



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE SIFÓN AUTOCEBANTE
PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA EN ACEQUIAS”**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

AUTORES:

Pablo Andrés Bombón Prado
Fernanda Moraima Haro Peralvo

TUTOR:

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

LATACUNGA, MARZO 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Bombón Prado Pablo Andrés**, con cédula de ciudadanía No. **050452305-1** y **Haro Peralvo Fernanda Moraima** con cédula de ciudadanía No. **180541752-2**, declaramos se autores del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE SIFÓN AUTOCEBANTE PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA EN ACEQUIAS”** siendo el **PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso**, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 19 del 2025



Bombón Prado Pablo Andrés

C.C: 050452305-1



Haro Peralvo Fernanda Moraima

C.C: 180541742-2

PROYECTO	PRODUCTO	PERIODO	TEMA	AUTORES	PRODUCTO	ENLACE
Proyecto académico científico "Uso y aprovechamiento racional del recurso agua en las unidades hidricas del Cantón Pujilí"	TRABAJO DE TITULACION	Octubre 2024 – marzo de 2025	Diseño de un prototipo de bomba de sifón autocebante para la captación de agua en acequias.	<ul style="list-style-type: none"> • Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C. hector.laurencio@utc.edu.ec • Fernanda Moraima Haro Peralvo fernanda.haro7522@utc.edu.ec • Pablo Andrés Bombón Prado pablo.bombon3051@utc.edu.ec 	Modelo de utilidad "Bomba de sifón autocebante para acequias"	https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1EzoDaldSf1ts3DbHWBq8RBG8wn0ZHHYd



Docente solicitante
Facultad de Ciencias de la
Ingeniería y Aplicadas

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.



Director de Investigación
Facultad de Ciencias de la
Ingeniería y Aplicadas

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.



Aprobado por:
Decano
Facultad de Ciencias de la
Ingeniería y Aplicadas

Ing. Mauro Darío Albarraçin Alvarez; Ms. C.



1. CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR Nro.- 00003-2025

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte el Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C., identificado con cédula de identidad 1758367252, domiciliado en la parroquia Juan Montalvo del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi; la señorita Fernanda Moraima Haro Peralvo, identificada con cédula de ciudadanía 1805417522, domiciliada en la parroquia San Felipe del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi; y el señor Pablo Andrés Bombón Prado, identificado con cédula de ciudadanía 0504523051, domiciliado en la parroquia San Felipe del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi, a quienes en lo sucesivo se les denominará **LOS CEDENTES**; y, por otra parte, la Dra. Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, con cédula de ciudadanía 0502391519 en calidad de Rectora y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - a) La Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, cuenta con la carrera de electromecánica la cual está enfocada en generar soluciones innovadoras para el desarrollo de proyectos tecnológicos desde el diseño, construcción, implementación y ejecución de mantenimiento a elementos y máquinas; incorporando procesos de automatización, protección y control, teniendo en cuenta la eficiencia energética y el uso de fuentes renovables; aplicando herramientas para dar solución y prevención a problemas industriales asociados a los procesos de conversión y uso de la energía en sistemas electromecánicos; desde esta perspectiva y mediante el desarrollo de trabajos de investigación, durante el desarrollo de la asignatura mecánica de fluidos, impartida al cuarto ciclo de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, y en coordinación con el proyecto académico científico *“Uso y aprovechamiento racional del recurso agua en las unidades hídricas del Cantón Pujilí”*, se consolida la idea del diseño de una bomba de sifón autocebante para la extracción de agua de riego en acequias.

b) Los autores Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C., Fernanda Moraima Haro Peralvo y Pablo Andrés Bombón Prado, pertenecen a la carrera de Ingeniería en electromecánica.

c) La Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cuenta con un proyecto académico científico titulado *“Uso y aprovechamiento racional del recurso agua en las unidades hídricas del Cantón Pujilí”*, donde en trabajo conjunto de los docentes y estudiantes se han identificado problemas latentes en cuanto a la eficiencia de sistemas de uso de agua en sistemas agrícolas, para lo cual se han creado soluciones ingenieriles con aplicaciones de diseño de prototipos.

d) El Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C., docente de la carrera de Ingeniería en electromecánica; y la Srta. Fernanda Moraima Haro Peralvo; y el Sr. Pablo Andrés Bombón Prado, estudiante de la carrera de Ingeniería en Electromecánica; son titulares de los derechos patrimoniales y morales sobre el modelo de utilidad **“Bomba de sifón autocebante para acequias”**



CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la Educación Superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LOS CEDENTES** autorizan a **LA CESIONARIA**, a explotar el modelo de utilidad “**Bomba de sifón autocebante para acequias**”.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LOS CEDENTES**, transfieren a **LA CESIONARIA** y en forma no exclusiva los siguientes derechos patrimoniales:

- a) La reproducción parcial o total del modelo de utilidad **Bomba de sifón autocebante para acequias**.
- b) La publicación del prototipo a nivel nacional.
- c) Cualquier otra forma de utilización de la obra que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

2. CLÁUSULA QUINTA. – OBLIGACIONES DE LOS CEDENTES:

Los Cedentes se comprometen a:

1. En caso de conocer sobre la infracción por parte de terceros en relación con los derechos patrimoniales que recaen sobre la obra, se obligan a notificar a la cesionaria a fin de que ésta entable las acciones legales que correspondieren.
2. A notificar a la cesionaria en caso de que iniciara acciones legales en contra de terceros por la vulneración de sus derechos morales derivados de la obra.
3. Respetar el conjunto de las obligaciones que la legislación vigente establece, así como aquellas que en virtud de la naturaleza del presente Contrato se le atribuya y que no han sido previstas en esta estipulación.

CLÁUSULA SEXTA. – OBLIGACIONES DE LA CESIONARIA: La Cesionaria se compromete a:

1. Respetar y hacer cumplir los derechos morales que le corresponden a Los Cedentes, cuando corresponda.
2. En caso de conocer sobre la infracción por parte de terceros, en relación con los derechos morales derivados de la obra, se obliga a notificar a los cedentes a fin de que entablen las acciones legales pertinentes; así mismo, la cesionaria notificará a los cedentes en caso de que inicie acciones legales en contra de terceros en virtud de la vulneración de sus derechos patrimoniales sobre la obra.
3. Poner todos los medios necesarios para la efectividad de la explotación concedida en el presente contrato, según la naturaleza de la obra y los usos vigentes en la actividad profesional, industrial o comercial de que se trate.
4. Poner en conocimiento de los cedentes toda información que tuviera con relación a posibles infracciones contra estos derechos.



CLÁUSULA SÉPTIMA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno, en igual sentido **LOS CEDENTES** declaran que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA OCTAVA. - De conformidad con lo previsto en el inciso tercero del artículo 167 del COESCCI, las partes expresamente convienen en que la presente cesión de derechos patrimoniales de autor será válida durante 10 años, posteriores a la firma de este instrumento.

CLAUSULA NOVENA. - Las partes contratantes consensuan al amparo del Art. 167 del COESCCI, que la vigencia del presente instrumento será en todo el territorio ecuatoriano.

CLÁUSULA DÉCIMA. - CLÁUSULA DE NO EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA**, el derecho a explotar la obra en forma no exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que **LOS CEDENTES** podrán utilizarla.

