 35 238,00	₡ 70 476,00	\$ 56,84	\$ 113,67	
10	VÁLVULA DE ADMISIÓN Y EXPULSIÓN DE AIRE PARA AGUAS RESIDUALES, DE 25.4 mm (1 plg)Ø DE ORIFICIO DE ENTRADA Y 25.4 mm (1 plg)Ø DE ORIFICIO DE SALIDA, INCLUYE VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO DE 25.4 mm (1 plg)Ø.	pza	2	₡ 34 350,91	₡ 68 701,82	\$ 55,40	\$ 110,81	

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

**Tabla 24. Presupuesto de obra**

11	MANÓMETRO TIPO BOURDON PARA UN RANGO DE PRESIÓN DE 0-4 kg/cm <sup>2</sup> CON DIAFRAGMA DE ACERO INOXIDABLE Y GLICERINA, INCLUYE VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO Y ACCESORIOS	pza	2	€	22 290,00	€	44 580,00	\$	35,95	\$	71,90
12	CODO DE 90° DE ACERO AL CARBÓN ASTM A 120, EXTREMOS BISELADOS, 6.00 mm DE ESPESOR, 102 mm (4 plg)Ø, DISEÑO AWWA C 207	pza	1	€	3 471,02	€	3 471,02	\$	5,60	\$	5,60
13	REJILLA DE LIMPIEZA AUTOMÁTICA TIPO MINISCREEN, PARA UN CAUDAL DE 13,1 l/s Y UNA ABERTURA DE MALLA 6mm, INCLUYE MOTOR Y Y CONTROLES AUTOMATICOS DE ARRANQUE Y PARO, FABRICADA EN ACERO INOXIDABLE 316.	pza	3	€	9 641 000,00	€	28 923 000,00	\$	15 550,00	\$	46 650,00
14	CANASTA DE LIMPIEZA	pza	3	€	148 769,00	€	446 307,00	\$	239,95	\$	719,85
15	JUNTA FLEXIBLE TIPO DRESSER ESTILO 38, PARA ACOPLAMIENTO DE TUBERÍA DE ACERO DE 102 mm (4 plg)Ø, PARA UNA PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO DE 2.94 bar (50 mca)	pza	2	€	41 645,25	€	83 290,50	\$	67,17	\$	134,34
16	VÁLVULA DE COMPUERTA, DE H.F, ASTM A 126, INTERIORES DE NEOPRENO, BRIDADA, CLASE 125, DE 102 mm (4 plg)Ø.	pza	2	€	123 874,30	€	247 748,60	\$	199,80	\$	399,59
17	POLIPASTO O TECLE ELÉCTRICO MÓVIBLE, PARA IZAJE DE EQUIPO DE BOMBEO, CON CAPACIDAD DE 2000 kg, CON GANCHO GIRATORIO, DISEÑO MONORRIEL. VELOCIDAD DE IZAJE DE 8.6 m/min, CON MOTOR ELÉCTRICO DE 2 hp, 60 Hz, 220/460 VCA, RECORRIDO DEL GANCHO DE 11 m Y BOTONERA COMPLETA PARA MOVIMIENTO A LA ALTURA DEL OPERADOR	pza	1	€	1 068 751,00	€	1 068 751,00	\$	1 723,79	\$	1 723,79
18	TUBO DRENAFLEX DE PVC PERFORADO, DE 4 PULGADAS (115 mm)Ø.	pza	5	€	24 690,00	€	123 450,00	\$	39,82	\$	199,11
19	TAPAS DE REGISTRO DE 60 cm DE DIÁMETRO	pza	14	€	103 750,00	€	1 452 500,00	\$	167,34	\$	2 342,74

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

**Tabla 25. Presupuesto de obra**

EQUIPAMIENTO ESTRUCTURAL											
20	CONCRETO CON UNA RESISTENCIA DE 280 kg/cm <sup>2</sup> PARA LOS MUROS DE CONTENCIÓN, VIGAS Y LOSAS.	m3	36	€	93 000,0	€	3 348 000,0	\$	150,00	\$	5 400,00
21	CONCRETO POBRE CON UNA RESISTENCIA NOMINAL A LOS 28 DÍAS DE 105 kg/cm <sup>2</sup> PARA SELLOS	m3	2,4	€	60 000,0	€	144 000,0	\$	96,77	\$	232,26
22	VARILLA #3 GRADO 60 PARA MUROS DE CONTENCIÓN, VIGAS Y LOSAS.	pza	655	€	2 240,0	€	1 467 200,0	\$	3,61	\$	2 366,45
23	ALAMBRE NEGRO	kg	100	€	800,0	€	80 000,0	\$	1,29	\$	129,03
24	FORMALETA	global	1	€	1 209 000,0	€	1 209 000,0	\$	1 950,00	\$	1 950,00
25	CORTE Y BOTE	m3	309	€	9 500,0	€	2 935 500,0	\$	15,32	\$	4 734,68
26	IMPERMEABILIZANTE	cub	6	€	115 950,0	€	695 700,0	\$	187,02	\$	1 122,10
<b>SUMA DE COSTOS</b>											
							LOCAL		EXTRANJERO		
<b>SubTotal</b>				€	54 568 452,6		\$	88 013,63			
<b>13%</b>				€	7 093 898,8		\$	11 441,77			
<b>Total</b>				€	63 129 551,4		\$	101 821,86			

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

#### **4.4 Mantenimiento**

En términos generales, por mantenimiento, se designa al conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual el mismo pueda desplegar la función requerida o las que venía desplegando hasta el momento en que se dañó, en caso de que haya sufrido alguna rotura que hizo que necesite del pertinente mantenimiento y arreglo (Ucha., 2009, párr. 1).

El mantenimiento preventivo en las estaciones de bombeo del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia busca la conservación y el buen estado de los equipos de bombeo para aguas residuales. Para ello, la ESPH S.A. cuenta con un periodo de inspección determinado para cada estación.

La Empresa recomienda el mantenimiento de los siguientes equipos y válvulas:

- Centro de control de motores
- Sistemas de control de funcionamiento de las bombas
- Válvulas y accesorios
- Rejillas
- Bombas sumergibles

Para el mantenimiento respectivo, es importante la capacitación del personal responsable para dichas tareas, además del uso de los manuales de operación y mantenimiento brindado por los proveedores de los equipos y el manual interno de la ESPH S.A.

##### **Mantenimiento rutinario**

El mantenimiento rutinario se recomienda que se realice al menos cada tres meses, por lo tanto, se deben verificar las siguientes condiciones:

- Verificar, de manera general, los equipos electromecánicos durante su funcionamiento para examinar posibles fallos, como sobrecalentamientos, caídas de presión en la bomba y disminución en la salida del caudal.
- Limpieza o reemplazo de contactores y control audible para la detección de vibraciones en contactores o relés.
- Anulación de la energía principal por medio de la desconexión del interruptor para la verificación de las cubiertas de seguridad en su respectiva posición.

- Ajustes de pernos y tuercas de los cables de energía, barras de cobre al interruptor principal y contactores.
- Reemplazo de cables, barras de cobre y contactores donde se presenten marcas de quemado.
- La corriente inducida y de operación de las bombas se debe verificar por medio de los arranques determinados para cada una de ellas. En caso de presentar anomalías con respecto a los fines esperados, se deben revisar las bombas por problemas mecánicos.
- Durante el arranque individual de las bombas, se debe verificar el caudal y la presión de impulsión esperados.
- La limpieza general para la conservación del equipo y la estación de bombeo es realizada por el equipo de mantenimiento.

#### **Mantenimiento correctivo de motores**

- Para el mantenimiento correctivo de los motores de las estaciones de bombeo, el paso más importante antes de operar las bombas y los controles consiste en desconectar la energía.
- Las reparaciones en campo de las bombas son designadas a personal electromecánico capacitado. En caso de que se necesite extraer la bomba del cárcamo del bombeo, la EBHE26 cuenta con tecles móviles, los cuales se colocan en los camiones de la Empresa para la elaboración de este trabajo.

#### **Mantenimiento en casos de emergencia**

- Las estaciones del bombeo al igual que otras estructuras pueden presentar imprevistos para su funcionamiento, como lo son cortes de corriente. Para este caso en especial, la EBHE26 contaría con una planta de energía eléctrica móvil alimentado por diésel para un funcionamiento de 8 horas continuas.
- Las estaciones de bombeo se diseñan para que soporten los movimientos del suelo, ya sean sismos o terremotos, sin embargo, en caso de presentar fallas importantes, la ESPH S.A. estima que la reparación de una estación de bombeo por daños estructurales dura un mes aproximadamente. En caso de que ésta se llegase a inhabilitar, se bombearía el agua a un camión cisterna para que lleve el agua a un pozo de registro ubicado en otra zona.

- En caso de inundaciones, se estima la puesta en marcha del sistema en tres días.

## 5 Conclusiones

1- Se visitó la Urbanización Inmaculada Concepción para una inspección de campo y así determinar cuáles pueden ser las posibles alternativas de reubicación. La visita a la urbanización fue sustancial porque así se conoció el área general del proyecto. Como ayuda adicional, durante la inspección, acudió personal de la ESPH S.A. Igualmente, durante la visita, se determinaron las alternativas de reubicación para el proyecto, además de observarse la planta de tratamiento Real Santa María del Este. Lo más complejo durante la visita fue seleccionar las áreas de reubicación porque las propiedades disponibles en la Urbanización Inmaculada Concepción son mínimas.

2- Se verificaron las circunstancias actuales de la Urbanización Inmaculada Concepción para la aplicación de una matriz multicriterio donde se evaluaron aspectos sociales, legales, ambientales y técnicos. La verificación durante la visita fue valiosa, pues se pudo conocer la realidad de la urbanización porque, de esta manera, se atribuyeron los puntajes de los aspectos evaluados en la matriz para la EBHE26. Contar la experiencia de los ingenieros de DAID para comprender de mejor manera el funcionamiento de la matriz multicriterios y cómo ellos las aplican en los proyectos de la ESPH S.A. fue de gran utilidad. La verificación de los aspectos sociales, legales, ambientales y técnicos descritos en la matriz de puntaje complementaria fue algo complicado, debido a que no se pretendía hacer la calificación en la matriz multicriterios de manera subjetiva y lo que se logró finalmente con dicha descripción fue interpretar, de manera más concisa, los resultados obtenidos para la toma de decisiones.

3- Asimismo, se diseñó, de manera preliminar, la bomba sumergible que mejor se adaptó a las condiciones actuales de bombeo y se analizó la bomba para determinar el arranque que ésta necesite. Para realizar el diseño, fue de suma importancia obtener los datos de las alturas (m.s.n.m.) a nivel de calle del punto de carga y de descarga, así como las profundidades correspondientes del cárcamo de bombeo y el pozo de registro, ya que, con dichos datos, se obtuvieron los resultados solicitados por la empresa Flygt para enviar los gráficos de rendimientos de la bomba. Contar con el documento de la ESPH S.A. para el diseño de estaciones de bombeo influyó de manera positiva en el análisis hidráulico para la obtención de

resultados. El análisis de la bomba y el par de arranque generó ciertas dificultades, ya que es un tema mecánico completamente nuevo que en ingeniería civil no se estudia.

4- De igual forma, se efectuó una propuesta de diseño de los principales componentes estructurales con base en la carga estimada para la estación de bombeo de Heredia N.º26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia. Para efectuar el diseño, fue conveniente considerar la estructura geométrica de la estación de bombeo porque, definida la geometría y sus dimensiones, se realizó el diseño de los componentes estructurales, tales como muros de contención, vigas y losas.

La programación de hojas de cálculo en Excel fue de gran apoyo para agilizar el proceso de cálculo de los elementos mencionados, así como utilizar SAP2000 para generar un modelado estructural sirvió para la obtención de los momentos y cortantes de las vigas de manera más eficaz. Lo más tedioso para efectuar el diseño fue interpretar las condiciones de apoyo de los muros de contención porque, observando la estructura, se determinó que unos muros no iban a trabajar en voladizo todo el tiempo y otros sí. Debido a ello, se clasificaron como muros tipo M1 y M2.

## **6 Recomendaciones**

1. Se le recomienda a la ESPH S.A. verificar la parte legal de las propiedades por considerar para el Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia antes de la toma de decisiones, con el propósito de evitar conflictos por terrenos sin propietarios definidos, y de esta manera, no introducir mayor incertidumbre a los tiempos del proyecto por medio de personas externas que se daban contratar para la solución de los problemas.
2. Se le recomienda a la ESPH S.A. contratar los estudios de suelos con al menos dos perforaciones (SPT) para los proyectos de infraestructura, para así tener una escala más amplia de las propiedades del suelo para realizar el diseño estructural. Debido a que, para este proyecto, la ESPH S.A. únicamente contrató un punto de estudio.
3. Si la ESPH S.A. utiliza este diseño para realizar el proyecto, se le recomienda realizar un estudio de estabilidad de los taludes que presentará la EBHE26 propuesta, para así evitar riesgos por falla durante o después de la construcción de la estación de bombeo y evitar poner en peligro la vida de las personas.

4. Se le recomienda a la ESPH S.A. seguir, de manera rigurosa, los mantenimientos rutinarios mencionados con el propósito de alargar la vida útil de los equipos electromecánicos y la estructura para evitar desgastes prematuros.
5. Con el par de arranque de la bomba definido en este proyecto, se recomienda que algún estudiante o ingeniero afín a la carrera pueda tomar dicho dato como referencia para el diseño eléctrico de la estación de la EBHE26 y determinar la cantidad de arranques y pares que la bomba deba tener, así como hacer la debida propuesta de los componentes electromecánicos.

## 7 Referencias bibliográficas

Agencia de Residus de Catalunya. (s.f.) “Digestión Anaerobia”. Recuperado de Residus.gencat.cat., desde: <http://www.arc.cat/es/altres/purins/guia/pdf/ficha6.pdf>

Alkemi. (2019, 19 de febrero). “Análisis de coliforme fecales”. Alkemi Grupo AGQ Labs. Recuperado desde: <https://alkemi.es/blog/analisis-de-coliformes-fecales/>

Anónimo (2016). “Bombas sumergibles” [Tabla]. Recuperado desde: <https://www.ventageneradores.net/blog/guia-bombas-agua-como-elegir-motobomba-usos-aplicaciones/>

Anónimo (2008). “Emisario de aguas servidas en el mar, y resbaladizo en el agua causada por las aguas residuales que se descargan en el borde de las aguas” [Tabla]. Recuperado desde: <https://www.alamy.es/foto-emisario-de-aguas-servidas-en-el-mar-y-resbaladizo-en-el-agua-causada-por-las-aguas-residuales-que-se-descargan-en-el-borde-de-las-aguas-21959037.html>

Anónimo (2012). “Funcionamiento del sifón” [Tabla]. Recuperado desde: <http://blogtecnos.blogspot.com/2012/02/fontaneria-practica-instalar-un-sifon.html>

Anónimo (s.f.) “Colector de saneamiento” [Fotografía]. Recuperado desde: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/calculo-colectores-horizontales-saneamiento-i-ii>

Apolo, C., Medina, C. y Hidalgo, R. (2019, 29 de junio). “Sistema de bombeo de aguas servidas”. Recuperado desde: <https://es.slideshare.net/richardelbarce/sistemas-de-bombeo-de-aguas-servidas>

Artifugios de ayer y de hoy Autor(es). (2007). “El tornillo de Arquímedes” [Formato de la imagen]. Recuperado desde: [https://tecno\\_historia.blogia.com/2007/053001-el-tornillo-de-arquimedes.php](https://tecno_historia.blogia.com/2007/053001-el-tornillo-de-arquimedes.php)

ASADA Santa Rosa de Oreamuno (s.f.) “Asociación Administradora del Acueducto Rural de Santa Rosa de Oreamuno” [Tabla]. Recuperado desde: <https://www.asadasantarosacr.com/>

Asociación Costarricense de Geotecnia (2009). *Código de Cimentaciones de Costa Rica* (2. ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Buitrón Méndez, G., Reino Sánchez, C. y Carrera Muyo, J (s.f.) “Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales”. *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*. Recuperado desde: [http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento\\_aerobio\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf)

CALIFORNIA WATER BOARDS STATE WATER RESOURCES CONTROL BOARD (s.f.) “Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD)”. Recuperado desde: [https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110s\\_p.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110s_p.pdf)

Carbotecnia (2020, 6 de marzo). “Conductividad en el agua”. Carbotecnia. Recuperado desde: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/conductividad-en-el-agua/>

Choy, V. (2002). “Diseño de una nueva línea de impulsión y selección del equipo de bombeo para la extracción de agua subterránea Planes de Expansión de Mínimo Costo de Agua Potable y Alcantarillado EPS Chimbote” [Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. UNMSM. Biblioteca de la Facultad de Ciencias Físicas. Recuperado desde: [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/Tesis/Ingenie/Choy\\_B\\_V/cap5.htm](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/Tesis/Ingenie/Choy_B_V/cap5.htm)

Cofrecol (2019). “Centro de Control de Motores (CCM)”. Recuperado desde: <http://cofrecol.com/ccm.html>

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2010). “Código Sísmico de Costa Rica”.