3. CLÁUSULA DÉCIMA PRIMERA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. –

LA CESIONARIA podrá licenciar o suscribir contratos con terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LOS CEDENTES** en forma escrita.

CLÁUSULA DÉCIMA SEGUNDA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por el Código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

4. CLÁUSULA DÉCIMA TERCERA. - GARANTÍAS:

Los cedentes declaran que la titularidad de la obra:

1. Se encuentra libre de cualquier carga, gravamen o afectación.
2. Que no existen contratos de licencia o cesión anteriores a la fecha que puedan limitar esta cesión.
3. Que no existen reclamaciones judiciales o administrativas pendientes que puedan eliminar esta cesión.

De acuerdo a estas declaraciones los cedentes se comprometen a:

1. Garantizar que el cesionario cuenta con el consentimiento de todos los titulares de la obra.

CLÁUSULA DÉCIMA CUARTA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por la parte que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en tres ejemplares de igual



valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los veinte y seis días del mes de febrero del año 2025.

5. CEDENTES:



Firmado digitalmente por:
HECTOR LUIS
LAURENCIO ALFONSO

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.
C.I: 1758367252



Firmado digitalmente por:
FERNANDA MORAIMA
HARO PERALVO

Fernanda Moraima Haro Peralvo
C.I: 1805417522



Firmado digitalmente por:
PABLO ANDRES BOMBON
PRADO

Pablo Andrés Bombón Prado
C.I: 0504523051

CESIONARIA:

Dra. Idalia Eleonora Pacheco Tigselema

C.C 0502391519

AVAL DE TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE SIFÓN AUTOCEBANTE PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA EN ACEQUIAS”, de Bombón Prado Pablo Andrés y Haro Peralvo Fernanda Moraima, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considerando que dicho Informe Investigativo considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 19 de febrero de 2025



PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

C.C. 175836725-2

TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes Bombón Prado Pablo Andrés; Haro Peralvo Fernanda Moraima, con el título del Proyecto de titulación **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE SIFÓN AUTOCEBANTE PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA EN ACEQUIAS”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 19 de febrero de 2025

Para constancia firman:

Ing. MSc. Gonzalo Xavier Vizúete Fiallos

C.C: 171463136-1

LECTOR 1(PRESIDENTE)

Ing. MSc. Efrén Damián Alban Andrade

C.C: 050252951-4

LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. MSc. Luis Miguel Navarrete López

C.C: 180374728-4

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga 19 de febrero de 2025

En la ciudad de Latacunga, al 19 de Febrero del año 2025, en la Universidad Técnica de Cotopaxi, se realiza la entrega de la propuesta tecnológica, **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE SIFÓN AUTOCEBANTE PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA EN ACEQUIAS”**, Ubicada en la ciudad de Latacunga, por parte de los estudiantes, **Bombón Prado Pablo Andrés y Haro Peralvo Fernanda Moraima**, al PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso, con cedula d ciudadanía N°1758367252, se procede a la entrega y recepción de los siguientes bienes, los cuales serán utilizados para el desarrollo de prácticas de campo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.



Recibido por:

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

C.C:1758367252

AGRADECIMIENTO

Quiero darles las gracias a Dios y a mis padres Víctor y Paty por haberme cuidado y apoyado a lo largo de este camino tan difícil, sin ellos no sería posible nada de esto. Reconozco el esfuerzo que han realizado por mí para culminar un objetivo en mi vida, esto es por y para ustedes.

Agradecer al Dr. Héctor Laurencio quien fue parte fundamental en la realización de la presente propuesta tecnológica, a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus docentes quienes me formaron en la parte académica y humanista. Sobre todo, a mis mejores amigos, Anthony Ortega y Fernanda Haro quienes han sido un pilar fundamental en mi vida universitaria.

Pablo B.

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por concederme salud y sabiduría para alcanzar una meta más en mi vida.

A mis padres, quienes, con su paciencia, palabras de aliento, esfuerzo y sacrificio han sido mi mayor fuente de apoyo durante toda mi vida académica. Gracias por enseñarme a ser una mejor persona y por impulsarme siempre a cumplir mis anhelos.

De manera especial, agradezco a mi novio, por estar a mi lado en todo momento, brindándome su apoyo y motivación para seguir adelante.

A mis amigos, por su apoyo desinteresado y por cada momento compartido a lo largo de este camino.

Extiendo también mi gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus docentes, cuya generosidad al compartir sus conocimientos ha sido clave en mi formación profesional.

Finalmente, reconozco la invaluable contribución del Dr. Héctor Luis Laurencio, mi tutor de tesis, cuya orientación y paciencia fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

Fernanda H.

DEDICATORIA

Esta tesis me la dedico principalmente a mí, porque han sido días de constante lucha y dedicación para lograr llegar a este objetivo.

A Víctor y Paty que a pesar de todo nunca dejaron de ser mis padres y siempre contare con ellos, esta tesis también es parte de su esfuerzo.

Finalmente, a aquellas personas que no creyeron en mí, su actitud logro impulsar mis objetivos aún más.

¡Electromecánico un día, electromecánico toda la vida!

Pablo B.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo el cariño, a mis padres Hugo Haro y María Peralvo, que con esfuerzo y sacrificio han sido el motor que me impulsó a nunca rendirme. Gracias por su paciencia infinita, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado de la perseverancia.

A mis abuelos maternos, quienes siempre han estado para mí cuando más los he necesitado. A pesar de su edad, su amor, apoyo y sabios consejos han sido una fuente constante de fortaleza e inspiración en mi vida.

A mi hermano, Italo Haro por iluminar mis días con su cariño y recordarme siempre lo valioso que es la familia.

A mi novio, Antony Chicaiza por ser mi compañero de vida, por su amor, comprensión y palabras de aliento que me motivaron a seguir adelante, incluso en los momentos de incertidumbre. Gracias por estar a mi lado en cada paso de este camino.

A mis amigos, Anthony Ortega y Pablo Bombón, por su amistad inquebrantable desde el inicio de esta etapa, por ser mi apoyo constante y por compartir conmigo risas, desafíos y momentos inolvidables que hicieron de este camino una experiencia llena de aprendizaje, compañerismo y hermandad.

Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas y familiares que, de una u otra manera, han sido parte de mi formación, brindándome su apoyo, enseñanzas y motivación a lo largo de este camino.

Fernanda H.

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	viii
AVAL DE APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION	ix
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO	xii
DEDICATORIA	xiv
INDICE GENERAL	xv
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. Situación Problémica.....	2
2.2. Formulación del problema	3
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.3.1. Objeto de Investigación	3
2.3.2. Campo de acción.....	3
2.4. BENEFICIARIOS	3
2.4.1. Directo.....	3
2.4.2. Indirecto	3
2.5. JUSTIFICACIÓN.....	4
2.6. OBJETIVOS	4
2.6.1. General.....	4
2.6.2. Específicos	4

2.6.3.	SISTEMAS DE TAREAS	5
3.	MARCO TEÓRICO.....	6
3.1.	Antecedentes de la investigación	6
3.2.	Introducción al sifón autocebante y su funcionamiento.....	8
3.2.1.	Sifón autocebante.....	8
3.2.2.	Cavitación en sifones	8
3.2.3.	Proceso de succión.....	9
3.2.4.	Proceso de descarga	9
3.3.	Selección y tipos de bombas	9
3.3.1.	Bomba de ariete	9
3.3.2.	Bomba de pistón o embolo	10
3.3.3.	Bomba de diafragma.....	11
3.3.3.1.	Ventajas y desventajas de la bomba de diafragma.....	11
3.3.3.2.	Partes de la bomba de diafragma.....	12
3.4.	Válvulas utilizadas en sistemas de bombeo	13
3.4.1.	Válvula de check o de pie	13
3.4.1.1.	Funcionamiento de una válvula de check	13
3.4.2.	Válvula de bola	14
3.4.2.1.	Funcionamiento de una válvula de bola.....	14
3.4.3.	Válvula antirretorno	15
3.4.3.1.	Tipos de válvula antirretorno	15

3.4.3.2.	Funcionamiento de la válvula antirretorno columpio	16
3.5.	Uso de recurso hídrico en el sector agropecuario	17
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	18
4.1.	Zona de estudio	18
4.2.	Dimensionamiento del sistema de flujo	18
4.2.1.	Procedimiento para determinar el diámetro de tubería en función del caudal. 19	
4.2.1.1.	Cálculo de caudal de gravedad para el diámetro de la tubería seleccionada. 19	
4.3.	Selección de materiales para el diseño del sifón	22
4.4.	Selección de materiales para el diseño de la bomba cebante	22
4.4.1.	Características del acero AISI 1045	23
4.5.	Selección de materiales para el diseño del sistema de palanca con articulación	28
4.5.1	Software de simulación para la palanca	28
4.5.2.	Grados de libertad	28
4.6.	Software de simulación	29
4.7.	Determinación del caudal de la bomba.	30
4.8.	Determinación del caudal de la bomba con el flujómetro	30
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
5.1.	Zona de estudio	31
5.2.	Dimensionamiento del sistema de flujo	31
5.2.1.	Procedimiento para determinar el diámetro de la tubería en función del caudal. 31	

5.2.1.1. Cálculo del caudal de gravedad para el diámetro de tubería seleccionada.	37
5.3. Selección de materiales para la fabricación del sifón	38
5.4. Selección de materiales para el diseño de la bomba cebante.	41
5.5. Selección de materiales para el diseño del sistema de palanca con articulación	44
5.5.1. Simulación de palanca con articulación.....	47
5.5.2. Grados de libertad	49
5.6. Simulación de elementos.....	50
5.7. Determinación del caudal de la bomba	58
5.8. Flujoímetro	58
5.9. Análisis económico	59
6. CONCLUSIONES	62
7. RECOMENDACIONES.....	63
8. REFERENCIAS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Área de conocimiento	1
Tabla 2. Sistema de tareas.....	5
Tabla 3. Descripción de variables	22
Tabla 4. Composición química del acero AISI 1045	23
Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero AISI 1045	23
Tabla 6. Propiedades físicas del acero AISI 1045	23
Tabla 7. Torneado del acero AISI 1045	23
Tabla 8. Fresado de acabado de acero AISI 1045.....	24
Tabla 9. Fresado frontal y axial	24
Tabla 10. Taladrado con broca de acero rápido	25
Tabla 11. Taladrado con brocas de carburo	25
Tabla 12. Composición química del acero AISI 4110.....	25
Tabla 13. Propiedades mecánicas del acero AISI 410.....	25
Tabla 14. Propiedades del acero AISI 4110.....	26
Tabla 15. Torneado del acero AISI 4110.....	26
Tabla 16. Fresado del acero AISI 4110	26
Tabla 17. Fresado frontal y axial	27
Tabla 18. Taladrado con broca de acero rápido	27
Tabla 19. Taladrado de broca de metal duro.....	27
Tabla 20. Tabla comparativa de materiales	27

Tabla 21. Determinación del caudal en m^3/h	37
Tabla 22. Determinación de la velocidad en tubería.....	37
Tabla 23. Determinación de Reynolds.....	37
Tabla 24. Determinación del coeficiente de fricción	37
Tabla 25. Determinación de la resistencia de la red	37
Tabla 26. Determinación de la altura	37
Tabla 27. Determinación de NPSHd.....	37
Tabla 28. Variables de proceso	38
Tabla 29. Equipos empleados	46
Tabla 30. Grados libertad.....	49
Tabla 31. Análisis económico.....	59
Tabla 32. Análisis en un periodo de 6 años	59
Tabla 33 . Tasa Interna de Retorno	60
Tabla 34. Análisis económico 2.....	61
Tabla 35. Análisis 2 en un periodo de 6 años	61
Tabla 36. Tasa Interna de Retorno 2.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cavitación en tubería, Sifón [10].....	9
Figura 2. Sistema de bomba de ariete [11].	10
Figura 3. Bomba de pistón [13].	10
Figura 4. Funcionamiento de la bomba de diafragma [5].....	11
Figura 5. Válvula de check	13
Figura 6. Válvula de bola.....	14
Figura 7. Válvula de bisagra	15
Figura 8 .Válvula de disco oscilante	15
Figura 9. Válvula de pistón.....	16
Figura 10. Válvula de retención.....	16
Figura 11. Válvula antirretorno.....	17
Figura 12. RTK	18
Figura 13. Diagrama de cuerpo libre	29
Figura 14. Fluviómetro	30
Figura 15. Zona de estudio.....	31
Figura 16. Caudal de gravedad	32
Figura 17. Caudal de gravedad	32
Figura 18. Caudal de gravedad	33
Figura 19. Proceso de cavitación	33
Figura 20. Proceso de cavitación	34

Figura 21. Proceso de cavitación	34
Figura 22. Caudal de gravedad	35
Figura 23. Caudal de gravedad	36
Figura 24. Caudal de gravedad	36
Figura 25. Válvula de pie.....	38
Figura 26. Tubo PVC 3”	38
Figura 27. T de PVC de 3”.....	39
Figura 28. Codo de 90°	39
Figura 29. Codo de 45°	39
Figura 30. Válvula de bola.....	40
Figura 31. Reducción de 3” a 2”	40
Figura 32. Pegamento WELD-ON.....	40
Figura 33. Sifón	41
Figura 34. Resorte.....	42
Figura 35. Rodelas	42
Figura 36. Implementación de válvulas	43
Figura 37. Sistema de deslizamiento	43
Figura 38. Placa inferior tipo acople.....	44
Figura 39. Diseño general de la palanca con articulación	44
Figura 40. Mecanizado de la palanca.....	45
Figura 41. Pasadores	46

Figura 42. Viga simulada en el software	48
Figura 43. Diagrama de momento flector	48
Figura 44. Diagrama de fuerza cortante.....	49
Figura 45. Análisis de Von Mises de parte centro	50
Figura 46. Análisis de Von Mises de la parte superior	51
Figura 47. Análisis Von Mises de la parte inferior	51
Figura 48. Análisis de Von Mises de la palanca	52
Figura 49. Análisis de desplazamiento de la parte centro.....	53
Figura 50. Análisis de desplazamiento de la palanca superior	53
Figura 51. Análisis desplazamiento de la parte inferior	54
Figura 52. Análisis desplazamiento de la palanca	55
Figura 53. Análisis del factor de seguridad de la parte centro.....	56
Figura 54. Análisis del factor de seguridad de la parte superior.....	56
Figura 55. Análisis del factor de seguridad de la parte inferior.....	57
Figura 56. Análisis del factor de seguridad de la palanca.....	57
Figura 57. Caudal de la bomba	58
Figura 58. Mediciones con el flujómetro	58
Figura 59. TIR.....	60
Figura 60. TIR 2.....	62