Demaquinasyherramientas.com (s.f.) Herramienta eléctricas y accesorios para bombas de agua”. Recuperado desde: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/bombas-de-agua-funcionamiento>

Gamboa, A. (s.f.) *El AyA ha instalado tapas nuevas con bisagras en algunos puntos en el centro de San José* [Fotografía]. Recuperado desde: <https://www.nacion.com/el->

[pais/infraestructura/aya-usa-nuevos-materiales-y-disenos-en-tapas-de/7I5UOLFV7VGL3E43MVS3O7HYE4/story/](https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1192900.reanudan-la-introduccion-de-subcolector.html)

Gómez, D. (2016). “Reanudan la introducción del subcolector” [Fotografía]. Recuperado desde: <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1192900.reanudan-la-introduccion-de-subcolector.html>

Empresa de Servicios Públicos de Heredia Sociedad Anónima (s.f.) “ESPH” [Tabla]. Recuperado desde: <https://www.esph-sa.com/>

Empresa de Servicios Públicos de Heredia. (2019, junio). “Resumen: Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia”. Recuperado desde: <https://www.esph-sa.com/>

Empresa de Servicios Públicos de Heredia. (2020, 1 julio). “7 beneficios de contar con alcantarillado sanitario en nuestras comunidades” [Video]. YouTube. Recuperado desde: <https://www.youtube.com/watch?v=vvPx65g0tKI&feature=share&fbclid=IwAR00MCy3Pc1-spgRmJcRuT5krX9SbvZiOuy7o1PkRXoG8lYnlKE33gAPHeo>

Espigares García, M., Pérez López, J.A. (s.f.) “Aguas residuales. Composición”. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua. Recuperado desde: [https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Heredia Gobierno Local (s.f.) “Heredia Gobierno Local” [Tabla]. Recuperado desde: <https://www.heredia.go.cr>

Hydro-Vacuum (s.f.) “Estación de bombeo subterránea PS series” [Fotografía]. Recuperado desde: <https://www.directindustry.es/prod/hydro-vacuum/product-209647-2235145.html>

Iagua (2017, 16 de mayo). “Las propiedades del agua”. *iAgua*. Recuperado desde: <https://www.iagua.es/noticias/mexico/conagua/17/05/16/propiedades-agua>

Iagua (s.f.) “Los pioneros del agua en la historia”. *iAgua*. Recuperado desde: <https://www.iagua.es/noticias/locken/17/02/08/pioneros-agua-historia>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017). “Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial”

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (s.f.) “AyA” [Tabla]. Recuperado desde: <https://www.aya.go.cr/SitePages/Principal.aspx>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (s.f.) “Reglamento para la calidad del agua potable”. DECRETO EJECUTIVO No 38924-S. (2015). Costa Rica. Recuperado desde: <https://www.aya.go.cr/laboratorio/selloCalidad/requisitosGalardon/Decreto%20Ejecutivo%20No%2038924-S.%20Reglamento%20para%20la%20calidad%20del%20agua%20potable.pdf>

Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (s.f.) “Estaciones de Bombeo”. Universidad de Buenos Aires. Recuperado desde: [http://www.fi.uba.ar/archivos/Estaciones\\_de\\_Bombeo.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/Estaciones_de_Bombeo.pdf)

Chamorro, J. (s.f.) “Diseño de una estación de bombeo de aguas residuales (E.B.A.R.)” [Tabla]. Recuperado desde: <https://ingenio.xyz/articulos/20170315-diseno-estacion-bombeo-ebar>

Khan Academy. (s.f.) “¿Qué es el principio de Bernoulli?”. Khan Academy. Recuperado desde: <https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-bernoullis-equation>

López, R. A. (2010). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (2da.ed). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Martínez, E.A. y Navarrete, C.I. (2010). “Diseño e implementación de un sistema de bombeo de aguas residuales para una urbanización” [Tesina de Seminario, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. DSpace en Espol. Recuperado desde: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14899/1/%E2%80%9CDise%C3%B1o%20e%20Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20de%20Bombeo%20de%20Aguas%20Residuales%20para%20una%20Urbanizaci%C3%B3n%E2%80%9D.pdf>

Mheducation.es (s.f.) *Motores Eléctricos*. Editorial McGraw Hill España.  
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

Microlab Industrial (2015, 20 de febrero). “Análisis, comparativas y relación entre la DBO,DQO,COT.AGUASRESIDUALES.INFO”. Recuperado desde:  
<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/analisis-comparativas-y-relaciones-entre-la-dbo-dqo-cot>

Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (2016). “Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales”.

MINAE, Ministerio de Salud y AyA (2016). “Política Nacional de Saneamiento de Aguas en Aguas Residuales”. Dirección de Agua. Recuperado desde:  
<http://www.da.go.cr/download/costa-rica-establece-por-primera-vez-politica-nacional-de-saneamiento-de-aguas-residuales/?wpdmdl=1970>

Ministerio de Salud (2005, 03 de mayo). “Reglamento para la Calidad del Agua Potable”. Ministerio de Salud de Costa Rica. Recuperado desde:  
[https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores\\_en\\_salud/comision\\_agua\\_segura/legislacion/CAS\\_reglamento\\_calidad\\_agua\\_potable.pdf](https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/comision_agua_segura/legislacion/CAS_reglamento_calidad_agua_potable.pdf)

Minnesota Mining and Manufacturing Company (3M). (s.f.) “Coliformes. Ciencias aplicadas a la vida”. Recuperado desde: [https://www.3m.co.cr/3M/es\\_CR/food-safety-la/biblioteca-de-documentos/microorganismos/coliformes/](https://www.3m.co.cr/3M/es_CR/food-safety-la/biblioteca-de-documentos/microorganismos/coliformes/)

Mj Box Tool (s.f.) “Historia y tipos de bombas de agua”. Mj Box Tool. Recuperado desde:  
<http://mj-box-tool.com/historia-y-tipos-de-bombas-de-agua/>

Mott, R.L. (2006). *Mecánica de fluidos* (6ta.ed). Pearson Education.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (s.f.) “El uso de aguas residuales. Agua, saneamiento y salud (ASS)”. Recuperado desde:  
[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/)

Pérez, R. (2019). *Diseño y construcción de alcantarillados de aguas residuales, pluvial y drenaje en carreteras* (2a. ed.). Ecoe Ediciones. Recuperado desde: <https://elibro.net/es/ereader/ulatinacr/126567?page=297>.

Piedra Castro, L., Orozco Aceves, M., Ramírez Muñoz, F., Castillo Chinchilla, M., Morales Cerdas, V. y Luna Meneses, S. (2017, marzo). “Manual de buenas prácticas ambientales para la producción ganadera en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado, Costa Rica”. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Recuperado desde: <http://www.sinac.go.cr/ES/partciudygober/Documents/MAPCOBIO/Manual%20de%20Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20Ambientales%20para%20la%20producci%C3%B3n%20ganadera%20el%20RNVS%20BCGS%20Final.pdf>

Reyes Carvajal, V. (2017). “Análisis y diseño de un humedal como sistema de tratamiento del agua residual producida en la finca 2 de la Universidad de Costa Rica” [Proyecto de graduación, Universidad de Costa Rica]. Recuperado desde: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3589/1/33993.pdf>

Simbaña Calle, J. (2018). “Diseño de una estación de bombeo de agua de riego con su respectivo sistema de utilización 22.9kV, 3Ø, para el sector Mallaritos, distrito de Marcavelica, provincia de Sullana, Departamento de Piura”. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán].

Tratamiento de Aguas Residuales (s.f.) *Etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales* [Tabla]. Recuperado desde: <https://tratamientodeaguasresiduales.net/>

Universidad CEU Cardenal Herrera. (2011, 19 de octubre). “Principio de Arquímedes, Espiral de Arquímedes, Tornillo de Arquímedes, Cráter de Arquímedes, Montes de Arquímedes, Rima o Fisura de Arquímedes”. Universidad Cardenal Herrera. Recuperado desde: <https://blog.uchceu.es/eponimos-cientificos/principio-de-arquimedes-espiral-de-arquimedes-tornillo-de-arquimedes-crater-de-arquimedes-montes-de-arquimedes-rima-o-fisura-de-arquimedes/>

Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.) “Módulos de Elasticidad en kg/cm<sup>2</sup>” [Tabla].  
Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado desde:  
<http://www.euita.upv.es/dira/Imagenes/files/Const/elast.pdf>

## 8 Anexos



SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOTECNIA  
Ing. Roy Bogantes González, M.Sc.  
Tel: (506) 840-0878 roybogantes@gmail.com

San Pablo de Heredia, lunes 21 de Julio del 2014

Ing.  
Domingo Delgado

Estimado Señor:

Hemos procedido a estudiar un terreno ubicado en Lagunilla en la provincia de Heredia. En el cual se va a construir una estación de bombeo de aguas negras.

Los detalles y memoria de cálculo se encuentran en el informe adjunto, los principales resultados son los siguientes:

- Se realizó 1 perforación con el método SPT. Con una profundidad máxima de 6.40 m. El suelo natural tiene la siguiente estratigrafía: de 0.00 m - 3.70m limo arcilloso café (CH) de consistencia rígida (NSPT entre 10 y 20) De 3.70 - 5.05 m es un limo arcilloso café (CH) de consistencia muy rígida (NSPT entre 20 y 30) De 5.05 m- 6.40 m es un limo arcilloso color café oscuro (CH) de consistencia dura ( NSPT más de 30)
- Puede cimentarse mediante placas aisladas o corridas, diseñadas para la capacidad de soporte admisible de 11.0 ton/m<sup>2</sup> y a 190 centímetros de profundidad.
- No se detectó el nivel freático hasta la profundidad explorada.
- El terreno es apto para el tratamiento de aguas negras por absorción

Quedo a su entera disposición para cualquier aclaración requerida.

Atentamente:

Ing. Roy Bogantes González, M.Sc.  
IC-9632

### *Anexo 1. Portada de estudio de suelos*

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021



SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOTECNIA  
 Ing. Roy Bogantes González, M.Sc.  
 Tel: (506) 840-0878 roybogantes@gmail.com

## Contenido

1. Condición actual del terreno: .....	4
2. Exploración realizada: .....	4
3. Caracterización y propiedades índices del suelo: .....	5
4. Capacidad de soporte del suelo: .....	6
5. Sistema de cimentación recomendado: .....	6
6. Análisis de asentamientos.....	7
7. Parámetros de empuje de tierras.....	7
8. Aptitud del terreno para tanques sépticos.....	8
9. Efectos de amplificación dinámica y tipo de perfil de suelo para diseño Sísmico de estructuras. ....	8
10. Bibliografía consultada:.....	9
ANEXO A.....	10
ANEXO B.....	11
ANEXO C.....	13
ANEXO D .....	15

### *Anexo 2. Índice de estudio de suelos*

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021

## Estudio de suelos para construcción estación de bombeo de Aguas Negras en Lagunilla 26-1, Heredia

### 1. Condición actual del terreno:

La condición actual del terreno presenta una superficie en general plana cubierta por vegetación tipo zacate con algunos arbustos alrededor y construcciones tipo parque residencial adyacentes.

Figura 1. Registro fotográfico detalle actual de sitio.



### 2. Exploración realizada:

En el sondeo P1 se utilizó el método de perforación "Estándar Penetration Test (SPT)", el cual hincó en el suelo estudiado un muestreador partido mediante la caída libre de una masa de 64 kg desde 76 cm de altura. La profundidad máxima del sondeo fue de **6.40 m**.

La ubicación de los sondeos se muestra en el **ANEXO A**. Los registros de los sondeos se muestran en el **ANEXO B**.

### *Anexo 3. Condiciones del terreno*

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021



**SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOTECNIA**  
 Ing. Roy Bogantes González, M.Sc.  
 Tel: (506) 840-0878 roybogantes@gmail.com

### 3. Caracterización y propiedades índices del suelo:

La consistencia y la resistencia del suelo pueden entonces estimarse de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Estimación de la resistencia del suelo de acuerdo con el NSPT.  
 (Braja, 1995 y Whitlow, 1994).

NSPT	Consistencia	Qu (inconfiada) (ton/m <sup>2</sup> )
0-2	Muy Blanda	0 a 2.5
2-5.	Blanda	2.5 a 5
5-10.	Medianamente rígida	5 a 10
10-20.	Rígida	10 a 20
20-30.	Muy rígida	20 a 40
30 o más	Dura	mas de 40

El perfil estratigráfico del suelo se presenta a continuación.

Profundidad	Descripción.
0.00 m – 3.70m	Limo arcilloso café oscuro (CH) de consistencia rígida (NSPT entre 10 y 20).
3.70 m- 5.05 m	Limo arcilloso café oscuro (CH) de consistencia muy rígida (NSPT entre 20 y 30)
5.05 m- 6.40 m	Limo arcilloso color café oscuro (CH) de consistencia dura (NSPT mas de 30)

Las condiciones indicadas anteriormente son generalizaciones, y los resultados puntuales de perforaciones pueden variar. Se recomienda diseñar para el peor caso encontrado.

#### *Anexo 4. Caracterización y propiedades de índices del suelo*

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021



SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOTECNIA  
 Ing. Roy Bogantes González, M.Sc.  
 Tel: (506) 840-0878 roybogantes@gmail.com

#### 4. Capacidad de soporte del suelo:

Para estimar la capacidad de carga del suelo se utilizó la teoría de Terzagui para suelos cohesivos, por la predominancia del limo arcilloso encontrado. Según esta teoría, la capacidad de carga última de un suelo arcilloso está dada por (Código de Cimentaciones de Costa Rica):

$$q_u = cN_c$$

Se considera capacidad de carga neta porque se supone que el cimiento quedará enterrado, por lo cual en la estimación de cargas debe considerarse el peso del suelo sobre el cimiento.

De esta forma, en la Tabla 2, se muestran las capacidades de carga para las diferentes profundidades exploradas, para cada sondeo. Las capacidades de carga admisible mostradas se consideran con un factor de seguridad de 3.

Tabla 2. Capacidad de soporte admisible del suelo estimada en cada punto de perforación.

TRAMO (m)	Q admisible (ton/m <sup>2</sup> )
	P1
0.55	14.8
1.00	7.4
1.45	7.4
1.90	8.2
2.35	11.5
2.80	10.7
3.25	11.5
3.70	14.8
4.15	18.1
4.60	18.1
5.05	19.7
5.50	24.6
5.95	28.0
0.00	28.0

#### 5. Sistema de cimentación recomendado:

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla No.2, se recomienda el uso de placa corrida, o placa aislada diseñadas para la capacidad de soporte de **11.0 ton/m<sup>2</sup>** y a **190cm** de profundidad.

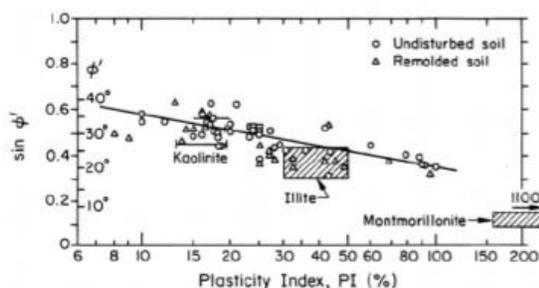
## 6. Análisis de asentamientos.

Dada la consistencia del estrato de soporte recomendado y del suelo del sitio en general, y respetando las cargas admisibles recomendadas, no son de esperar asentamientos importantes en estructuras de uno o dos niveles.

## 7. Parámetros de empuje de tierras.

En general, la estimación de empujes de tierra debe realizarse en parámetros de esfuerzos efectivos, pues la resistencia inicial del suelo ante carga rápida o en los primeros años de la construcción tiende a disminuir con el tiempo.

Figura 4. Gráfico para la estimación del Ángulo de fricción efectiva en función de la plasticidad del suelo.



Source: Mitchell (1993), Kulhawy and Mayne (1990).

Para los suelos limos de la zona la figura anterior indica un **ángulo de fricción promedio de aproximadamente 25,0 grados**. De esta forma se tiene que:

Angulo de fricción efectivo:	25.0 grados
Cohesión efectiva:	0.0 ton/m <sup>2</sup>
Ka:	0.35
Kp:	2.46
Ko:	0,58

Se asume la **colocación de drenajes adecuados, así como la cimentación del muro de estribo en un nivel de alta capacidad de soporte**. También deben hacerse drenes de lloraderas sobre el muro para evitar acumulación de agua detrás del muro existente.

Si los estribos se van a construir de tal manera **que la rotación sobre el pie sea restringida**, por ejemplo, muros en escuadra, muros – pared que formarán parte de una construcción (por ejemplo, una casa), e incluso muros de poca altura arriostrados con contrafuertes, etc. **es más seguro considerar el coeficiente de empuje en reposo o una distribución de presiones mayor a la de Rankine**, para estimar en forma más realista las cargas de tierra sobre la estructura.

## 8. Aptitud del terreno para tanques sépticos

En vista de que no existe un sistema de evacuación de aguas negras en la zona en donde se ubica el terreno, la opción de tratamiento de aguas negras más usual es la de tanque séptico, por lo tanto se diseñó el respectivo campo de infiltración de acuerdo con las características del terreno, para que este sistema funcione en forma eficiente. Las tasas de infiltración medidas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Tasas de infiltración medidas en el campo.

fecha: 10/07/2014

PRUEBA:		1	
TIEMPO (MIN)	ALTURA (CM)	TASA INFILTRACIÓN	TASA SELECCIONADA
15	60.0		2.73
30	66.0	2.50	
45	73.0	2.14	
60	78.5	2.73	

Se selecciona una tasa de infiltración de 2.73 min/cm para todo el terreno. El procedimiento seguido es el sugerido en el Código de Instalaciones Hidráulicas de Costa Rica.