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE SIFÓN AUTOCEBANTE PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA EN ACEQUIAS”

Autores:

Bombón Prado Pablo Andrés

Haro Peralvo Fernanda Moraima

RESUMEN

El diseño de un prototipo de bomba de sifón autocebante para la captación de agua en las acequias en el barrio Rumipamba de Espinozas, busca abordar los problemas de acceso al agua para riego en esta área rural. El uso de acequias como fuente principal de agua a menudo presenta desafíos, como la distribución inadecuada y el daño a la infraestructura. Este trabajo propone una solución innovadora mediante un dispositivo que combina una bomba de diafragma y una bomba de cebado manual, lo que permite un uso más adecuado del agua sin necesidad de alterar las acequias. Durante la investigación se obtuvo que el prototipo alcanza un caudal de $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ para todo el terreno a una velocidad de 1 m/s , asegurando un NPSHd (cabeza de succión neta positiva disponible) de 9.378 m y pérdidas de carga de 5.5 . El sistema requiere un tiempo de 3 minutos para el cebado inicial, lo que implica accionar la palanca durante este tiempo para que comience a funcionar. Las ventajas del prototipo incluyen su accesibilidad para pequeños agricultores y su capacidad para transportar agua a terrenos elevados sin romper la estructura de las acequias. La implementación de esta bomba puede contribuir a una agricultura más sostenible, garantizando una distribución equitativa del agua y mejorando la productividad agrícola. Con este prototipo, se espera no solo optimizar el uso del agua, sino también impulsar el desarrollo socioeconómico de la comunidad, promoviendo un manejo más responsable de los recursos hídricos.

Palabras clave: diafragma, prototipo, caudal

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “DESIGNING OF A SELF-PRIMING SIPHON PUMP PROTOTYPE FOR WATER HARVESTING IN IRRIGATION DITCHES”.

Authors:

Bombón Prado Pablo Andrés

Haro Peralvo Fernanda Moraima

ABSTRACT

The design of a prototype self-priming siphon pump to capture water from irrigation ditches in Rumipamba neighborhood of Espinozas seeks to address access problems to irrigation water in this rural area. The use of ditches as the main source of water often presents challenges, such as distribution and damage to infrastructure. This work proposes an innovative solution using a device that combines a diaphragm pump and a hand-priming pump, allowing more appropriate water use without the need to alter irrigation ditches. During the investigation, it was obtained that the prototype achieves a flow rate of 0.4 m³/h for entire field at a velocity of 1 m/s, ensuring a NPSHd (net positive suction head available) of 9.378 m and head losses of 5.5. The system requires a time of 3 minutes for initial priming, which involves actuating the lever during this time for it to start operating. The advantages of the prototype include its accessibility for small farmers and its ability to transport water to high ground without breaking the structure of irrigation ditches. The implementation of this pump can contribute to a more sustainable agriculture, ensuring an equitable water distribution and improving agricultural productivity. With this prototype, it is expected not only to optimize water use, but also to boost socioeconomic community development promoting a more responsible management of water resources.

Key words: diaphragm, prototype, flow rate.



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma inglés de la propuesta tecnológica cuyo título versa: **"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE SIFÓN AUTOCEBANTE PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA EN ACEQUIAS"** presentado por los estudiantes: **Bombón Prado Pablo Andrés** y **Haro Peralvo Fernanda Moraima**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, febrero 2025

Atentamente,



Mg. PACHECO PRUNA EDISON MARCELO
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502617350



1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto:

“Diseño de un prototipo de bomba de sifón autocebante para la captación de agua en acequias.”

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

Carrera:

Ingeniería Electromecánica

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Sr. Bombón Prado Pablo Andrés

Srta. Haro Peralvo Fernanda Moraima

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Área de Conocimiento:

Tabla 1. Área de conocimiento

ÁREA CONOCIMIENTO	SUBÁREA CONOCIMIENTO	SUBÁREA ESPECIFICA CONOCIMIENTO
07 Ingeniería, Industria y Construcción.	071 Ingeniería y Profesiones Afines	0715 Mecánica y Metalurgia

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

En las zonas rurales del Ecuador, el acceso al agua para riego es un factor determinante en la producción agrícola y la calidad de vida de las comunidades. El barrio Rumipamba de Espinozas, ubicado en la Parroquia Mulaló, no es ajeno a esta realidad. En este sector, las acequias son una fuente principal de agua para riego, pero su uso a menudo enfrenta desafíos importantes, como la dificultad de transportar agua a áreas remotas o terrenos elevados sin alterar la infraestructura existente.

Ante esta problemática, esta tesis propone el diseño y desarrollo de un prototipo de bomba de sifón autocebante para el aprovechamiento de agua en acequias. Este dispositivo combina las características de una bomba de diafragma con una bomba de cebado manual, ofreciendo una solución práctica para mejorar la distribución del agua en los terrenos de cultivo. La innovación radica en su capacidad de llegar a zonas alejadas de la acequia sin necesidad de realizar modificaciones estructurales, como romper o bloquear el canal de agua, preservando así su integridad y funcionamiento.

La implementación de esta tecnología puede facilitar el riego por inundación, adaptándose a las necesidades específicas de los agricultores locales. Además, al ser un sistema autocebante simplifica su operación y reduce la dependencia de equipos adicionales o conocimientos técnicos avanzados.

El objetivo de esta investigación es diseñar un prototipo funcional que ayude a mejorar el uso y manejo de los recursos hídricos disponibles en el sector, promoviendo una agricultura más sostenible y contribuyendo al desarrollo socioeconómico de la comunidad. A través de un enfoque técnico, este estudio busca ofrecer una solución tangible y replicable para enfrentar uno de los principales desafíos del riego en pequeñas explotaciones agrícolas.

2.1. Situación Problemática

En el barrio Rumipamba de Espinozas, el riego agrícola presenta diferentes problemáticas con el uso de las acequias como fuente principal de agua. Para captar el agua de estas acequias, los agricultores a menudo deben tapparlas o romperlas, lo que provoca daños estructurales y afecta su funcionamiento a largo plazo [1].

El agua no se distribuye de manera equitativa en los terrenos, tiende a quedarse en el pie de la acequia, lo que impide que llegue a las zonas alejadas o más altas del terreno. Esto genera un riego ineficiente con áreas que reciben exceso de agua mientras que otras carecen de ella, afectando la productividad agrícola [2].

Otro reto importante son los costos elevados de las bombas de riego disponibles en el mercado, lo que dificulta su adquisición por parte de los agricultores del sector. Además, estas bombas suelen depender de combustibles con precios elevados, incrementando los costos operativos del riego. La falta de acceso a la energía eléctrica en muchas áreas rurales limita aún más la implementación de sistemas de riego modernos [3].

Estas dificultades marcan la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas que permitan un aprovechamiento y distribución eficiente del agua sin alterar la infraestructura de las acequias, promoviendo así un uso más equitativo y sostenible del recurso hídrico.

2.2. Formulación del problema

Desaprovechamiento del agua en acequias para el riego por tubería.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de Investigación

Diseñar un prototipo de bomba de sifón autocebante para la captación de agua en acequias.

2.3.2. Campo de acción

3313.25 Bombas y equipos para manipulación de líquidos

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Directo

La población del barrio Rumipamba de Espinozas quienes podrán aprovechar el bombeo de agua generada por la bomba de sifón autocebante.

2.4.2. Indirecto

De manera indirecta los beneficiarios son estudiantes y docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en el campo de la ingeniería electromecánica e ingeniería hidráulica que pueden aprovechar los enfoques metodológicos y resultados de la investigación para su formación.

2.5. JUSTIFICACIÓN

El diseño de una bomba de sifón autocebante para captar agua de acequias nace de la necesidad de mejorar el riego agrícola sin causar daños a las acequias, que son esenciales para muchas comunidades. Este prototipo busca ser una alternativa práctica y respetuosa, ya que evita romper o alterar estas estructuras, lo que ayuda a mantenerlas en buen estado para todos.

Además, es una solución más económica en comparación con las bombas tradicionales, lo que la hace accesible para pequeños agricultores. Otra ventaja importante es que permite distribuir el agua de manera más equitativa, con la implementación de un sistema de sifón autocebante se busca garantizar el flujo de agua por gravedad en pendientes irregulares.

Este proyecto no solo tiene un impacto positivo en el ahorro de la economía y el cuidado del medio ambiente, sino que también busca beneficiarios directamente a las personas que dependen de estas acequias para su sustento. Al final, lo que se quiere es ofrecer una solución sencilla y accesible para mejorar el uso del agua en la agricultura.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

Diseñar un prototipo funcional de bomba de sifón autocebante para la captación de agua en acequias, mediante la implementación de una bomba de diafragma y sistema de válvulas de retención para el suministro de agua por gravedad.

2.6.2. Específicos

- Analizar las variables hidráulicas de caudal, cabeza de succión neta positiva disponible (NPSHd), pérdidas y velocidad que influyen en el diseño y operación del prototipo, considerando las condiciones específicas de las acequias como la altura de succión.
- Diseñar un sistema autocebante que facilite el inicio del flujo sin necesidad de bombas auxiliares, teniendo en cuenta materiales, geometrías y mecanismos adecuados para su implementación.
- Evaluar experimentalmente el prototipo en un entorno controlado y en campo, midiendo parámetros como caudal de agua y tiempo de cebado, con el fin de validar su funcionalidad y adaptabilidad a diferentes condiciones de acequias.

2.6.3. SISTEMAS DE TAREAS

Tabla 2. Sistema de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
<p>Analizar las variables hidráulicas caudal, de NPSHd, pérdidas y velocidad que influyen en el diseño y operación del prototipo, considerando las condiciones específicas de las acequias como la altura de succión.</p>	<p>Definición de la altura de succión, velocidad del flujo, caudal disponible.</p>	<p>Datos claros y específicos sobre las condiciones de las acequias.</p>	<p>Uso de dispositivos Topográficos para obtener datos precisos de las variables.</p>
	<p>Recopilación de información sobre las condiciones físicas y operativas de las acequias.</p>	<p>Validación de las pruebas experimentales que demuestren las capacidades del prototipo.</p>	<p>Uso de herramientas/Softwares como SolidWorks para modelar el prototipo.</p>
<p>Diseñar un sistema autocebante que facilite el inicio del flujo sin necesidad de bombas auxiliares, teniendo en cuenta materiales, geometrías y</p>	<p>Identificación de materiales resistentes a la corrosión y al desgaste, considerando las características del agua en las acequias.</p>	<p>Diseño técnico que incluya planos y especificaciones de materiales, geometrías y mecanismos.</p>	<p>Accesorios PVC para la creación del prototipo.</p>

<p>mecanismos adecuados para su implementación.</p>	<p>Elaboración un diseño preliminar del sistema que incluya geometrías optimizadas para facilitar el autocebado.</p>	<p>Simulaciones que muestren la capacidad del sistema para iniciar el flujo sin asistencia de bombas auxiliares.</p>	<p>Herramientas como el software SolidWorks para modelar el sistema.</p>
<p>Evaluar experimentalmente el prototipo en un entorno controlado y en campo, midiendo parámetros como caudal de agua y tiempo de cebado, con el fin de validar su funcionalidad y adaptabilidad a diferentes condiciones de acequias.</p>	<p>Instalación del prototipo en una acequia real y monitorear su comportamiento bajo condiciones naturales.</p>	<p>Datos que demuestren la funcionalidad del prototipo en términos de caudal y tiempo de autocebado.</p>	<p>Ubicación en campo que represente un caso típico de aplicación del prototipo.</p>
	<p>Comparación de los resultados obtenidos en campo con los datos del entorno controlado para identificar posibles ajustes al diseño.</p>	<p>Evaluación que indique cómo se comporta el prototipo bajo diferentes condiciones (Nivel de espejo de agua) y recomendaciones para su mejora.</p>	<p>Uso de flujómetro, para medir el tiempo necesario para iniciar el autocebado.</p>

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

El sifón del Lago de Tota, administrado por COSERVICIOS S.A. E.S.P., ha sido objeto de un estudio detallado que resalta su relevancia dentro del sistema de captación de agua de la región.

Este sistema utiliza un sifón invertido que aprovecha la presión atmosférica para captar agua, diferenciándose de los métodos de bombeo tradicionales.

A lo largo de sus aproximadamente 60 años de existencia, el sifón ha sido sometido a diversas modificaciones, como la extensión del tubo de succión y la modernización de la bomba de vacío. Sin embargo, a pesar de las mejoras y de los trabajos de mantenimiento realizados, se ha identificado la necesidad de incrementar su eficiencia y optimizar su funcionamiento. En este contexto, se ha realizado un exhaustivo estudio para evaluar el estado actual del sifón, analizando tanto sus componentes hidráulicos como el sistema eléctrico que lo acciona [4].

Las bombas de diafragma son dispositivos diseñados para transportar fluidos mediante un diafragma flexible que se mueve por dentro de una cámara. Este movimiento cíclico genera una diferencia de presión que da paso a la entrada y salida del fluido a través de una serie de válvulas de admisión y escape, garantizando un flujo en una sola dirección y evitando reflujos no deseados. Aunque el concepto de bombear líquidos mediante diafragmas flexibles tiene orígenes antiguos, con el uso de pieles de animales o bolsos de cuero, el diseño moderno de este tipo de bomba se atribuye a Robert L. Blackmer, quien patentó una versión en 1906.

Los diafragmas pueden estar fabricados con materiales diferentes, como caucho, neopreno, teflón, Santoprene y Viton, dependiendo del tipo de fluido y las condiciones de trabajo. Estas bombas son altamente versátiles y encuentran aplicación en una amplia variedad de industrias. Entre sus principales ventajas destacan su diseño simple, adaptabilidad a diferentes aplicaciones y capacidad para operar a bajas revoluciones con alto torque, características que las hacen ideales para sistemas que requieren succión de agua desde fuentes naturales [5].