## 9. Efectos de amplificación dinámica y tipo de perfil de suelo para diseño Sísmico de estructuras.

En la sección 2.2 el CSCR 2002 indica lo siguiente:

*“a. Para considerar el efecto de las condiciones locales del suelo en la demanda sísmica y en ausencia de estudios más refinados de amplificación dinámica, se establece la siguiente clasificación de los sitios de cimentación:*

- Sitio tipo S1



**SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOTECNIA**  
 Ing. Roy Bogantes González, M.Sc.  
 Tel: (506) 840-0878 roybogantes@gmail.com

*Es un perfil de suelo con alguna de las siguientes características:*

*Un material semejante a la roca, caracterizado por una velocidad de onda cortante superior a 760m/s o por otros medios de clasificación  
 Condiciones de suelo rígido o denso, donde la profundidad del suelo es menor de 50m*

- *Sitio tipo S2*

*Un perfil de suelo con condiciones predominantemente de medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido, cuya profundidad excede los 50m*

- *Sitio tipo S3:*

*Un perfil de suelo con más de 6m de arcilla de consistencia suave a medianamente rígida o de suelos no cohesivos de poca o media densidad. No incluye perfiles de más de 12m de arcilla suave*

- *Sitio tipo S4:*

*Un perfil de suelo caracterizado por una velocidad de onda cortante menor de 150 m/s o de 12m de arcilla suave.*

*b. El tipo de sitio de cimentación es establecido a partir de datos geotécnicos debidamente sustentados."*

En el caso estudiado, y dada la consistencia de los suelos encontrados de profundidad, se recomienda utilizar un perfil de **tipo S2** para el diseño estructural.

## **10. Bibliografía consultada:**

Braja M, Das. *Principles of Foundation Engineering*. PWS Publishing Company, Boston, 1995.

Kramer, Steven. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, New Jersey, 1996

Whitlow, Roy. *Fundamentos de mecánica de suelos*. Longman Group, UK Limited, Londres, 1994.

*Anexo 8. Efectos de amplificación dinámica y tipo de perfil de suelo para diseño sísmico de estructuras*

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021

### SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

Lugar : Proyecto Estacion Bombeo Lagunilla, Heredia (26-1)

Realizado por: GEOAM

Fecha : Jueves 10 de julio de 2014

Sondeo : P1



Prof (m)	N (SPT)	Estratigrafía	NF	qu	yw	% Pa	w	LL	IP	IL	SUCS	N ( SPT )				NP
												5	10	15	20	
0,00	0,55	18				25										18
0,55	1,00	9				28										9
1,00	1,45	9				37										9
1,45	1,90	10				37										10
1,90	2,35	14				30										14
2,35	2,80	13				37										13
2,80	3,25	14				38										14
3,25	3,70	18		3,0	1,7	39										18
3,70	4,15	22			75	52		60	41	0,81	CH					22
4,15	4,60	22				40										22
4,60	5,05	24				46										24
5,05	5,50	30				47										30
5,50	5,95	37				45										37
5,95	6,40	40				47										40

NP = Promedio de golpes SPT para el estrato  
 NF = nivel freático  
 qu = compresión inconfiada (kg/cm<sup>2</sup>)

w = % de humedad  
 yw = peso unitario húmedo (ton/m<sup>3</sup>)

IL = índice de liquidez  
 SUCS = Clasificación Unificada del Suelo

### Anexo 9. Sondeo de penetración estándar (SPT)

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021



SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOTECNIA  
 Ing. Roy Bogantes González, M.Sc.  
 Tel: (506) 840-0878 roybogantes@gmail.com



### **Anexo 10. Ubicación de sondeo SPT**

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021



SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOTECNIA  
 Ing. Roy Bogantes González, M.Sc.  
 Tel: (506) 840-0878 roybogantes@gmail.com



GEOAM-077-2014

14

### **Anexo 11. Registro fotográfico de la zona de sondeo**

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021



*Anexo 12. Registro fotográfico de las muestras*

Fuente: GEOM S.A, febrero 2021

**TABLA 2.1.** Zonas sísmicas según provincias, cantones y distritos.

Provincia	Cantón	Distrito	Zona
4. Heredia	1. Heredia	Todos	III
	2. Barva	Todos	III
	3. Santo Domingo	Todos	III
	4. Santa Bárbara	Todos	III
	5. San Rafael	Todos	III
	6. San Isidro	Todos	III
	7. Belén	Todos	III
	8. Flores	Todos	III
	9. San Pablo	Todos	III
	10. Sarapiquí	1. Puerto Viejo 2. La Virgen 3. Horquetas 4. Llanuras del Gaspar 5. Cureña	II III III II II

*Anexo 13. Tabla 2.1. Zonas sísmicas según provincias cantones y distritos*

Fuente: CSCR-10, febrero 2021

**TABLA 13.2.** Valores del coeficiente dinámico horizontal  $k_h$  para evaluar las presiones de sismo en muros de retención.

Tipo de sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
$S_1$	0.15	0.15	0.20
$S_2$	0.15	0.20	0.20
$S_3$	0.15	0.20	0.25
$S_4$	0.20	0.20	0.25

*Anexo 14. Tabla 13.2. Valores del coeficiente dinámico horizontal  $k_h$*

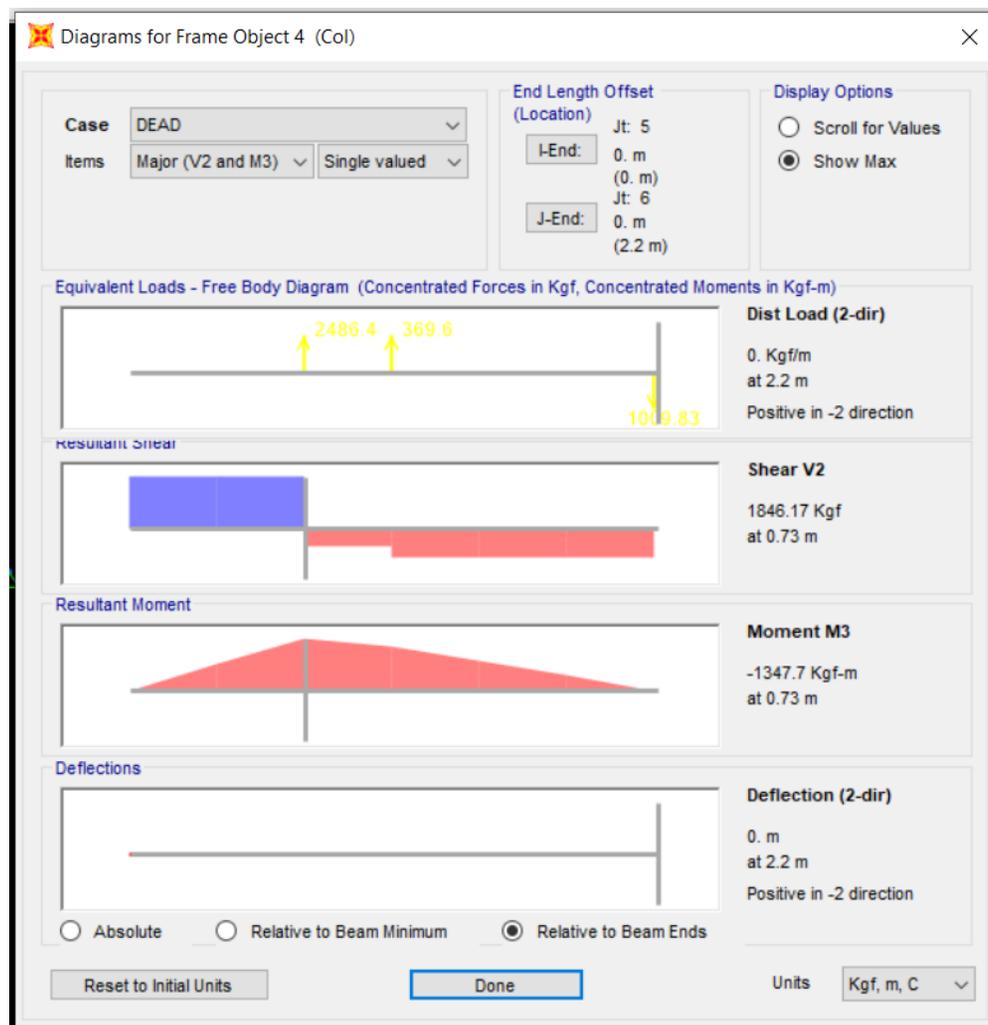
Fuente: CSCR-10, febrero 2021

TABLA 6.1. Cargas temporales unitarias mínimas.

Destino del piso	Carga temporal (kg/m <sup>2</sup> )
Habitación (casas de habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, edificios para internados en escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	200
Oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juego y similares.	250
Escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de libre acceso al público.	400
Lugares de reunión desprovistos de asientos fijos, estadios, salones de baile, etc.	500
Bibliotecas y salones de archivo.	500
Lugares de reunión con asientos fijos, templos, cines, teatros, gimnasios, etc.	400
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía ligera.	500
Comercios, bodegas y fábricas de mercancías con <i>peso</i> intermedio.	650
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada.	800
Techos de fibrocemento, láminas de acero galvanizado y otros.	40
Azoteas con pendiente superior al 5 por ciento.	100
Azoteas con pendiente inferior o igual al 5 por ciento.	200
Voladizos en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	300
Garajes y aparcamientos (para automóviles exclusivamente).	300

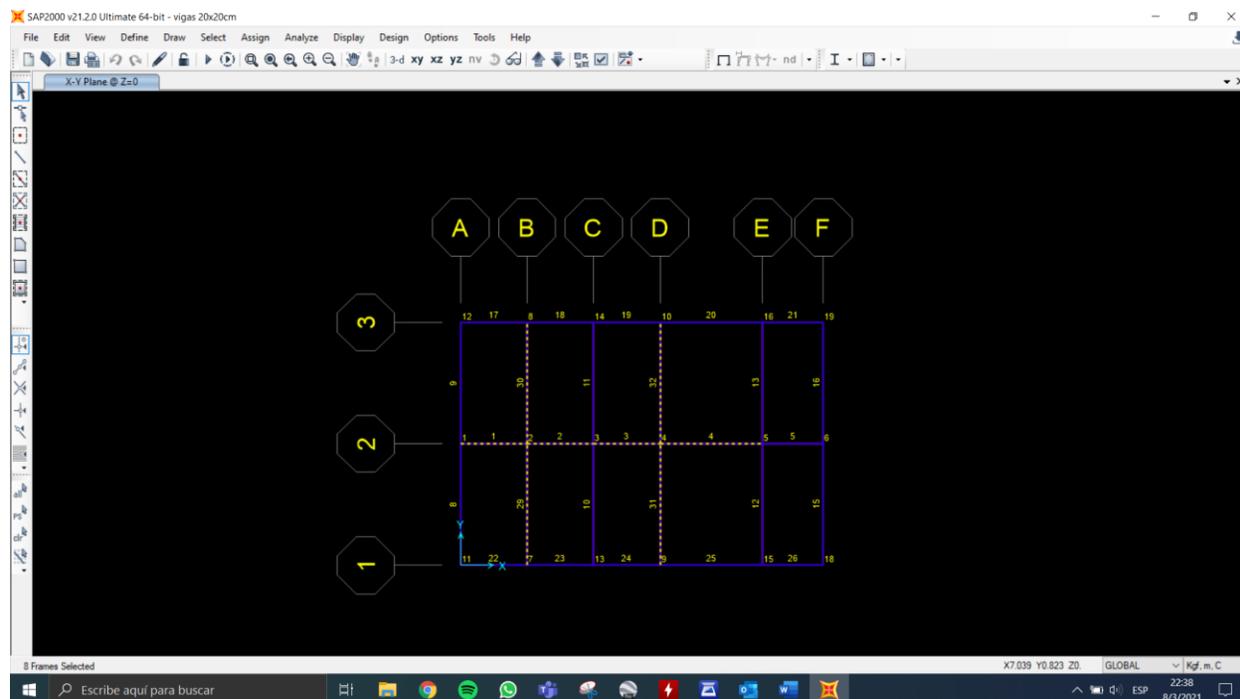
*Anexo 15. Tabla 6.1. Cargas temporales unitarias mínimas*

Fuente: CSRC10, febrero 2021



*Anexo 16. Diagrama de cortante último ( $V_u$ ) y momento último ( $M_u$ ) del muro de contención tipo M1.*

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021



**Anexo 17. Modelo de SAP para la extracción de momentos y cortantes últimos para las vigas V1 y V2**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

TABLE: Element Forces					
Station	OutputCase	V2	V2	M3	M3
m	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
0	ENVOLVENTE	-0.0859	0.0859	3.464E-18	3.464E-18
0.4375	ENVOLVENTE	0.0234	0.0234	0.01367	0.01367
0.875	ENVOLVENTE	0.1327	0.1327	-0.02049	0.02049
0	ENVOLVENTE	-0.1196	0.1196	-0.02049	0.02049
0.4375	ENVOLVENTE	-0.0103	0.0103	0.00793	0.00793
0.875	ENVOLVENTE	0.099	0.099	-0.01147	0.01147
0	ENVOLVENTE	-0.0865	0.0865	-0.01147	0.01147
0.4375	ENVOLVENTE	0.0229	0.0229	0.00244	0.00244
0.875	ENVOLVENTE	0.1322	0.1322	-0.03147	0.03147
0	ENVOLVENTE	-0.1677	0.1677	-0.03147	0.03147
0.675	ENVOLVENTE	0.0009397	0.0009397	0.02482	0.02482
1.35	ENVOLVENTE	0.1696	0.1696	-0.03274	0.03274
0	ENVOLVENTE	-0.1409	0.1409	-0.03274	0.03274
0.4	ENVOLVENTE	-0.0409	0.0409	0.00362	0.00362
0.8	ENVOLVENTE	0.059	0.059	2.694E-19	2.694E-19

**Anexo 18. Cortante último ( $V_u$ ) y momentos últimos ( $M_u$ ) de las vigas tipo V1**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

TABLE: Element Forces					
Station	OutputCase	V2	V3	M3	M3
m	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
0	ENVOLVENTE	-0.2634	0.2634	-1.881E-17	1.881E-17
0.8	ENVOLVENTE	0.0865	0.0865	0.07075	0.07075
1.6	ENVOLVENTE	0.4363	0.4363	-0.13838	0.13838
0	ENVOLVENTE	-0.4363	0.4363	-0.13838	0.13838
0.8	ENVOLVENTE	-0.0865	0.0865	0.07075	0.07075
1.6	ENVOLVENTE	0.2634	0.2634	-2.255E-17	2.255E-17
0	ENVOLVENTE	-0.2634	0.2634	-1.8E-17	1.8E-17
0.8	ENVOLVENTE	0.0865	0.0865	0.07075	0.07075
1.6	ENVOLVENTE	0.4363	0.4363	-0.13838	0.13838
0	ENVOLVENTE	-0.4363	0.4363	-0.13838	0.13838
0.8	ENVOLVENTE	-0.0865	0.0865	0.07075	0.07075
1.6	ENVOLVENTE	0.2634	0.2634	-2.255E-17	2.255E-17

**Anexo 19. Cortante último ( $V_u$ ) y momentos últimos ( $M_u$ ) de las vigas tipo V2**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021



**Anexo 20. Auto estacionado en el martillo**

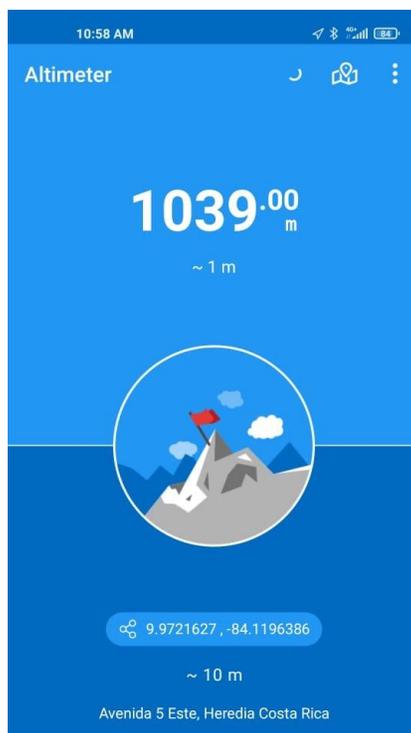
Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

COEFICIENTES DE MOMENTO PARA LOSAS EN DOS DIRECCIONES							
MOMENTOS	CLARO CORTO Valores de m.						CLARO LARGO CUALQUIER VALOR DE m.
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5 y menores	
<b>CASO 1.- PANELES INTERIORES</b>							
Momento negativo en							
Borde continuo	0,033	0,040	0,048	0,055	0,063	0,083	0,033
Borde discontinuo							
Momento positivo en el centro del claro	0,025	0,030	0,036	0,041	0,047	0,062	0,025
<b>CASO 2.- UN BORDE DISCONTINUO</b>							
Momento negativo en							
Borde continuo	0,041	0,048	0,055	0,062	0,069	0,085	0,041
Borde discontinuo	0,021	0,024	0,027	0,031	0,035	0,042	0,021
Momento positivo en el centro del claro	0,031	0,036	0,041	0,047	0,052	0,064	0,031
<b>CASO 3.- DOS BORDES DISCONTINUOS</b>							
Momento negativo en							
Borde continuo	0,049	0,057	0,054	0,071	0,078	0,090	0,049
Borde discontinuo	0,025	0,028	0,032	0,036	0,039	0,045	0,025
Momento positivo en el centro del claro	0,037	0,043	0,048	0,054	0,059	0,068	0,037
<b>CASO 4.- TRES BORDES DISCONTINUOS</b>							
Momento negativo en							
Borde continuo	0,058	0,066	0,074	0,082	0,090	0,098	0,058
Borde discontinuo	0,029	0,033	0,037	0,041	0,045	0,049	0,029
Momento positivo en el centro del claro	0,044	0,050	0,056	0,062	0,068	0,074	0,044
<b>CASO 5.- CUATRO BORDES DISCONTINUOS</b>							
Momento negativo en							
Borde continuo							
Borde discontinuo	0,033	0,038	0,043	0,047	0,053	0,055	0,033
Momento positivo en el centro del claro	0,050	0,057	0,064	0,072	0,080	0,083	0,050