Entre 2005 y 2010, se desarrollaron importantes avances en bombas volumétricas de diafragma a través de la creación de patentes. Estas innovaciones eliminaron el uso de resortes en el eje central de unión de diafragmas e incorporaron válvulas anti retorno esféricas, lo que redujo significativamente las pérdidas de carga. Las bombas son versátiles y se accionan generalmente con gas o aire comprimido, siendo adecuadas para fluidos sensibles a la tensión cortante y en atmósferas potencialmente explosivas. En 2010, se abrió la posibilidad de acceder a nuevos mercados con una nueva división de productos que incluyó bombas de pistón y bombas de diafragma de flujo central, orientadas a la dosificación de fluidos como tintas y productos químicos industriales [6].

La bomba de ariete es un dispositivo que funciona a través del fenómeno del golpe de ariete para bombear agua, permitiendo elevar pequeñas cantidades desde una fuente a mayores alturas. Se considera una opción económica y accesible en comparación con otros métodos de bombeo más costosos y dañinos para el medio ambiente. Un estudio sobre su diseño en una localidad específica destaca su viabilidad, considerando las condiciones topográficas y la calidad del agua, lo que evidencia su efectividad para resolver problemas de abastecimiento en comunidades rurales [7].

3.2. Introducción al sifón autocebante y su funcionamiento

3.2.1. Sifón autocebante

Un sifón autocebante es un dispositivo diseñado para transportar fluidos, concretamente agua, sin necesidad de utilizar equipos auxiliares para cebar y mantener el flujo. Este tipo de sifón funciona según el principio de que puede extraer grandes volúmenes de agua sin consumir energía eléctrica, esto lo hace especialmente útil en situaciones donde no hay energía disponible para las estaciones de bombeo. El sifón de garganta autocebante, en particular, se caracteriza por su capacidad de funcionar sin dispositivos como bombas de vacío o eyectores, lo que simplifica su funcionamiento y reduce los costes operativos [8].

3.2.2. Cavitación en sifones

Es un fenómeno que se produce en los líquidos cuando las variaciones de presión son tan fuertes que el líquido se convierte en vapor, formando burbujas que luego colapsan, liberando energía en forma de ondas de choque. Este proceso está directamente relacionado con los cambios de presión dentro de los sistemas hidráulicos.

La cavitación se produce cuando la presión del líquido en un punto disminuye tanto que alcanza el nivel de la presión de vapor del fluido a la temperatura actual. Esto suele ocurrir en áreas específicas, como estrechamientos en las tuberías, donde la presión disminuye significativamente. En estas condiciones el aire disuelto en el agua se libera formando burbujas de vapor. Cuando estas burbujas recorren hacia zonas de mayor presión dentro del sistema, colapsan de forma violenta generando una liberación de energía que puede dañar las paredes de las tuberías o los componentes de una bomba.

Además de los daños físicos, como la erosión del material, la cavitación también reduce la eficiencia del sistema hidráulico. Por esta razón es importante diseñar los sistemas con cuidado

para evitar caídas de presión excesivas y garantizar condiciones que minimicen la formación de burbujas de vapor [9].

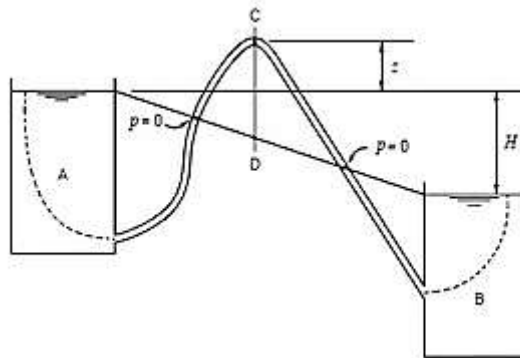


Figura 1. Cavitación en tubería, Sifón [10].

3.2.3. Proceso de succión

En un sifón autocebante, el proceso de succión inicia cuando la bomba genera una diferencia de presión que permite que el agua sea atraída desde la fuente hacia el sistema.

3.2.4. Proceso de descarga

El proceso de descarga se da cuando el agua es expulsada hacia su punto final, guiada por el flujo del sistema y controlada por válvulas que aseguran un movimiento constante.

3.3. Selección y tipos de bombas

El diseño y fabricación iniciará de una bomba de diafragma.

3.3.1. Bomba de ariete

Una bomba de ariete hidráulico es un dispositivo que utiliza un sistema de válvulas diseñado para aprovechar la energía de un flujo de agua. El propósito de esta bomba es elevar una parte de ese flujo a una altura mayor mediante el fenómeno físico conocido como el golpe de ariete. Este tipo de bomba es ecológica y funciona de manera autónoma.

El funcionamiento de esta bomba principalmente se fundamenta en los principios de la mecánica de fluidos. El golpe de ariete se da debido a los cambios de presión en el agua en movimiento ocasionados por el cierre o la apertura repentina de una válvula. Este fenómeno

permite que la bomba convierta la energía de un gran volumen de agua que se encuentra a baja altura en energía de presión, elevando una menor cantidad de agua a una mayor altura [11].

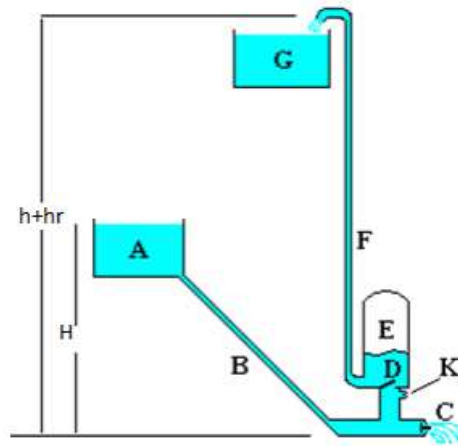


Figura 2. Sistema de bomba de ariete [11].

3.3.2. Bomba de pistón o embolo

Una bomba de pistón o émbolo es un tipo de bomba de desplazamiento positivo que funciona por el movimiento alternativo de un pistón dentro de un cilindro. Este movimiento controlado por válvulas de entrada y salida permite aspirar el fluido y expulsarlo a alta presión. Son reconocidas por su alta eficiencia volumétrica, que puede llegar a estar entre el 95% y el 98%.

Estas bombas son ideales para manejar fluidos con un alto contenido de sólidos, lo que las hace demasiado útiles en aplicaciones como el bombeo de lodos o descargas industriales. Este diseño incluye componentes como un eje de levas, una cámara de compresión y válvulas de aspiración e impulsión.

Las bombas de pistón o émbolo son dispositivos eficientes y versátiles que se utilizan en una amplia variedad de industrias para el transporte de fluidos [12].

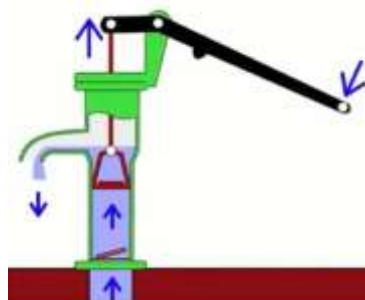


Figura 3. Bomba de pistón [13].

3.3.3. Bomba de diafragma

La bomba de diafragma es un dispositivo que se utiliza para mover líquidos o gases moviendo un diafragma flexible que se mueve hacia adelante y hacia atrás. Este movimiento nos da una diferencia de presión dentro de la cámara de la bomba, lo que permite que el fluido entre y salga por las válvulas de admisión y escape. Estas válvulas garantizan que el fluido fluya en la dirección correcta y evitan reflujos no deseados.

Gracias a su versatilidad, las bombas de diafragma son ampliamente utilizadas en diversas industrias, como la química, petróleo y gas, agricultura, alimentos y bebidas, y tratamiento de aguas [5].

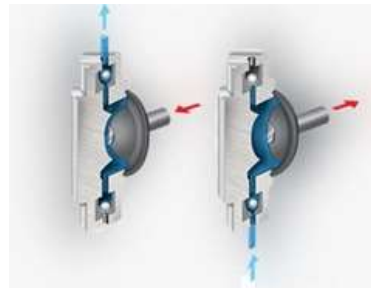


Figura 4. Funcionamiento de la bomba de diafragma [5].

3.3.3.1. Ventajas y desventajas de la bomba de diafragma

Ventajas:

- **Versatilidad para bombear una variedad de fluidos:** los diafragmas flexibles proporcionan una barrera impermeable entre el fluido y las partes internas de la bomba, lo que le permite bombear fluidos sensibles o corrosivos sin riesgo de contaminación.
- **Capacidad de manejo de sólidos y partículas:** por su diseño de diafragma flexible, dichas bombas manejan sólidos y partículas suspendidas en líquidos.
- **Operación en seco:** son capaces de funcionar aun en ausencia del líquido y no necesita un sistema de lubricación adicional. Esta característica es útil en aplicaciones donde la disponibilidad de fluidos es irregular o donde el funcionamiento con carga baja puede estar en riesgo.

- **Autocebado:** posee la capacidad de succionar un líquido sin requerir un cebado inicial. Esto los hace demasiado útiles cuando se debe arrancar la bomba en condiciones de succión o cuando se debe sobrepasar una altura de succión importante.
- **Bajos costos de mantenimiento:** tienen un diseño simple y menos piezas móviles en comparación con otros tipos de bombas. Esto reduce los costos y la necesidad de un mantenimiento regular. Además, el diafragma y la válvula de la bomba de diafragma son piezas de desgaste y se pueden reemplazar fácilmente, lo que prolonga la vida útil de la bomba.

Desventajas:

- **Flujo más bajo:** las bombas de diafragma pueden variar con un flujo menos alto en comparación con otros tipos de bombas.
- **Susceptibilidad al desgaste:** están sujetas a desgaste y fatiga en el diafragma debido a las constantes acciones de repetitividad por el bombeo [14].

3.3.3.2. Partes de la bomba de diafragma

La bomba de diafragma está constituida de varias partes que trabajan en serie para su funcionamiento. Aunque el diseño y la configuración pueden variar según el fabricante y el tipo de bomba, las partes principales incluyen:

1. **Cuerpo de la bomba:** Es el armazón principal que contiene todos los componentes internos y proporciona la base para el funcionamiento de la bomba.
2. **Diafragma:** Es la parte flexible que se estira y se comprime para crear la diferencia de presión necesaria para el bombeo.
3. **Cámara de bombeo:** Espacio donde se produce el movimiento del diafragma y se lleva a cabo el bombeo del fluido.
4. **Válvulas de admisión y escape:** Controlan la entrada y salida del fluido, asegurando que fluya en la dirección deseada y evitando retrocesos no deseados.
5. **Conexiones de succión y descarga:** Tubos o conductos que proporcionan la entrada y salida del fluido de la bomba.
6. **Accionamiento:** Es el mecanismo que permite el movimiento del diafragma que puede ser ya sea manual o automático dependiendo del diseño de la bomba.

Estas partes trabajan en conjunto para garantizar el funcionamiento eficiente de la bomba de diafragma [5].

3.4. Válvulas utilizadas en sistemas de bombeo

3.4.1. Válvula de check o de pie

Una válvula check, o también conocida como válvula de retención, es un dispositivo que no permite el flujo inverso de un fluido. Este actúa de manera automática en respuesta a los cambios de presión para evitar que el flujo se cambie de dirección. La presión del fluido que circula abre la válvula, mientras que el peso del sistema de retención y cualquier cambio en el flujo la cierran.

Existen varios tipos de válvulas check, y la selección depende de factores como la temperatura, la caída de presión que producen y la limpieza del fluido. Entre los tipos de válvulas check se incluyen las de bisagra, disco inclinable, elevación (disco, pistón o bola), de pie y retención horizontal [15].



Figura 5. Válvula de check

3.4.1.1. Funcionamiento de una válvula de check

La válvula check, o válvula de retención, funciona de manera automática para evitar el flujo inverso de un fluido. Su operación se basa en la variación de presión en el sistema.

1. **Apertura:** Cuando la presión del fluido que circula es suficiente, esta presión actúa sobre el mecanismo de la válvula, abriéndola. Esto permite que el fluido se mueva en la dirección deseada.
2. **Cierre:** Si hay una inversión en la presión (por ejemplo, si la presión en el lado opuesto de la válvula se vuelve mayor que la presión del fluido que está fluyendo), el peso del

mecanismo de retención y la presión inversa cierran la válvula. Esto impide que el fluido regrese en la dirección opuesta.

3. **Componentes móviles:** Los discos y otros componentes móviles dentro de la válvula suelen estar en movimiento constante, siempre y cuando que la fuerza de la velocidad del fluido no sea suficiente para mantenerlos en su posición estable de apertura total.

La selección del tipo de válvula check depende de varios factores, como la temperatura del fluido, la caída de presión que produce y la limpieza del fluido [15].

3.4.2. Válvula de bola

La válvula de bola es un tipo de válvula que utiliza una esfera (bola) como elemento de cierre. Esta válvula permite el flujo de líquido a través de ella cuando la bola está alineada con el flujo, y cierra el paso cuando la bola está girada 90 grados. Las válvulas de bola son valoradas por su capacidad para proporcionar un cierre hermético y su facilidad de operación. Además, se menciona que existen diferentes tipos de válvulas de bola, como la válvula de bola multipuerto y la válvula de bola unión verdadera, que ofrecen ventajas específicas en términos de mantenimiento y eficiencia de flujo [16].



Figura 6. Válvula de bola

3.4.2.1. Funcionamiento de una válvula de bola

La válvula de bola realiza dos funciones principales: apertura y cierre del flujo. La bola central dentro de la válvula controla el flujo; cuando la válvula está en posición abierta, el flujo pasa directamente a través de ella sin causar reducción en el flujo ni baja de presión, ya que el diámetro de la bola es igual al diámetro de la tubería a la que está conectada. Esto permite un paso de fluido eficiente y sin obstrucciones.

Además, se menciona que la válvula de bola puede ser operada manualmente o mediante actuadores neumáticos o eléctricos, aunque la válvula de globo es la única que se opera solo manualmente [16].

3.4.3. Válvula antirretorno

Una válvula antirretorno, también conocida como válvula de retención, es un componente mecánico que se utiliza en sistemas industriales para controlar el flujo de fluidos. Tiene una función principal de permitir que el fluido se mantenga en una sola dirección y evitar el retroceso del mismo. Esto es crucial en aplicaciones donde el flujo inverso podría causar daños o fallas en el sistema [17].