Nota: Reproducido del Reglamento de las Construcciones del Concreto Reforzado (A.C.I. 318-63), con autorización del Instituto Americano de Concreto

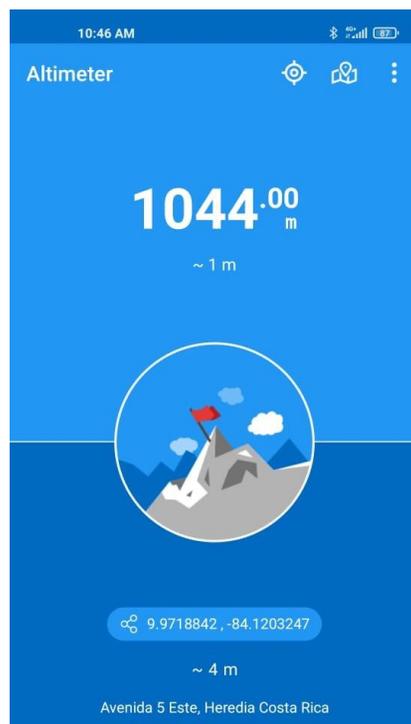
*Anexo 21. Coeficientes para momentos negativos y positivos para losas en dos direcciones*

Fuente: ACI 318-63, marzo 2021



***Anexo 22. Altura a nivel de calle de la estación de bombeo***

Fuente: Altimeter, enero 2021



***Anexo 23. Altura a nivel de calle del pozo de registro***

Fuente: Altimeter, enero 2021

## Módulos de Elasticidad en kg /cm<sup>2</sup>

Módulos de Elasticidad en kg /cm <sup>2</sup>	
Mamposterías de ladrillo con mortero de cal o cemento	30000 - 50000
Maderas duras (en la dirección paralela a las fibras)	100000 - 225000
Maderas blandas (en la dirección paralela a las fibras)	90000 - 110000
Acero	2100000
Hierro de fundición	1000000
Aluminio	700000
Vidrio	700000
Hormigones de resistencia característica $\beta_{cn}$	
110 kg/cm <sup>2</sup>	215000
130 kg/cm <sup>2</sup>	240000
170 kg/cm <sup>2</sup>	275000
210 kg/cm <sup>2</sup>	300000
300 kg/cm <sup>2</sup>	340000
380 kg/cm <sup>2</sup>	370000
470 kg/cm <sup>2</sup>	390000
Rocas	<a href="#">Abrir</a>

### *Anexo 24. Módulos de Elasticidad en kg/cm<sup>2</sup>*

Fuente: Universidad Politécnica de Valencia, febrero 2021



Curves according to: Water, pure , 39.2 °F, 62.42 lb/ft<sup>3</sup>, 1.6891E-5 ft<sup>2</sup>/s



### Configuration

Motor number N3127_060 21-10-4AL-W 7.5hp	Installation type P - Semi permanent, Wet
Impeller diameter 173 mm	Discharge diameter 80 inch

### Pump information

Impeller diameter 173 mm
Discharge diameter 80 inch
Inlet diameter 100 mm
Maximum operating speed 1750 rpm
Number of blades 2
Max. fluid temperature 40 °C

### Materials

Impeller Hard-Iron™
Stator housing material Grey cast iron

## *Anexo 25. Especificaciones técnicas de la bomba*

Fuente: Flygt, febrero 2021

## NP 3127 SH 3~ Adaptive 446

### Technical specification



#### Motor - General

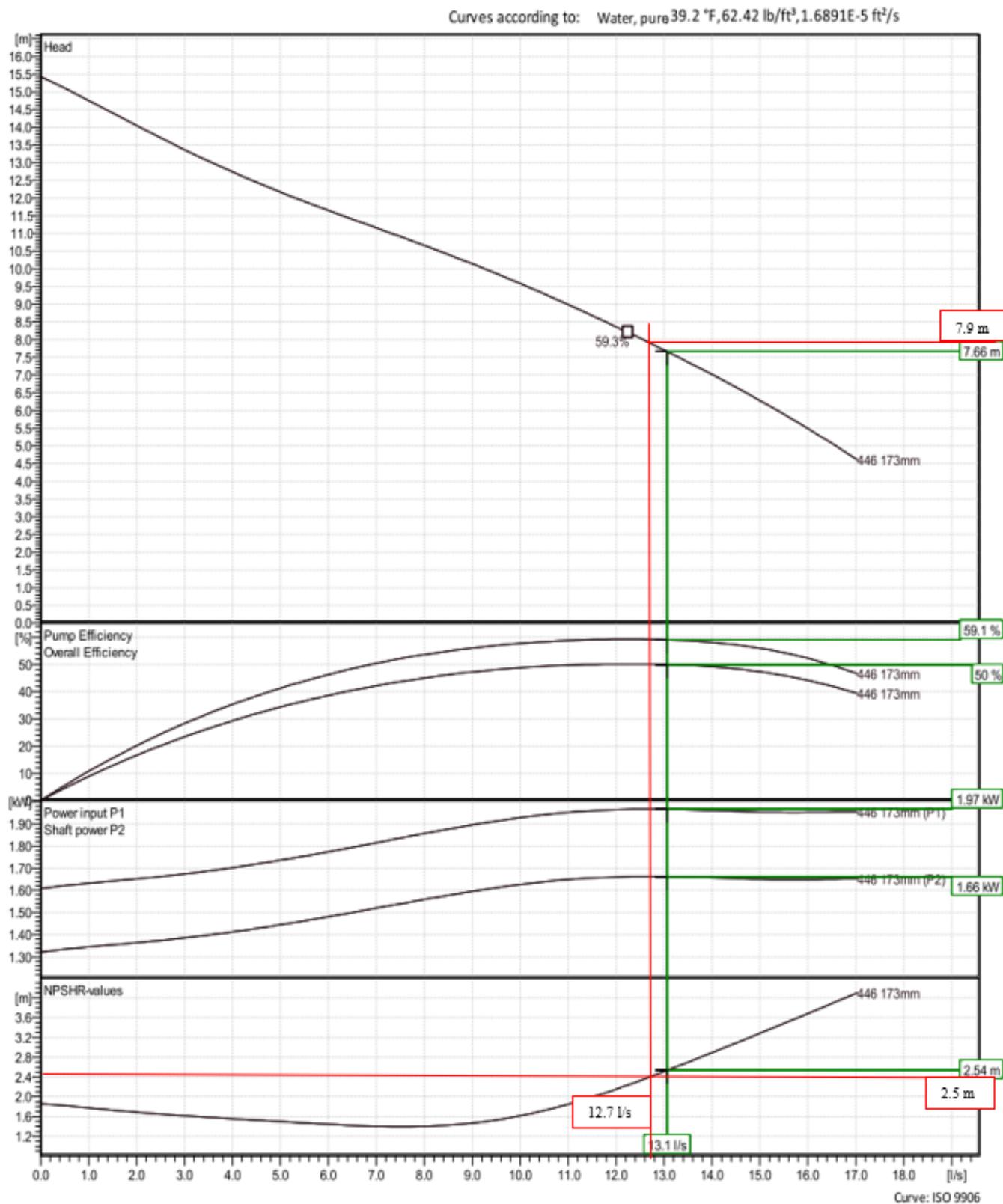
Motor number N3127.060 21-10-4AL-W 7.5hp	Phases 3~	Rated speed 1750 rpm	Rated power 5.6 kW
ATEX approved No	Number of poles 4	Rated current 9.6 A	Stator variant 12
Frequency 60 Hz	Rated voltage 460 V	Insulation class H	Type of Duty S1
Version code 060			

#### Motor - Technical

Power factor - 1/1 Load 0.85	Motor efficiency - 1/1 Load 86.3 %	Total moment of inertia 0.679 lb ft <sup>2</sup>	Starts per hour max. 30
Power factor - 3/4 Load 0.81	Motor efficiency - 3/4 Load 87.6 %	Starting current, direct starting 58 A	
Power factor - 1/2 Load 0.72	Motor efficiency - 1/2 Load 87.4 %	Starting current, star-delta 19.3 A	

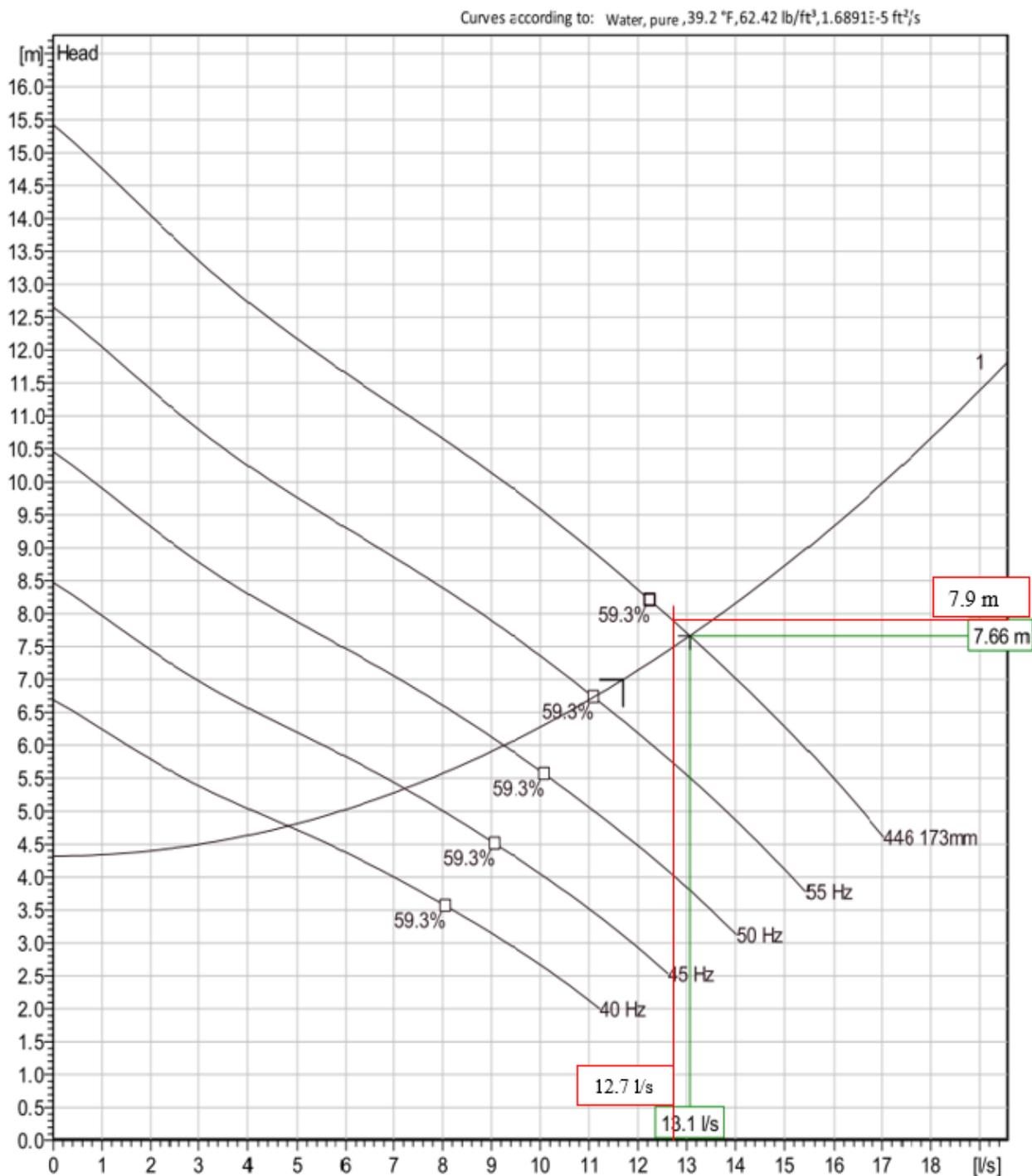
### *Anexo 26. Cuadro de especificaciones*

Fuente: Flygt, febrero 2021



Anexo 27. Gráfico 1

Fuente: Flygt, febrero 2021

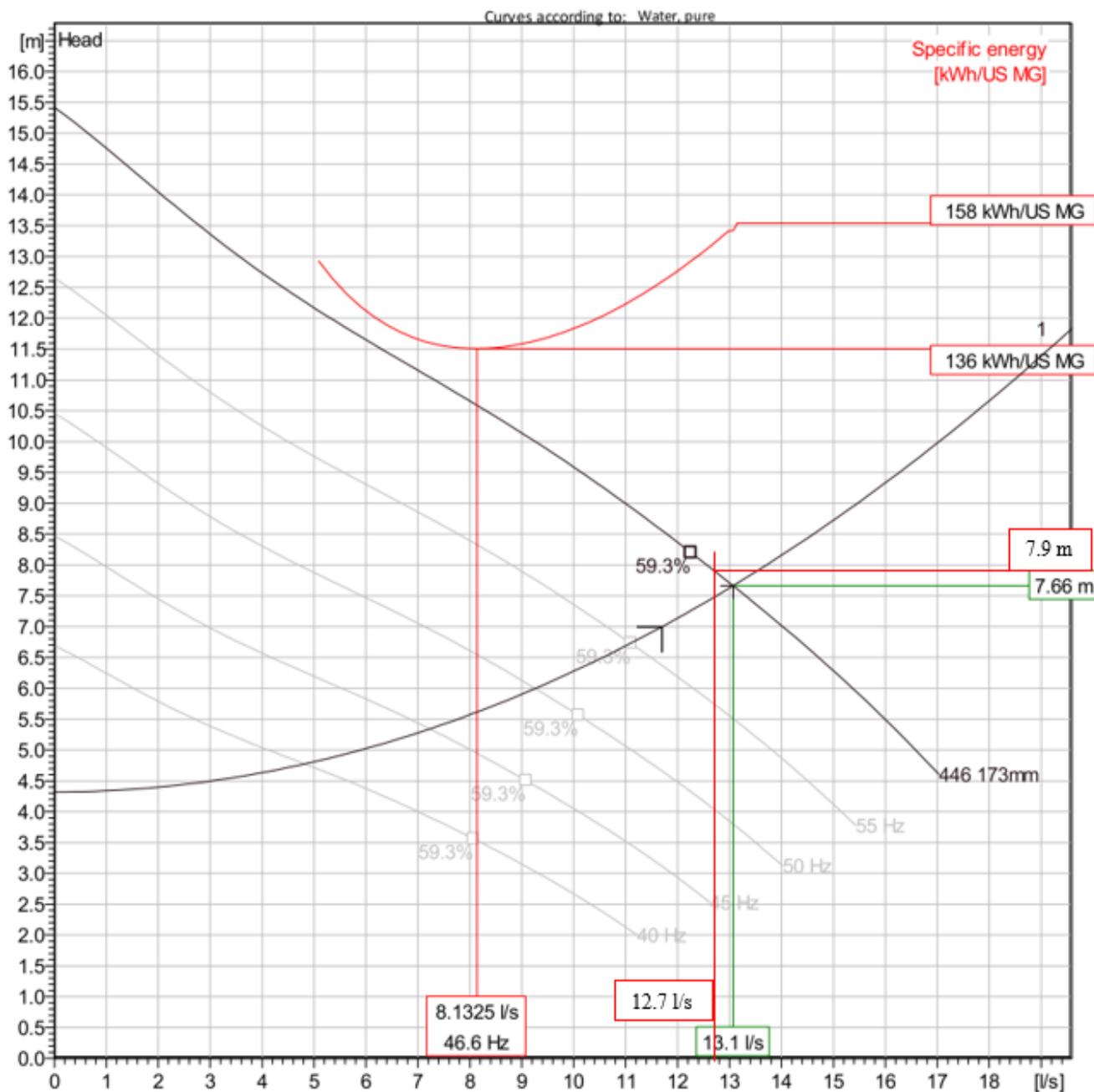


Pumps / Systems	Flow	Head	Shaft power	Flow	Head	Shaft power	Hydr. eff.	Specific Energy	NPSHre
1	13.1 l/s	7.66 m	1.66 kW	13.1 l/s	7.66 m	1.66 kW	59.1 %	158 kWh/US M	2.54 m

Anexo 28. Gráfico 2

Fuente: Flygt, febrero 2021





Operating characteristics

Pumps / Systems	Frequency	Flow	Head	Shaft power	Flow	Head	Shaft power	Hydr. eff.	Specific Energy	NPSHre
1	60 Hz	13.1 l/s	7.66 m	1.66 kW	13.1 l/s	7.66 m	1.66 kW	59.1 %	158 kWh/US MG	2.54 m
1	55 Hz	11.3 l/s	6.84 m	1.28 kW	11.3 l/s	6.84 m	1.28 kW	59.3 %	146 kWh/US MG	1.99 m
1	50 Hz	9.5 l/s	6.09 m	0.96 kW	9.5 l/s	6.09 m	0.96 kW	59.1 %	138 kWh/US MG	1.47 m
1	45 Hz	7.48 l/s	5.41 m	0.688 kW	7.48 l/s	5.41 m	0.688 kW	57.8 %	136 kWh/US MG	1.02 m
1	40 Hz	5.09 l/s	4.83 m	0.459 kW	5.09 l/s	4.83 m	0.459 kW	52.6 %	152 kWh/US MG	0.731 m

Anexo 30. Gráfico 4

Fuente: Flygt, febrero 2021

$D_1/D_2$	Velocidad $v_2$								
	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	1.8 m/s 6 pies/s	2.4 m/s 8 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
$\infty$	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

**Anexo 31. Tabla 10.3 Coeficiente de resistencia-contracción súbita**

Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott



**Anexo 32. Pozo de registro ubicado en el Residencial Real Santa María del Este**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021



HULUDAO CITY STEEL PIPE  
INDUSTRIAL CO.,LTD

## ASTM A-53 / API 5L STEEL PIPE

STANDAR SPECIFICATION FOR PIPE,STEEL,BLACK AND HOT-DIPPED,ZINC-COATED, WELDED

### Tensile requirements

STRENGTH	GRADE A			GRADE B		
	psi	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa or N/mm <sup>2</sup>	psi	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa or N/mm <sup>2</sup>
TENSILE STRENGTH MINIMUM	48000	3374	331	60000	4218	414
YIELD STRENGTH MINIMUM	30000	2109	207	35000	2461	241
CROSS-SECTIONAL AREA OF THE TEST SPECIMEN, in <sup>2</sup>	ELONGATION IN 2 in, MIN. %					
>0.75	36.0			29.5		
0.70	35.5			29.0		
0.60	34.5			28.5		
0.50	33.5			27.0		
0.40	32.0			26.0		
0.30	30.0			24.5		
0.20	27.5			22.5		

### Chemical requirements

COMPOSITION	GRADE A	GRADE B
	MAX.%	MAX.%
CARBON	0.25	0.3
MANGANESE	0.95	1.2
PHOSPHORUS	0.05	0.05
SULFUR	0.045	0.045
LIMITS ON UNSPECIFIED ELEMENTS	GRADE A	GRADE B
	MAX.%	MAX.%
COPPER	0.40	0.40
NICKEL	0.40	0.40
CHROMIUM	0.40	0.40
MOLYBDENUM	0.15	0.15
VANADIUM	0.08	0.08
NOTE: THE COMBINATION OF THESE FIVE ELEMENTS SHALL NOT EXCEED 1%		

### Dimensions, weights and test pressures

NOMINAL DIAMETER	EXTERNAL DIAMETER		THICKNESS WALL			WEIGHT		TEST PRESSURE			
	in	mm	in	mm	sch	lb/ft	kg/m	GRADE A	GRADE B	GRADE B	
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	40 (STD)	0.42	0.36	0.11	700	49	700
			0.119	3.02	80 (XS)	0.54	0.47	0.14	850	60	850
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	40 (STD)	0.57	0.62	0.19	700	49	700
			0.147	3.20	80 (XS)	0.74	0.79	0.24	850	60	850
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	40 (STD)	0.85	1.27	0.39	700	49	700
			0.147	3.73	80 (XS)	1.09	1.62	0.49	850	60	850
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	40 (STD)	1.13	1.69	0.51	700	49	700
			0.154	3.91	80 (XS)	1.48	2.20	0.67	850	60	850
1	1.315	33.4	0.133	3.56	40 (STD)	1.68	2.50	0.76	700	49	700
			0.179	4.55	80 (XS)	2.18	3.24	0.99	850	60	850
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.68	40 (STD)	2.28	3.39	1.03	1000	70	1100
			0.191	4.85	80 (XS)	3.02	4.47	1.36	1500	105	1600
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	40 (STD)	2.73	4.05	1.23	1000	70	1100
			0.200	5.08	80 (XS)	3.66	5.41	1.65	1500	105	1600
2	2.375	60.3	0.154	3.91	40 (STD)	3.68	5.44	1.66	2300	162	2500
			0.128	5.54	80 (XS)	5.07	7.48	2.28	2500	176	2500
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	40 (STD)	5.82	8.63	2.63	2500	176	2500
			0.276	7.01	80 (XS)	7.73	11.41	3.18	2500	176	2500
3	3.500	88.9	0.218	5.49	40 (STD)	7.62	11.29	3.44	2200	155	2500
			0.300	7.62	80 (XS)	9.33	15.27	4.66	2500	176	2500
3 1/2	4.000	101.6	0.228	5.74	40 (STD)	9.20	13.57	4.14	2000	141	2400
			0.318	8.08	80 (XS)	12.63	18.63	5.68	2800	197	2800
4	4.500	114.3	0.237	6.02	40 (STD)	0.89	16.08	4.90	1900	164	2200
			0.337	8.56	80 (XS)	15.17	22.32	6.80	2700	197	2800
5	5.563	141.3	0.258	6.55	40 (STD)	14.81	21.77	6.63	1700	120	1900
			0.375	9.53	80 (XS)	21.09	30.97	9.44	2400	169	2800
6	6.625	168.3	0.280	7.11	40 (STD)	19.18	28.26	8.61	1500	105	1800
			0.432	10.97	80 (XS)	28.89	42.56	12.97	2300	162	2700
8	8.625	219.1	0.277	7.04	30	25.55	36.82	11.22	1200	84	1300
			0.322	8.18	40 (STD)	29.35	42.55	12.97	1300	91	1600
10	10.750	273.0	0.500	12.70	80 (XS)	43.90	64.64	19.70	2100	148	2400
			0.365	9.27	40 (STD)	41.85	60.29	18.38	1200	74	1400
12	12.750	323.8	0.500	12.70	80 (XS)	55.82	81.52	24.85	1700	120	2000
			0.375	9.53	40 (STD)	51.15	73.86	22.51	1100	77	1200
			0.500	12.70	80 (XS)	66.71	97.43	29.7	1400	98	1600

- BLACK PIPES ARE PROTECTED AGAINST OXIDATION WITH A ZINC COATING, WHICH IN ADDITION TO PROTECTION IMPROVES APPEARANCE
- THE WEIGHTS ARE BASED ON BLACK PIPES. GALVANIZED PIPES ARE SLIGHTLY HEAVIER
- WEIGHT OF A ZINC COATING: 1.8000 oz/ft<sup>2</sup> 0.5493 kg/m<sup>2</sup>
- THE SCHEDULE 80 PIPE IS AVAILABLE AS PLAIN END OR THREADED ONLY
- PERMISSIBLE VARIATIONS IN WEIGHT: ± 10%
- PERMISSIBLE VARIATIONS IN DIAMETER: 1/2 TO 1 1/2 ± 1/64 in; OVER 2 ± 1%
- PERMISSIBLE VARIATIONS IN THICKNESS: 1 MINIMUM=0.875 \* T NOMINAL OR 12.5% UNDER THE NOMINAL WALL THICKNESS



HULUDAO CITY STEEL PIPE  
INDUSTRIAL CO.,LTD

Company Name : Huludao City Steel Pipe Industrial Co., Ltd.  
Website : <http://hldpipe.en.gongchang.com>  
Address : Cishan Village jinhu Road Longgang District,Huludao city liaoning province, P.R. China  
Contact Name : shuangzhang  
Tel : 0429-2058687-86

## Anexo 33. Especificaciones técnicas de la tubería

Fuente: Tecnoval, marzo 2021

**Cuadro 2.1:** Requisitos mínimos para la exploración de campo

Magnitud de la obra <sup>(A)</sup>	Complejidad Geotécnica <sup>(B)</sup>		
	Baja	Media	Alta
<b>Baja</b>	N mín: 2 E máx: 60 m P mín: $D_r + 2$ m	N mín: 3 E máx: 40 m P mín: $D_r + 3$ m	N mín: 4 E máx: 30 m P mín: $D_r + 4$ m
<b>Media</b>	N mín: 2 E máx: 50 m P mín: $D_r + 3$ m	N mín: 3 E máx: 35 m P mín: $D_r + 3$ m	N mín: 4 E máx: 25 m P mín: $D_r + 4$ m
<b>Alta</b>	N mín: 2 E máx: 40 m P mín: $D_r + 4$ m	N mín: 3 E máx: 30 m P mín: $D_r + 3$ m	N mín: 4 E máx: 20 m P mín: $D_r + 5$ m
<b>Especial</b>	La campaña de exploración de campo depende del proyecto y será definida por el profesional responsable.		

N mín: Número mínimo de perforaciones o puntos de exploración.  
 E máx: Espaciamiento máximo entre puntos de sondeo o de exploración.  
 P mín: Profundidad mínima de los sondeos, en m.  
 $D_r$ : Profundidad de desplante estimada de cimentaciones, en m.

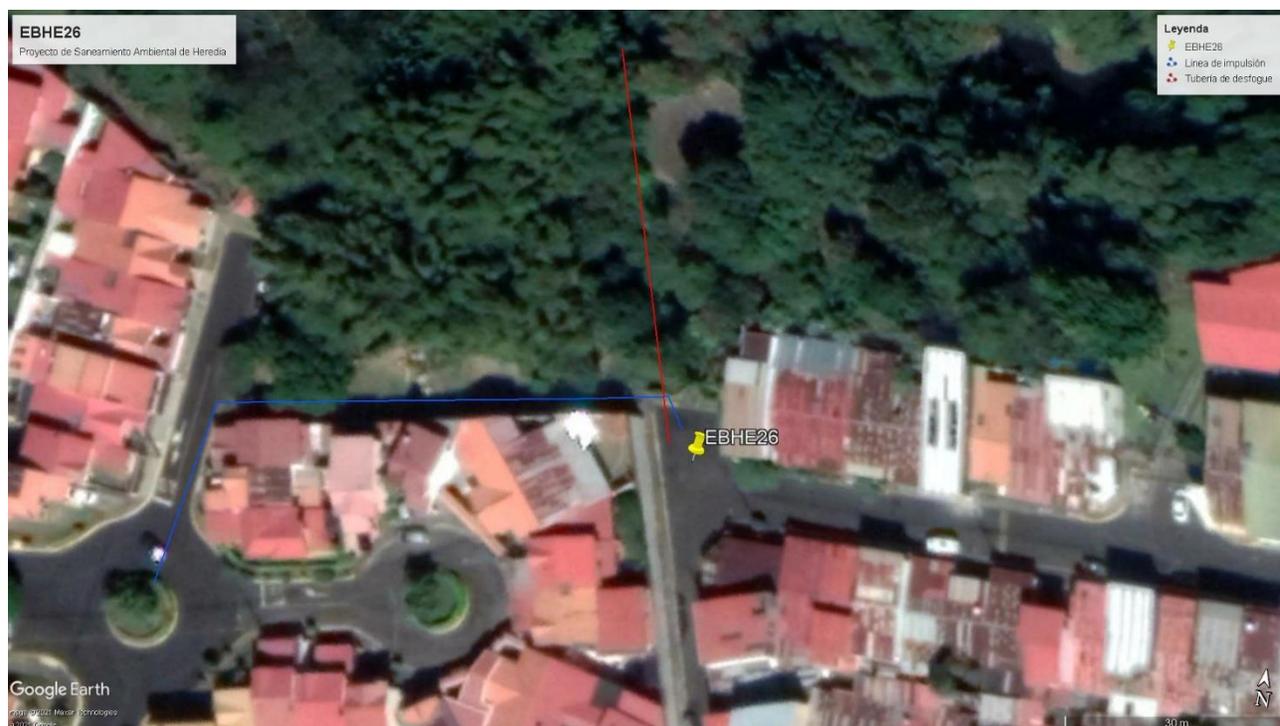
**Anexo 34. Cuadro 2.2 Requisitos mínimos para la exploración de campo**

Fuente: Código de Cimentaciones de Costa Rica, marzo 2021



**Anexo 35. Planta de tratamiento, Real Santa María**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021



**Anexo 36. Esquema de impulsión y desfogue**  
Fuente: Google Earth Pro, febrero 2021

**DATOS GENERALES**

$f_c =$	280	kg/cm <sup>2</sup>	
$f_y =$	4200	kg/cm <sup>2</sup>	
P. concreto =	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Q. admisible suelo =	18100	kg/m <sup>2</sup>	para una profundidad de 4.15 m según el estudio de suelos
$K_a =$	0.35		
$K_p =$	2.46		
u(fricción) =	0.44		

**Dimensiones y Carga**

q =	300	kg/m <sup>2</sup>	codigo sismico de costa rica
H =	2.40	m	
hm =	2.20	m	
Corona =	0.2	m	
tp =	0.2	m	
B =	1.7	m	
L.punta =	0.5	m	
Br =	1	m	
H* =	2.56	m	
hd =	0.5	m	

**Relleno 1**

Y.suelo =	1835.5	kg/m <sup>3</sup>	
$\phi =$	25	°	
C =	0	kg/m <sup>2</sup>	
$K_a =$	0.35		
$\phi$ del terreno =	0	°	
$K_h =$	0.2		Coefficiente dinámico horizontal, tabla 13.2 CSCR-10/14
$K_p =$	2.46		

**Relleno 2**

Y.suelo =	0	kg/m <sup>3</sup>	
$\phi =$	0	°	
C =	0	kg/m <sup>2</sup>	
$K_p =$			
$\phi$ del terreno =	0	°	

**Solución**

Altura de Sobrecarga			
h' =	0.16	m	
Empuje Activo			
Ea =	1850.18	kg	←
Brazo palanca (br) =	0.800	m	
Empuje Sísmico			
Es =	792.94	kg	←
Brazo palanca (br) =	1.44	m	
Momento Desestabilizador			
M.dest =	2621.98	kg/m	
Fuerza desestabilizadora			
F.dest =	2643.12	kg	←

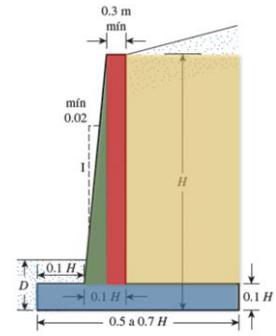
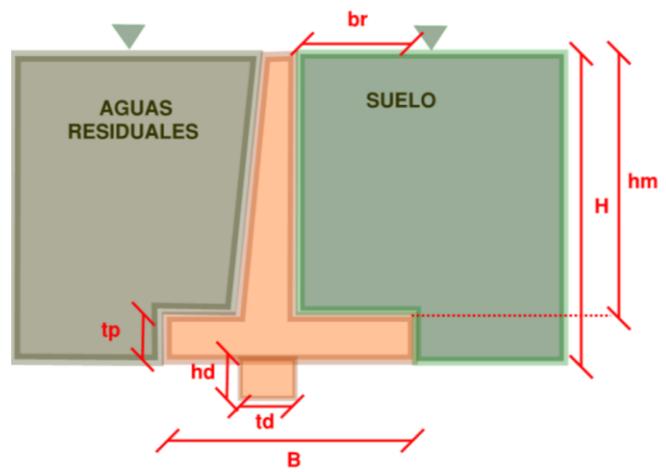
**Momento Estabilizador**

Elemento	Area (m <sup>2</sup> )	Peso W (Kg)	Brazo Palanca (m)	Momento (Kg/m)
W.muro	0.44	1056	0.6	633.60
W.placa	0.34	816.00	0.85	693.60
W.diente	0.1	240.00	0.6	144.00
W.relleno	2.2	4038.10	1.2	4845.72
$\Sigma =$		6150.10		6316.92

Chequeo Volcamiento	2.41	Cumple	
Empuje Pasivo			
Ep =	1128.83	kg	→
Fricción			
f =	2681.44	Kg	→
Fuerza Estabilizadora			
F.est =	3810.28	Kg	→
Factor seguridad fuerzas desestabilizadoras			
Fs =	1.44	Cumple	

Código de cimentaciones de costa rica

Muro de contención 1 con carga vehicular con una capacidad de soporte del suelo de 10.8 ton/m2



**Anexo 37. Memoria de cálculo estructural muro de contención M1**

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Calculo de Excentricidad			
e =	0.25	m	<b>Cumple</b>
B/6 =	0.28	m	

Capacidad de la Punta		
Q.punta =	6799.66	kg/m <sup>2</sup>

Capacidad del Talón		
Q.talón =	435.75	kg/m <sup>2</sup>

Chequeo Por Capacidad			
Q.máx =	6799.66	kg/m <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Q.admisible =	18100	kg/m <sup>2</sup>	

Esfuerzos en la Punta			
-----------------------	--	--	--

Notas:

1.4\* CP (CSCR-10/14)

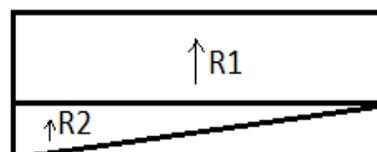
* Peso propio de la punta			
Wp.punta =	240	kg	
b <sub>pp</sub> =	0.25	m	

* Reaccion de suelo R1,rect			
R <sub>s1</sub> =	2463.96	kg	
b <sub>pp</sub> =	0.25	m	

B=	0.5	m
x =	4927.92	Kg/m <sup>2</sup>
X' =	1871.74	Kg/m <sup>2</sup>

h<sub>rectángulo</sub>h<sub>triángulo</sub>

* Reaccion de suelo R2,tria			
R <sub>s2</sub> =	467.93	kg	
b <sub>pp</sub> =	0.33	m	



bpp= brazo de palanca

* Peso de la sobrecarga temporal			
W <sub>sp</sub> =	150.0	kg	
b <sub>pp</sub> =	0.25	m	

* Cortante en la base de la punta mayorada			
V <sub>permante</sub> <sub>1-1</sub> =	2691.89	kg	
V <sub>temporal</sub> <sub>1-1</sub> =	150.00		
Cu1, V <sub>1-1</sub> =	3768.65	kg	
Cu2, V <sub>1-1</sub> =	2990.27	kg	
<b>VU.p =</b>	<b>3768.65</b>	<b>kg</b>	

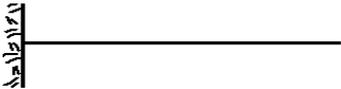
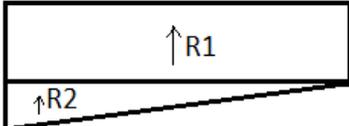
1.4\* CP (CSCR-10/14)

1.2\*CP + 1.6 CT (CSCR-10/14)

* Momento en la base de la punta			
M <sub>punta.permante</sub> =	711.97	kg/m	
M <sub>punta.temporal</sub> =	37.50	kg/m	
Cu1, M <sub>1-1</sub> =	996.76	kg/m	
Cu2, M <sub>1-1</sub> =	794.36	kg/m	
<b>+M</b> MU.p =	<b>996.76</b>	<b>kg/m</b>	
	99675.55	kg/cm	

### Anexo 38. Memoria de cálculo estructural muro de contención M1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Esfuerzos en el Talón			<u>Notas:</u>		
			1.4* CP (CSCR-10/14)		
* Peso propio del talón					
<b>Wp.talón =</b>	480.00	kg			
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.50	m			
* Peso propio del relleno					
<b>Wr.talón =</b>	4038.10	kg			
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.50	m			
* Reaccion de suelo R1,rect			B=	1	m
<b>R<sub>s1</sub> =</b>	435.75	kg	x =	4179.23	Kg/m <sup>2</sup> <b>h<sub>rectángulo</sub></b>
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.50	m	X' =	3743.47	Kg/m <sup>2</sup> <b>h<sub>triángulo</sub></b>
* Reaccion de suelo R2,tria					
<b>R<sub>s2</sub> =</b>	1871.74	kg			
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.33	m			
* Peso de la sobrecarga					
<b>W<sub>sp</sub> =</b>	300.00	kg			
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.50	m			
* Cortante en la base del talón mayorada			b <sub>pp</sub> = brazo de palanca		
<b>Vpermante<sub>1-1</sub> =</b>	-2210.61	kg			
<b>Vtemporal<sub>1-1</sub> =</b>	-300.00				
<b>Cu1, V<sub>1-1</sub> =</b>	-3094.85	kg	1.4* CP (CSCR-10/14)		
<b>Cu2, V<sub>1-1</sub> =</b>	-3896.98	kg	1.2*CP + 1.6 CT (CSCR-10/14)		
<b>VU.p =</b>	3896.98	kg			
* Momento en la base del talon					
<b>Mtalon.permante =</b>	-1417.26	kg/m			
<b>Mtalon.temporal =</b>	-150.00				
<b>Cu1, M<sub>1-1</sub> =</b>	-1984.17	kg/m			
<b>Cu2, M<sub>1-1</sub> =</b>	-1940.71	kg/m			
<b>MU.p =</b>	1984.17	kg/m			
	198416.51	kg/cm			

### Anexo 39. Memoria de cálculo estructural muro de contención M1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Diseño por Cortante de la Placa				Notas:
$\Phi$ :	0.75	factor de reducción de resistencia por corte		<p>Diseño de la placa base por cortante: El máximo cortante que actúa en la placa de base ocurre en la puntera (V1-1). En este caso se utiliza el factor de mayoración de carga ponderado de 1.4 (Cargas muertas) y el factor de reducción de resistencia por corte: <math>\Phi=0,75</math></p> <p>El recubrimiento mínimo inferior de la placa del muro debe ser de 7.5 cm (Según ACI 318-14 Tabla 20.6.1.3.1 para concreto en contacto permanente con el suelo). Nota: Si el concreto se vierte sobre una capa de concreto sobre, el recubrimiento inferior puede disminuirse a 5 cm.</p>
rec:	7.5	cm		
$b_w$ :	100	cm		
d =	12.5	cm		
Vu =	3896.98	kg		
$\Phi V_c$ =	8314.31	Kg	Cumple	
$\bar{n}$ =	5.67			
Diseño a Flexión de la Placa				
* As de la punta				<p>En este caso usaremos el factor de mayoración de carga ponderado de 1.4 (Cargas muertas) y el factor de reducción de resistencia por flexión: <math>\Phi=0,90</math></p>
As =	2.14	cm <sup>2</sup> /m	Utilizar As.min	
* As del talón				<p>Diseño por Flexión de la Placa:</p> <p>Por equilibrio la fuerza de tracción es igual a la fuerza de compresión:</p> $A_s \cdot F_y = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \implies a = \frac{A_s \cdot F_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$ <p>El Momento nominal resistente <math>M_n</math></p> $M_n = T \cdot z \geq \frac{M_u}{\Phi} \implies \frac{M_u}{\Phi} = A_s \cdot F_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$ <p>El acero de refuerzo requerido <math>A_s</math> se puede determinar iterando entre las ecuaciones mostradas asumiendo inicialmente un valor de a. Una expresión que nos proporciona el acero de refuerzo en secciones rectangulares directamente</p> $A_s = \bar{n} \cdot d - \sqrt{(\bar{n} \cdot d)^2 - \frac{2 \cdot M_u \cdot \bar{n}}{\Phi \cdot F_y}}$ <p>Con <math>\bar{n} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b}{F_y}</math></p>
As =	4.33	cm <sup>2</sup>	No utilizar As.min	
* Verificación del espesor de la placa				
d $\geq$ =	6.45	cm		
d =	13.95	cm	Cumple	
* As.mínimos				
As.min1 =	4.17	cm <sup>2</sup> /m	Cumple	
As.min2 =	3.98	cm <sup>2</sup> /m	No Cumple	

### Anexo 40: Memoria de cálculo estructural muro de contención M1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Diseño de la Pared				Notas:
<b>Empuje Activo</b>				<p>Se aplica la combinación 2 del CSRC-10/14, para carga temporal y carga de empuje</p>
Ea =	1554.67	kg		
$b_{pp}$ =	0.73	m		
<b>Empuje Sobre Carga</b>				$\bar{n} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b}{f_y} = \frac{0.85 \cdot 210 \cdot 100}{4200} = 4.25$
Esc =	231	kg		
$b_{pp}$ =	1.10	m		
<b>Mayorización de las cargas</b>				$A_s = (\bar{n} \cdot d) - \sqrt{(\bar{n} \cdot d)^2 - \frac{2 \cdot M_u \cdot \bar{n}}{0.9 \cdot f_y}}$
Ea, Cu2 =	2487.47	kg		
Esc, Cu2 =	369.60	kg		
* Cortante en la base de la pared				<p>El factor de mayoración para empujes de tierra estáticos indicado por el código ACI y el Código Sísmico de CR es de 1.6</p>
V.BP =	1846.17	Kg	se extrae de SAP2000	
* Momento en la base de la pared				<p>Se verifica el espesor de la losa por flexión considerando que el muro se encuentra en zona sísmica, el máximo momento flector ocurre en el talón del muro, el factor de minoración de resistencia por flexión es: <math>\Phi=0,90</math></p>
 MU.BP =	1347.70	kg/m	se extrae de SAP2000	
	134770.00	kg/cm		

### Anexo 41. Memoria de cálculo estructural muro de contención M1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Diseño por Cortante de la Pared			
$\Phi$ :	0.75	factor de reducción de resistencia por corte	
rec:	7.5	cm	
$b_w$ :	100	cm	
d =	12.5	cm	
Vu =	1846.17	kg	
$\emptyset V_c$ =	8314.31	Kg	Cumple
$\bar{n}$ =	5.67		
Diseño a Flexión de la Pared			
* As de la pared			En este caso usaremos el factor de mayoración de carga ponderado de 1.4 (Cargas muertas) y el factor de reducción de resistencia por flexión: $\Phi=0,90$
As =	2.91	cm <sup>2</sup> /m	Utilizar As.min
* Verificación del espesor de la placa			El espaciamiento del refuerzo no debe exceder el menor de los siguientes valores (ACI 318-14 (Tabla 24.3.2))
d $\geq$ =	5.32	cm	
d =	12.82	cm	Cumple
* As.mínimo			(a) $s \leq 38 * \left(\frac{2800}{f_s}\right) - 2.5c_c$
As.min1 =	4.17	cm <sup>2</sup> /m	Cumple
As.min2 =	3.98	cm <sup>2</sup> /m	No Cumple
			(b) $s \leq 30 * \left(\frac{2800}{f_s}\right)$
			con $f_s = \frac{2}{3}f_y$ y: $c_c$ = a menor distancia desde la superficie del refuerzo corrugado a la cara en tracción
* Separación máxima del acero			
$f_s$ =	2800		
Cc =	7.5		
S1 =	19.25	cm	Rige
S2 =	30.00	cm	
* Refuerzo horizontal mínimo			
As.min =	5	cm <sup>2</sup> /m	

### Anexo 42: Memoria de cálculo estructural muro de contención M1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Tabla de Resumen				
Elemento	d(cm)	t(cm)	As.req (cm <sup>2</sup> )	As.hor (cm <sup>2</sup> )
Punta	12.5	20	4.17	5
Talón	12.5	20	4.33	5
Pared	12.5	20	4.17	5

Propuesta de diseño	
Vertical:	doble malla varilla #3 @ 15 cm (9.46 cm <sup>2</sup> )
Horizontal:	doble malla varilla #3 @ 15 cm (9.46 cm <sup>2</sup> )

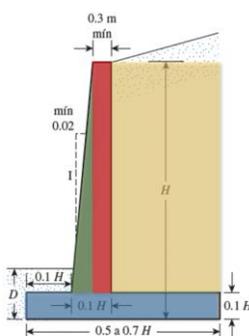
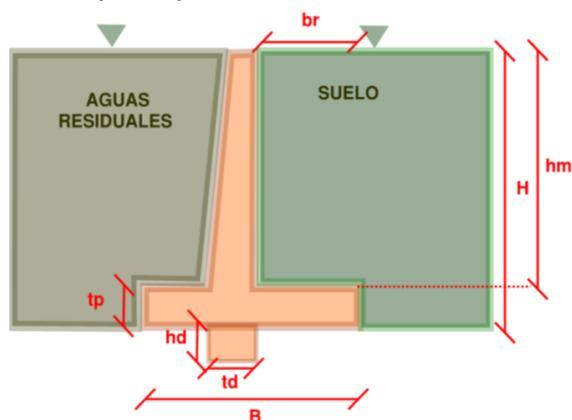
### Anexo 43. Memoria de cálculo estructural muro de contención M1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

DATOS GENERALES				
$f'c =$	280	$kg/cm^2$		
$f_y =$	4200	$kg/cm^2$		
P. concreto =	2400	$kg/m^3$		
Q. admisible suelo =	10800	$kg/m^2$	para una profundidad de 2.25 m	
$K_a =$	0.35			
$K_p =$	2.46			
$u(\text{fricción}) =$	0.44			
Dimensiones y Carga				
$q =$	300	$kg/m^2$	CSCR-10	
$H =$	2.05	m		
$h_m =$	1.85	m		
Corona =	0.2	m		
$tp =$	0.2	m		
$B =$	1.6	m		
$L_{\text{punta}} =$	0.4	m		
$Br =$	1	m		
$H^* =$	2.21	m		
$hd =$	0.35	m		
Relleno 1				
$\gamma_{\text{suelo}} =$	1835.5	$kg/m^3$		
$\phi =$	25	$^\circ$		
$C =$	0	$kg/m^2$		
$K_a =$	0.35			
$\phi$ del terreno =	0	$^\circ$		
$K_h =$	0.2		Coefficiente dinámico horizontal, tabla 13.2 CSCR-10	
Relleno 2				
$\gamma_{\text{suelo}} =$	0	$kg/m^3$		
$\phi =$	0	$^\circ$		
$C =$	0	$kg/m^2$		
$K_p =$	2.35			
$\phi$ del terreno =	0	$^\circ$		
Solución				
Altura de Sobrecarga				
$h' =$	0.16	m		
Empuje Activo				
$E_a =$	1349.90	kg	←	
Brazo palanca (br) =	0.683	m		
Empuje Sísmico				
$E_s =$	578.53	kg	←	
Brazo palanca (br) =	1.23	m		
Momento Desestabilizador				
$M_{\text{dest}} =$	1634.02	kg/m		
Fuerza desestabilizadora				
$F_{\text{dest}} =$	1928.42	kg	←	
Momento Estabilizador				
Elemento	Area (m <sup>2</sup> )	Peso W (Kg)	Brazo Palanca (m)	Momento (Kg/m)
$W_m$	0.37	888	0.5	444.00
$W_p$	0.32	768.00	0.8	614.40
$W_d$	0.07	168.00	0.5	84.00
$W_r$	1.85	3395.68	1.1	3735.24
-	0	0.00		0.00
$\Sigma =$		5219.68		4877.64
Chequeo Volcamiento	2.99	Cumple		
Empuje Pasivo				
$E_p =$	528.39	kg	→	
Fricción				
$f =$	2275.78	Kg	→	
Fuerza Estabilizadora				
$F_{\text{est}} =$	2804.17	Kg	→	
Factor seguridad fuerzas desestabilizadoras				
$F_s =$	1.45	Cumple		

Código de cimentaciones de costa rica

Muro de contención 1 con carga vehicular  
con una capacidad de soporte del suelo de 10.8 ton/m<sup>2</sup>



#### Anexo 44. Memoria de cálculo estructural muro de contención M2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

### Calculo de Excentricidad

$e =$	0.18	m	<b>Cumple</b>
$B/6 =$	0.27	m	

### Capacidad de la Punta

$Q.punta =$	5446.94	kg/m <sup>2</sup>
-------------	---------	-------------------

### Capacidad del Talón

$Q.talón =$	1077.65	kg/m <sup>2</sup>
-------------	---------	-------------------

### Chequeo Por Capacidad

$Q.máx =$	5446.94	kg/m <sup>2</sup>	
$Q.admisible =$	10800	kg/m <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>

### Esfuerzos en la Punta

Notas:

1.4 \* CP (CSCR-10/14)

\* Peso propio de la punta

$Wp.punta =$	192	kg
$b_{pp} =$	0.2	m

\* Reaccion de suelo R1,rect

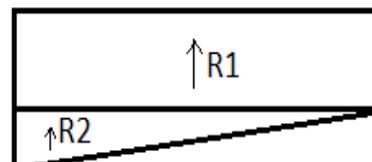
$R_{s1} =$	1741.85	kg
$b_{pp} =$	0.20	m

$B =$	0.4	m
$x =$	4354.62	Kg/m <sup>2</sup>
$X' =$	1092.32	Kg/m <sup>2</sup>

$h_{rectángulo}$   
 $h_{triángulo}$

\* Reaccion de suelo R2,tria

$R_{s2} =$	218.46	kg
$b_{pp} =$	0.27	m



bpp= brazo de palanca

\* Peso de la sobrecarga temporal

$W_{sp} =$	120.0	kg
$b_{pp} =$	0.2	m

\* Cortante en la base de la punta mayorada

$V_{permante}_{1-1} =$	1768.31	kg
$V_{temporal}_{1-1} =$	120.00	
$Cu1, V_{1-1} =$	2475.64	kg
$Cu2, V_{1-1} =$	1929.97	kg
<b><math>VU.p =</math></b>	<b>2475.64</b>	kg

1.4 \* CP (CSCR-10/14)

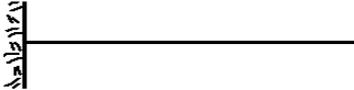
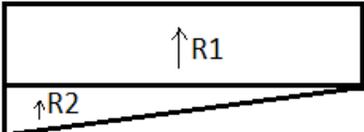
1.2 \* CP + 1.6 CT (CSCR-10/14)

\* Momento en la base de la punta

$M_{punta.permante} =$	368.23	kg/m
$M_{punta.temporal} =$	24.00	kg/m
$Cu1, M_{1-1} =$	515.52	kg/m
$Cu2, M_{1-1} =$	403.47	kg/m
<b><math>MU.p =</math></b>	<b>515.52</b>	kg/m
	51551.72	kg/cm

## Anexo 45. Memoria de cálculo estructural muro de contención M2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Esfuerzos en el Talón			<u>Notas:</u>	
			<i>1.4* CP (CSCR-10/14)</i>	
* Peso propio del talón				
<b>Wp.talón =</b>	480.00	kg		
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.50	m		
* Peso propio del relleno				
<b>Wr.talón =</b>	3395.68	kg		
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.50	m		
* Reaccion de suelo R1,rect			B=	1
<b>R<sub>s1</sub> =</b>	1077.65	kg	x =	3808.46
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.50	m	X' =	2730.80
				h <sub>rectángulo</sub>
				h <sub>triángulo</sub>
* Reaccion de suelo R2,tria				
<b>R<sub>s2</sub> =</b>	1365.40	kg		
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.33	m		
* Peso de la sobrecarga				
<b>W<sub>sp</sub> =</b>	300.00	kg		
<b>b<sub>pp</sub> =</b>	0.50	m		
* Cortante en la base del talón mayorada			b <sub>pp</sub> = brazo de palanca	
<b>Vpermante<sub>1-1</sub> =</b>	-1432.62	kg		
<b>Vtemporal<sub>1-1</sub> =</b>	-300.00			
<b>Cu1, V<sub>1-1</sub> =</b>	-2005.67	kg	<i>1.4* CP (CSCR-10/14)</i>	
<b>Cu2, V<sub>1-1</sub> =</b>	-2652.19	kg	<i>1.2*CP + 1.6 CT (CSCR-10/14)</i>	
<b>VU.p =</b>	2652.19	kg		
* Momento en la base del talon				
<b>Mtalon.permante =</b>	-943.88	kg/m		
<b>Mtalon.temporal =</b>	-150.00			
<b>Cu1, M<sub>1-1</sub> =</b>	-1321.43	kg/m		
<b>Cu2, M<sub>1-1</sub> =</b>	-1372.65	kg/m		
<b>MU.p =</b>	1372.65	kg/m		
	137265.16	kg/cm		

### Anexo 46. Memoria de cálculo estructural muro de contención M2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Diseño por Cortante de la Placa				Notas:
$\Phi$ :	0.75	factor de reducción de resistencia por corte		<p>Diseño de la placa base por cortante: El máximo cortante que actúa en la placa de base ocurre en la puntera (VI-1). En este caso se utiliza el factor de mayoración de carga ponderado de 1.4 (Cargas muertas) y el factor de reducción de resistencia por corte: <math>\Phi=0,75</math></p> <p>El recubrimiento mínimo inferior de la placa del muro debe ser de 7.5 cm (Según ACI 318-14 Tabla 20.6.1.3.1 para concreto en contacto permanente con el suelo). Nota: Si el concreto se vierte sobre una capa de concreto pobre, el recubrimiento inferior puede disminuirse a 5 cm.</p>
rec:	7.5	cm		
$b_w$ :	100	cm		
d =	12.5	cm		
Vu =	2652.19	kg		
$\Phi V_c$ =	8314.31	Kg	Cumple	
$\bar{n}$ =	5.67			
Diseño a Flexión de la Placa				
* As de la punta				<p>En este caso usaremos el factor de mayoración de carga ponderado de 1.4 (Cargas muertas) y el factor de reducción de resistencia por flexión: <math>\Phi=0,90</math></p>
As =	1.10	cm2/m	Utilizar As.min	
* As del talón				<p>Diseño por Flexión de la Placa:</p> <p>Por equilibrio la fuerza de tracción es igual a la fuerza de compresión:</p> $A_s \cdot F_y = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \implies a = \frac{A_s \cdot F_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$ <p>El Momento nominal resistente <math>M_n</math>:</p> $M_n = T \cdot z \geq \frac{M_u}{\Phi} \implies \frac{M_u}{\Phi} = A_s \cdot F_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$ <p>El acero de refuerzo requerido <math>A_s</math> se puede determinar iterando entre las ecuaciones mostradas asumiendo inicialmente un valor de <math>a</math>. Una expresión que nos proporciona el acero de refuerzo en secciones rectangulares directamente</p> $A_s = \bar{n} \cdot d - \sqrt{(\bar{n} \cdot d)^2 - \frac{2 \cdot M_u \cdot \bar{n}}{\Phi \cdot F_y}}$ <p>Con <math>\bar{n} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b}{F_y}</math></p>
As =	2.97	cm2	Utilizar As.min	
* Verificación del espesor de la placa				
d ≥ =	5.37	cm		
d =	12.87	cm	Cumple	
* As.mínimos				
As.min1 =	4.17	cm2/m	Cumple	
As.min2 =	3.98	cm2/m	No Cumple	

## Anexo 47: Memoria de cálculo estructural muro de contención M2

Diseño de la Pared			Notas:
Empuje Activo			1.6* CP (CSCR-10/14)
Ea =	1099.35	kg	$\bar{n} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b}{f_y} = \frac{0.85 \cdot 210 \cdot 100}{4200} = 4.25$
$b_{pp}$ =	0.62	m	
Empuje Sísmico			$A_s = (\bar{n} \cdot d) - \sqrt{(\bar{n} \cdot d)^2 - \frac{2 \cdot M_u \cdot \bar{n}}{0.9 \cdot f_y}}$
Es =	471.15	kg	
$b_{pp}$ =	1.11	m	
* Cortante en la base de la pared			El factor de mayoración para empujes de tierra estáticos indicado por el código ACI y el Código Sísmico de CR es de 1.6
V.BP =	1099.35	Kg	<p>Se verifica el espesor de la losa por flexión considerando que el muro se encuentra en zona sísmica, el máximo momento flector ocurre en el talón del muro, el factor de minoración de resistencia por flexión es: <math>\Phi=0,90</math></p>
VU.p =	1758.96	Kg	
* Momento en la base de la pared			
M.BP=	1200.91	kg/m	
 MU.BP =	1921.45	kg/m	
	192145.40	kg/cm	

## Anexo 48. Memoria de cálculo estructural muro de contención M2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Diseño a Flexión de la Pared				
* As de la pared				
As =	4.19	cm <sup>2</sup> /m	No utilizar As.min	
* Verificación del espesor de la placa				
d ≥	6.35	cm		
d =	13.85	cm	Cumple	
* As.mínimo				
As.min1 =	4.17	cm <sup>2</sup> /m	Cumple	
As.min2 =	3.98	cm <sup>2</sup> /m	No Cumple	
* Separación máxima del acero				
fs =	2800			
Cc =	7.5			
S1 =	19.25	cm	Rige	
S2 =	30.00	cm		
* Refuerzo horizontal mínimo				
As.min =	5	cm <sup>2</sup> /m		

En este caso usaremos el factor de mayoración de carga ponderado de 1.4 (Cargas muertas) y el factor de reducción de resistencia por flexión:  $\Phi=0,90$

El espaciamiento del refuerzo no debe exceder el menor de los siguientes valores (ACI 318-14 (Tabla 24.3.2))

$$(a) s \leq 38 * \left(\frac{2800}{f_s}\right) - 2.5c_c$$

$$(b) s \leq 30 * \left(\frac{2800}{f_s}\right)$$

con  $f_s = \frac{2}{3}f_y$  y:  $c_c = a$  menor distancia desde la superficie del refuerzo corrugado a la cara en tracción

### Anexo 49: Memoria de cálculo estructural muro de contención M2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Tabla de Resumen				
Elemento	d(cm)	t(cm)	As.req (cm <sup>2</sup> )	As.hor (cm <sup>2</sup> )
Punta	12.5	20	4.17	5
Talón	12.5	20	4.17	5
Pared	12.5	20	4.19	5

Propuesta de diseño	
Vertical:	varilla #3 @ 15 cm (4.73 cm <sup>2</sup> )
Horizontal:	varilla #3 @ 12.5 cm (4.73 cm <sup>2</sup> )

### Anexo 50. Memoria de cálculo estructural muro de contención M2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

DATOS INICIALES					
<b>Pu,max</b> =	0	Kg	$\phi$ =	<b>0.9</b>	
<b>fy,long</b> =	4200	Kg/cm <sup>2</sup>			
<b>fy,aros</b> =	2800	Kg/cm <sup>2</sup>			
<b>f'c</b> =	280	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>Muros</b> =	<b>20</b>	cm
<b>b</b> =	20	cm		<b>20</b>	cm
<b>h</b> =	20	cm			
<b>d</b> =	14	cm			
<b>Ag</b> =	<b>400</b>	cm <sup>2</sup>			
<b>Long de viga</b> =	2.225	m			
<b>Luz Libre</b> =	2.025	m			
<b>Luz Libre/2</b> =	<b>1.0125</b>	m			
<b>Vu</b> =	0.1696	Ton		<b>Vu= Proviene de SAP</b>	

DISEÑO A FLEXION					
ACERO LONGITUDINAL REQUERIDO (AS)					
<b>Izquierda</b>				<b>Mu</b>	Se extrae de SAP2000
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>		<b>0.033</b>	ton/m
1667.647059	-52920	3274		<b>3274</b>	kg/cm
<b>As (cm<sup>2</sup>) =</b>	<b>0.06</b>	cm <sup>2</sup>	<b>Utilizar As.min</b>		
<b>Centro</b>				<b>Mu</b>	Se extrae de SAP2000
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>		<b>0.025</b>	Ton/m
1667.647059	-52920	2482		<b>2482.0</b>	kg/cm
<b>As (cm<sup>2</sup>) =</b>	<b>0.05</b>	cm <sup>2</sup>	<b>Utilizar AS.min</b>		
<b>Derecha</b>				<b>Mu</b>	Se extrae de SAP2000
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>		<b>0.033</b>	Ton/m
1667.647059	-52920	3274		<b>3274.0</b>	kg/cm
<b>As (cm<sup>2</sup>) =</b>	<b>0.06</b>	cm <sup>2</sup>	<b>Utilizar AS.min</b>		

### Anexo 51: Memoria de cálculo estructural viga V1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Calculo de As.min y As.max			
As,min =	0.93	cm2	
	0.95	cm2	RIGE
As,max =	7.00	cm2	

Ingresar manualmente propuesta de As			
Momentos	Mu	As cm2	As.propuesto cm2
Mu.izq	0.033	0.06	1.42
Mu.cen	0.025	0.05	1.42
Mu.der	0.033	0.06	1.42

#### Comprobación $\phi M_n > M_u$

Momentos	a	c	$\epsilon_s$	Verificación	$M_n > M_u$	$\phi M_n > M_u$	Verificación
Mu.izq	1.3	1.47	0.025493	CUMPLE	0.80	0.72	CUMPLE
Mu.cen	1.3	1.47	0.025493	CUMPLE	0.80	0.72	CUMPLE
Mu.der	1.3	1.47	0.025493	CUMPLE	0.80	0.72	CUMPLE

### Anexo 52. Memoria de cálculo estructural viga V1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

DISEÑO A CORTANTE				
CÁLCULO DE ACERO TRANSVERSAL AV				
Para Vu =	0.17		Ton	
ØVc =	1.86		Ton	<i>Se supone diámetro de aro #3 o #4</i>
ØVs =	-1.69		Ton	<b>0.96</b> cm
				<i>Varilla lon de menor diametro</i>
				<b>1.59</b> cm
<b>CASO 1 :</b>				
<b>Si</b>	<b><math>VU \leq \text{ØVC}/2</math></b>			
	0.17	≤	0.93	<b>Aplica este caso</b>
<b>CASO 2 :</b>				
<b>Si</b>	<b><math>\text{ØVC}/2 &lt; Vu \leq \text{ØVC}</math></b>			
	0.93	<	0.17	≤ 1.86
Separación maxima =	7.00		cm	<b>Rige</b>
	60 cm		cm	
Av, mín =	0.18			
	≤			
<b>CASO 3 :</b>				
<b>Si</b>	<b><math>Vu &gt; \text{ØVC}</math></b>			
	0.17	>	1.86	<b>No Aplica este Caso</b>
Sub-caso a)				
<b>Si</b>	<b><math>\text{ØVs} \leq 2 \text{ØVC}</math></b>			
	-1.69	≤	3.72	
Separación maxima =	7.00		cm	<b>Rige</b>
	60 cm		cm	
Av, mín =	0.00			
Sub-caso b)				
<b>Si</b>	<b><math>2 \text{ØVC} &lt; \text{ØVs} \leq 4 \text{ØVC}</math></b>			
	3.72	<	-1.69	≤ 7.45
Separación maxima =	3.50		cm	<b>Rige</b>
	60 cm		cm	
Av, mín =	0.00			
<b>CASO 4 :</b>				
<b>Si</b>	<b><math>\text{ØVs} &gt; 4 \text{ØVC}</math></b>			
	-1.69	>	7.45	<b>No Aplica este Caso</b>

### Anexo 53. Memoria de cálculo estructural viga V1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

SEPARACIÓN MÁXIMA			
Zona de confinamiento			
S1			
	d/4 =	0	cm
S.máx = menor =	6*db.long=	0	cm
	24*db.aro =	0	cm
	30 =	0	cm
	Proponer sep :	5	cm
	2d =	2	cm
CALCULO DE AV			
	Para Vu =	0.17	Ton
	ØVc =	1.86	Ton
	Av =	-0.29	cm2
	Escribir propuesta:	1.42	cm2
	ØVs =	8.35	Ton
	ØVc =	1.86	Ton
	ØVn =	10.21	Ton
			CUMPLE
SEPARACIÓN MÁXIMA			
Zona sin confinamiento			
S2			
S.máx =	d/2 =	7	cm
	aro mínimo #3		
	Proponer sep :	10	cm
CALCULO DE AV			
	Para Vu =	0.17	ton
	ØVc =	1.86	Ton
	ØVs =	-1.69	Ton
	Av =	-0.58	cm2
	Escribir propuesta:	1.42	cm2
Calculo de capacidad nominal			
	ØVs =	4.17	Ton
	ØVc =	1.86	Ton
	ØVn =	6.04	Ton
			CUMPLE
LONGITUD DE ANCLAJE			
<u>Varillas en compresión y tensión</u>			
lag = mayor =	7.68	cm	
	15.06	cm	
	15.00	cm	
R.ext =	3.84	cm	
12d_b =	11.52	cm	
<u>Varillas en el centro de la viga</u>			
lag = mayor	0.00	cm	
	0.00	cm	
	15.00	cm	
R.ext =	0	cm	
12d_b =	0	cm	
<u>Varillas compresion</u>			
lag = mayor =	7.68	cm	
	15.06	cm	
	15.00	cm	
R.ext =	3.84	cm	
12d_b =	11.52	cm	

### Anexo 54. Memoria de cálculo estructural viga V1

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

DATOS INICIALES					
<b>Pu,max =</b>	0	Kg	$\phi =$	<b>0.9</b>	
<b>fy,long =</b>	4200	Kg/cm2			
<b>fy,aros =</b>	2800	Kg/cm2			
<b>fc =</b>	280	Kg/cm2	<b>Muros =</b>	<b>20</b>	cm
<b>b =</b>	35	cm		<b>20</b>	cm
<b>h =</b>	20	cm			
<b>d =</b>	14	cm			
<b>Ag =</b>	700	cm2			
<b>Long de viga =</b>	1.6	m			
<b>Luz Libre =</b>	1.4	m			
<b>Luz Libre/2 =</b>	0.7	m			
<b>Vu =</b>	0.4363	Ton	<b>Vu= Proviene de SAP</b>		

DISEÑO A FLEXION					
ACERO LONGITUDINAL REQUERIDO (AS)					
<b>Izquierda</b>				<b>Mu</b>	Se extrae de SAP2000
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>		0.138	ton/m
952.9411765	-52920	13838		13838	kg/cm
<b>As (cm2) =</b>	0.26	cm2	Utilizar As.min		
<b>Centro</b>				<b>Mu</b>	Se extrae de SAP2000
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>		0.071	Ton/m
952.9411765	-52920	7075		7075.0	kg/cm
<b>As (cm2) =</b>	0.13	cm2	Utilizar AS.min		
<b>Derecha</b>				<b>Mu</b>	Se extrae de SAP2000
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>		0.138	Ton/m
952.9411765	-52920	13838		13838.0	kg/cm
<b>As (cm2) =</b>	0.26	cm2	Utilizar AS.min		

### Anexo 55: Memoria de cálculo estructural viga V2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

Calculo de As.min y As.max			
As,min =	1.63	cm2	
	1.66	cm2	RIGE
As,max =	12.25	cm2	

Ingresar manualmente propuesta de As			
Momentos	Mu	As cm2	As.propuesto cm2
Mu.izq	0.138	0.26	1.42
Mu.cen	0.071	0.13	1.42
Mu.der	0.138	0.26	1.42

Comprobación $\phi M_n > M_u$							
-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Momentos	a	c	$\epsilon_s$	Verificación	$M_n > M_u$	$\phi M_n > M_u$	Verificación
Mu.izq	0.7	0.84	0.046863	CUMPLE	0.81	0.73	CUMPLE
Mu.cen	0.7	0.84	0.046863	CUMPLE	0.81	0.73	CUMPLE
Mu.der	0.7	0.84	0.046863	CUMPLE	0.81	0.73	CUMPLE

### *Anexo 56. Memoria de cálculo estructural viga V2*

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

DISEÑO A CORTANTE				
CALCULO DE ACERO TRANSVERSAL AV				
Para Vu =	0.44		Ton	<i>Se supone diametro de aro #3 o #4</i>
ØVc =	3.26		Ton	<b>0.96</b> cm
ØVs =	-2.82		Ton	<i>Varilla lon de menor diametro</i>
				<b>1.59</b> cm
<b>CASO 1 :</b>				
Si	$VU \leq \text{ØVC}/2$			
	0.44	≤	1.63	Aplica este caso
<b>CASO 2 :</b>				
Si	$\text{ØVC}/2 < Vu \leq \text{ØVC}$			
	1.63	<	0.44	≤ 3.26
Separación maxima =	7.00		cm	Rige
	60 cm		cm	
Av, mín =	0.31			
<b>CASO 3 :</b>				
Si	$Vu > \text{ØVC}$			
	0.44	>	3.26	No aplica este caso
Sub-caso a)				
Si	$\text{ØVs} \leq 2 \text{ØVC}$			
	-2.82	≤	6.52	
Separación maxima =	7.00		cm	Rige
	60 cm		cm	
Av, mín =	0.0			
Sub-caso b)				
Si	$2 \text{ØVC} < \text{ØVs} \leq 4 \text{ØVC}$			
	6.52	<	-2.82	≤ 13.04
Separación maxima =	3.50		cm	Rige
	60 cm		cm	
Av, mín =	0.00			
<b>CASO 4 :</b>				
Si	$\text{ØVs} > 4 \text{ØVC}$			
	-2.82	>	13.04	No Aplica este Caso

### Anexo 57. Memoria de cálculo estructural viga V2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

SEPARACIÓN MAXIMA			
Zona de confinamiento			
S1			
	d/4 =	0	cm
S.máx = menor =	6*db.long=	0	cm
	24*db.aro =	0	cm
	30 =	0	cm
	Proponer sep :	5	cm
	2d =	28	cm

*Se supone diametro de aro #3 o #4*

**0.96** cm

*Varilla lon de menor diametro*

**1.59** cm

**Rige el menor**

CALCULO DE AV			
	Para Vu =	0.44	Ton
	ØVc =	3.26	Ton
	ØVs =	-2.82	Ton
	Av =	-0.48	cm2
	Escribir propuesta:	1.42	cm2
	ØVs =	8.35	Ton
	ØVc =	3.26	Ton
	ØVn =	11.61	Ton

**CUMPLE**

SEPARACIÓN MAXIMA			
Zona sin confinamiento			
S2			
S.máx =	d/2 =	7	cm
	aro mínimo #3		
	Proponer sep :	10	cm

CALCULO DE AV			
	Para Vu =	0.44	ton
	ØVc =	3.26	Ton
	ØVs =	-2.82	Ton
	Av =	0.44	cm2
	Escribir propuesta:	1.42	cm2

Calculo de capacidad nominal			
	ØVs =	4.17	Ton
	ØVc =	3.26	Ton
	ØVn =	7.43	Ton

**CUMPLE**

LONGITUD DE ANCLAJE			
<p>Longitud de anclaje con gancho estándar, a 90°: <math>l_{ag}</math></p> <p>Sección crítica</p> <p>R.ext</p> <p>12d<sub>b</sub></p> <p>Viga</p> <p>Columna</p> <p>Núcleo confinado</p>	<u>Varillas en compresion y tension</u>		
	lag = mayor =	<b>7.68</b>	cm
	<b>15.06</b>	cm	
	<b>15.00</b>	cm	
	R.ext =	<b>3.84</b>	cm
	12d <sub>b</sub> =	<b>11.52</b>	cm
	<u>Varillas en el centro de la viga</u>		
	lag = mayor	<b>0.00</b>	cm
	<b>0.00</b>	cm	
	<b>15.00</b>	cm	
	R.ext =	<b>0</b>	cm
	12d <sub>b</sub> =	<b>0</b>	cm

<u>Varillas compresion</u>			
lag = mayor =	<b>7.68</b>	cm	
	<b>15.06</b>	cm	
	<b>15.00</b>	cm	
	R.ext =	<b>3.84</b>	cm
	12d <sub>b</sub> =	<b>11.52</b>	cm

### Anexo 58. Memoria de cálculo estructural viga V2

Fuente: Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo, febrero 2021

### Áreas de acero (cm<sup>2</sup>)

(Vigas, columnas)

Varilla	Diámetro (cm)	Cantidad de varillas					
		1	2	3	4	5	6
#3	0.96	0.71	1.42	2.13	2.84	3.55	4.26
#4	1.27	1.29	2.58	3.87	5.16	6.45	7.74
#5	1.59	1.98	3.96	5.94	7.92	9.90	11.88
#6	1.91	2.84	5.68	8.52	11.36	14.20	17.04
#7	2.22	3.87	7.74	11.61	15.48	19.35	23.22
#8	2.54	5.10	10.20	15.30	20.40	25.50	30.60

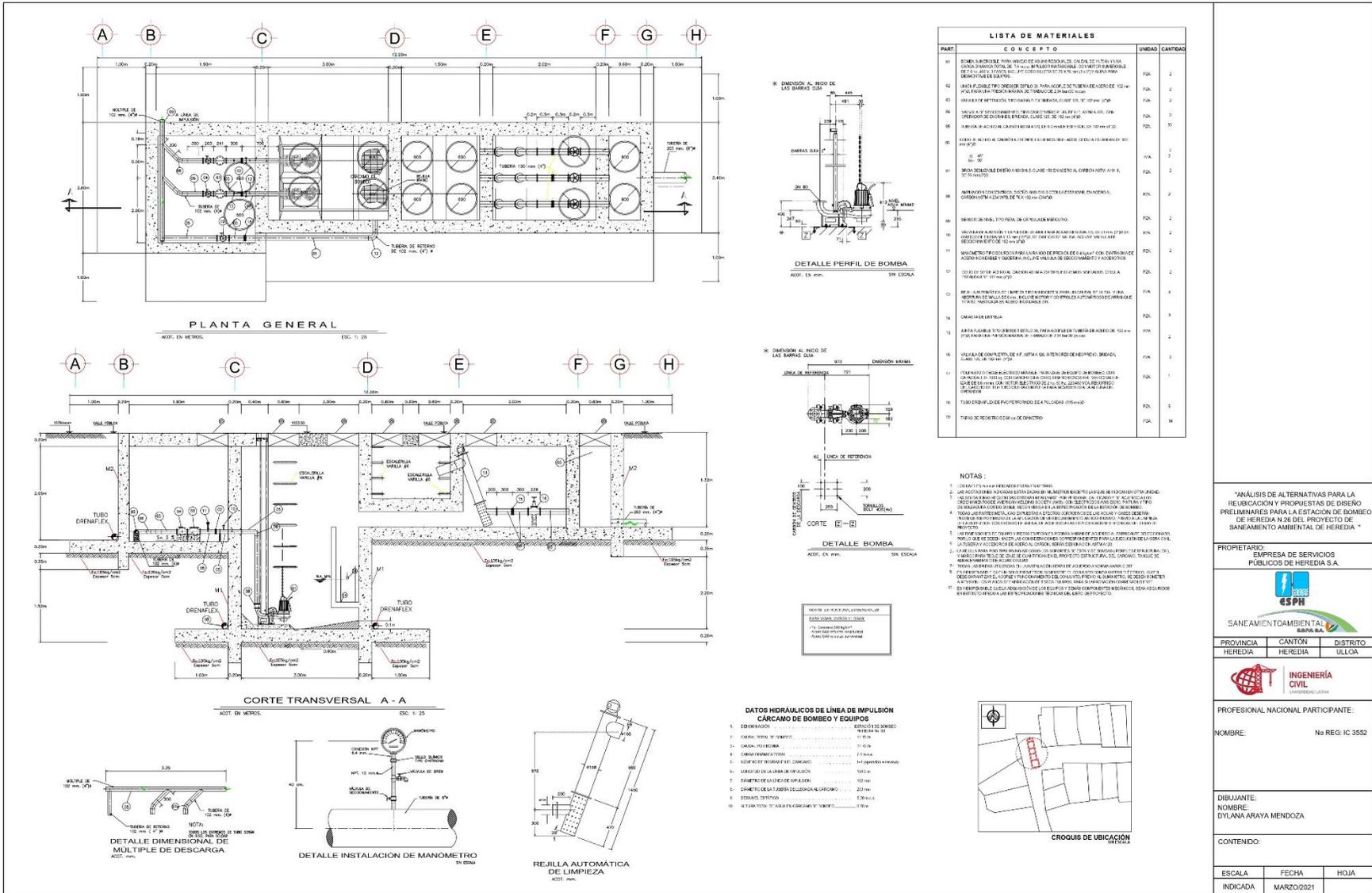
### Áreas de acero en un metro de ancho (cm<sup>2</sup>)

(Losas, muros, placas)

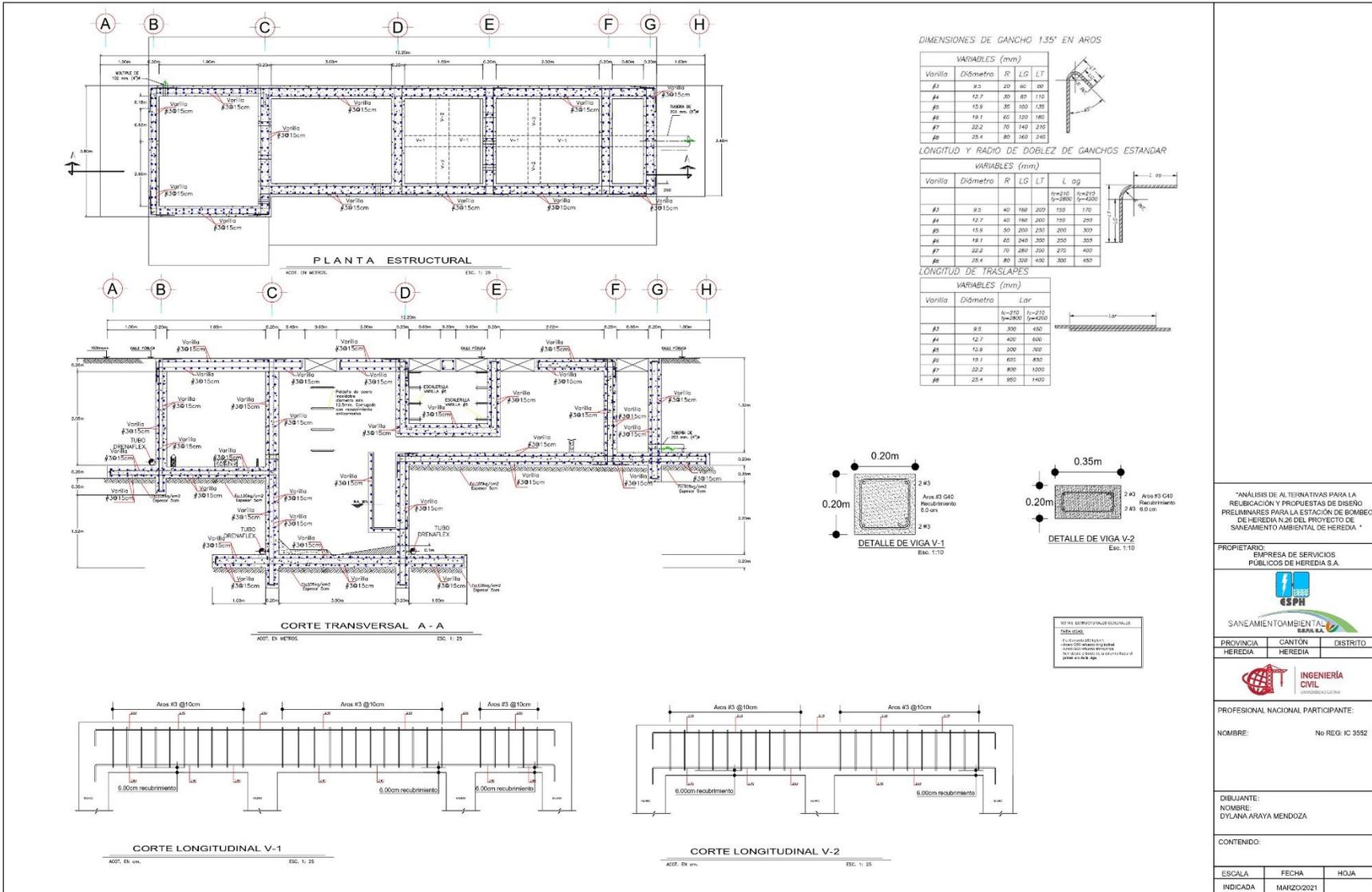
Separación (cm)	Varilla					
	#3	#4	#5	#6	#7	#8
10	7.10	12.90	19.80	28.40	38.70	51.00
12.5	5.68	10.32	15.84	22.72	30.96	40.80
15	4.73	8.60	13.20	18.93	25.80	34.00
17.5	4.06	7.37	11.31	16.23	22.11	29.14
20	3.55	6.45	9.90	14.20	19.35	25.50
22.5	3.16	5.73	8.80	12.62	17.20	22.67
25	2.84	5.16	7.92	11.36	15.48	20.40

#### Anexo 59. Áreas de acero

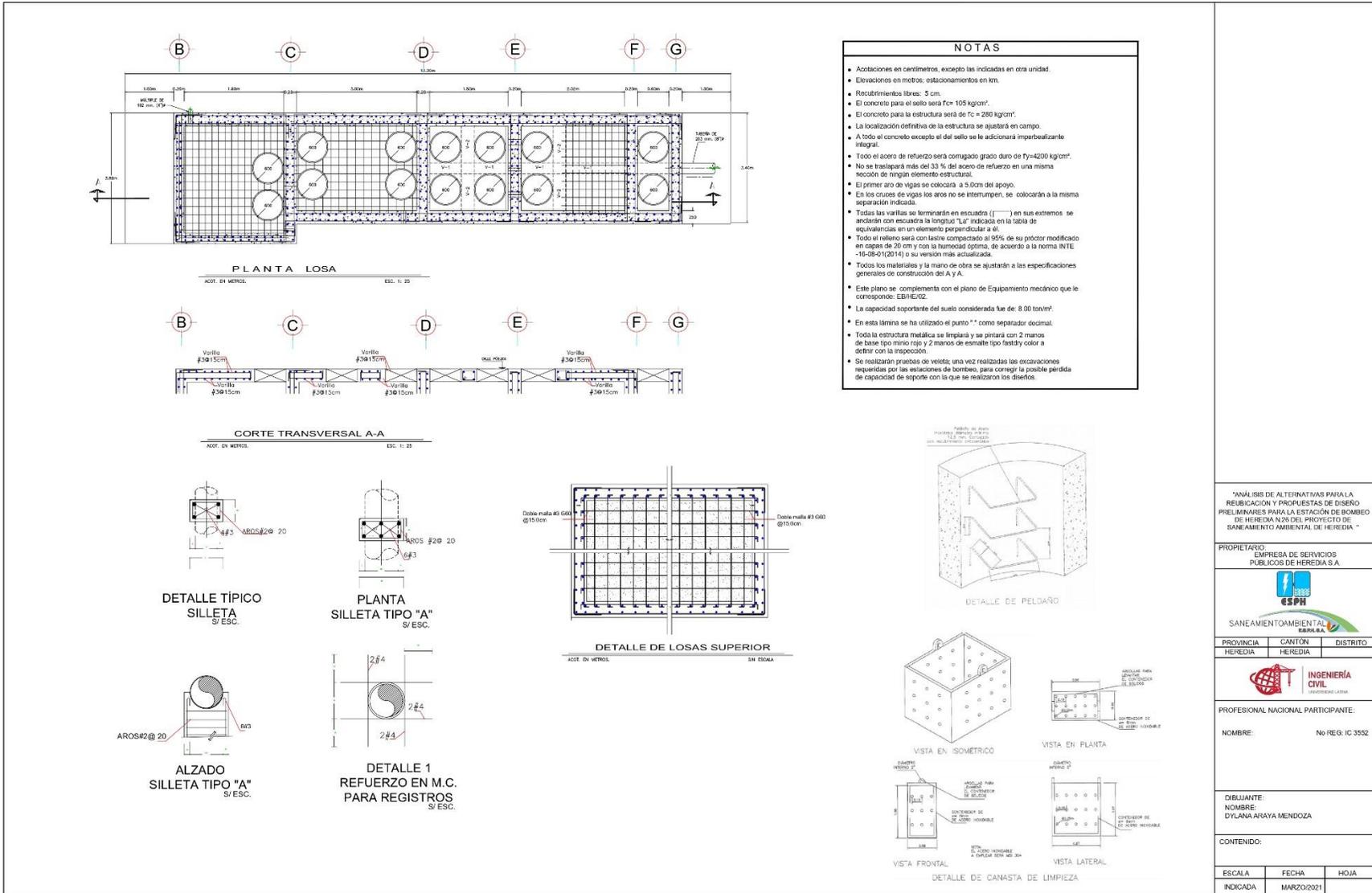
Fuente: Ing. Ronald Jiménez Castro, abril 2020



Anexo 60. Planta arquitectónica EBHE26  
Fuente: Dylana Araya Mendoza, abril 2021



Anexo 61. Planta estructural corte y planta EBHE26  
Fuente: Dylana Araya Mendoza, abril 2021



"ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA REUBICACIÓN Y PROPUESTAS DE DISEÑO PRELIMINARES PARA LA ESTACION DE BOMBEO DE HEREDIA A 2000 DEL PROYECTO DE SANEAMIENTO AMBIENTAL DE HEREDIA "

PROPIETARIO:  
EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE HEREDIA S.A.



PROVINCIA	CANTON	DISTRITO
HEREDIA	HEREDIA	

INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD CATÓLICA

PROFESIONAL NACIONAL PARTICIPANTE:

NOMBRE: No REG. IC 3552

DIBUJANTE:  
NOMBRE:  
DYLANA ARAYA MENDOZA

CONTENIDO:

ESCALA	FECHA	HOJA
INDICADA	MARZO/2021	

Anexo 62. Planta estructural planta EBHE26

Fuente: Dylana Araya Mendoza, abril 2021

## 9 Glosario

ASODEL: Asociación de Desarrollo Integral Pro-Obras Comunales de Lagunilla San José de Heredia

ASME: American Society of Mechanical Engineers

ASTM: American Society for Testing and Materials

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

CCM: Centro de Control de Motores

CSCR-10: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

DAID: Dirección de Apoyo de Investigación y Desarrollo

EBHE26: Estación de Bombeo de Heredia N.º26.

ESPH S.A.: Empresa de Servicios Públicos de Heredia Sociedad Anónima.

MINAE: Ministerio Nacional de Ambiente y Energía

NPSH: Net Positive Suction Head (Altura Neta Positiva de Aspiración).

$NPSH_{disp}$ : Altura Neta Positiva de Aspiración Disponible

$NPSH_{req}$ : Altura Neta Positiva de Aspiración Requerida

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.