3.4.3.1. Tipos de válvula antirretorno

Válvulas de bisagra: Estas válvulas cuentan con un disco unido mediante una bisagra que permanece cerrado gracias a la gravedad o a un contrapeso cuando no hay flujo. Permiten el movimiento

del fluido en una sola dirección y se cierran automáticamente si el flujo se invierte.



Figura 7. Válvula de bisagra

Válvulas de disco oscilante: Funcionan de manera similar a las válvulas de bisagra, pero su diseño incluye características específicas que pueden variar según la aplicación [18].



Figura 8 .Válvula de disco oscilante

Válvulas horizontales o de pistón: Este tipo incluye válvulas de bola y aquellas que emplean discos o bolas con carga de resorte. Están diseñadas específicamente para evitar el flujo en sentido contrario [18].



Figura 9. Válvula de pistón.

Válvulas de retención de disco inclinable: Su diseño minimiza la resistencia al flujo. Consta en una carcasa cilíndrica que contiene un disco pivotante, el cual se separa del asiento con facilidad cuando el flujo lo requiere.



Figura 10. Válvula de retención

Cada tipo de válvula está diseñado para aplicaciones específicas, y su elección depende de factores como la temperatura, la presión y la configuración del sistema de tuberías [18].

3.4.3.2. Funcionamiento de la válvula antirretorno columpio

La válvula antirretorno es un componente importante en los sistemas oleo hidráulicos, diseñada para garantizar que el fluido en este caso el aceite fluya en una sola dirección. Su funcionamiento es bastante simple pero crucial. Permite que el fluido avance hacia el actuador o cualquier otro componente del sistema, mientras que bloquea el flujo en la dirección opuesta. La válvula antirretorno es como un guardián del flujo manteniendo el orden y la eficacia en el mundo de la oleo hidráulica [19].



Figura 11. Válvula antirretorno

3.5. Uso de recurso hídrico en el sector agropecuario

El riego ha sido considerado desde mediados del siglo pasado un elemento estratégico para mejorar la productividad agrícola y garantizar la oferta de alimentos en un contexto de creciente demanda alimentaria a nivel mundial. Esta importancia ha llevado a gobiernos y organismos financieros internacionales a destinar importantes recursos para la creación, ampliación y mejora de la infraestructura de riego. Durante la década de 1980, por ejemplo, el Banco Mundial asignó el 30% de sus préstamos agrícolas a sistemas de riego, invirtiendo varios millones de dólares anuales en proyectos relacionados.

A pesar de estas inversiones, persisten altos niveles de ineficiencia, desperdicio y contaminación del agua destinada al riego. Estos problemas afectan tanto la producción agrícola como el acceso al agua por parte de otros sectores, y la competencia por este recurso ha reducido su disponibilidad para la agricultura. Uno de los retos más grandes es enfrentar la desigualdad en el acceso al agua, especialmente para pequeños productores y mujeres agricultoras, quienes suelen depender exclusivamente del agua de lluvia para sus cultivos.

Se resalta la necesidad de una gestión del agua que involucre a todos los sectores y usuarios. Esto incluye promover programas y proyectos inclusivos que fomenten el desarrollo y la innovación en la gestión del agua agrícola, también se subraya la importancia de fortalecer la coordinación entre los ministerios responsables de la agricultura y la gestión del agua, con el objetivo de desarrollar políticas que impulsen la captación y conservación del agua de lluvia, especialmente en áreas de agricultura de secano.

La innovación también juega un papel fundamental en este esfuerzo, optimizando la gestión del agua, incrementando la productividad agrícola, liberando recursos hídricos para otros usuarios y reduciendo la contaminación ambiental.

Se destaca la necesidad de garantizar un acceso equitativo y universal al agua para todos los productores agrícolas, incluidos pequeños agricultores y comunidades indígenas. Una gestión participativa del recurso hídrico se plantea como clave para asegurar su uso sostenible y justo, consolidando el riego como un pilar central en el desarrollo agrícola sostenible y equitativo [20].

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. Zona de estudio

Se realiza el levantamiento topográfico para obtener la diferencia de altura entre la acequia y el punto más alejado del terreno.

Equipo topográfico RTK

- **Establecimiento de la Estación Base**

Establecer una estación base RTK en una ubicación o terreno de estudio.

- **Uso del Rover**

Se utiliza un receptor móvil, conocido como rover, que se lleva a lo largo de las acequias y áreas de riego. Este rover recopila datos de elevación en diferentes puntos del terreno, lo que es fundamental para analizar las variaciones en la topografía del área.

- **Creación del Perfil Topográfico**

Con los datos recopilados por el rover, se crea un perfil topográfico detallado del área de riego. Este perfil muestra todas las variaciones en la elevación (ΔZ) del terreno.



Figura 12. RTK

4.2. Dimensionamiento del sistema de flujo

4.2.1. Procedimiento para determinar el diámetro de tubería en función del caudal.

Mediante un análisis comparativo de caudal de gravedad, NPSHd y alcance máximo de riego se determinará el diámetro de tubería que se utilizará.

4.2.1.1. Cálculo de caudal de gravedad para el diámetro de la tubería seleccionada.

Determinación del caudal en m^3/h

$$Q' = Q \cdot 3600 \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde:

Q' = caudal volumétrico (m^3/s)

Q = caudal (m^3/h)

Teniendo en cuenta que el caudal está en, m^3/s se le multiplica por 3600 para obtener la conversión de, m^3/h .

Determinación de la velocidad

Para el cálculo de la velocidad del agua se debe tener en cuenta el diámetro de tubería el cual se va a utilizar.

Calculo de velocidad en tuberías

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D} \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

v = velocidad del agua (m/s)

Q = caudal volumétrico (m^3/s)

D = diámetro de la tubería (m)

Determinación de Reynolds

El número de Reynolds es una herramienta importante para entender y predecir el tipo de flujo que se produce en función de la velocidad del fluido, su viscosidad y la longitud característica del sistema.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad \text{ecuación (3)}$$

Donde:

Re = número de Reynolds (adimensional)

v = velocidad del agua (m/s)

D = diámetro de la tubería (m)

ρ = densidad del fluido (Kg/m³)

μ = coeficiente de viscosidad del fluido (Pas)

Debemos tener en cuenta que, una vez calculado el número de Reynolds, se determina si el flujo es nominal o turbulento para lo cual el libro de Mecánica de fluidos de Cengel expone que:

$$Re \leq 2300 \text{ Flujo Laminar}$$

$$2300 \leq Re \leq 4000 \text{ Flujo Transicional}$$

$$Re \geq 4000 \text{ flujo turbulento}$$

Determinación del coeficiente de fricción (λ)

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re_s}} \quad \text{ecuación (4)}$$

Donde:

λ = coeficiente de fricción (adimensional).

Re = número de Reynolds (adimensional)

Determinación de la resistencia de la red

Para determinar la resistencia que existe al paso del flujo del agua

$$R = \left(\sum P + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot D^4} \quad \text{ecuación (5)}$$

Donde:

R = resistencia de la red.

$\sum P$ = sumatoria de las pérdidas.

λ = coeficiente de fricción (adimensional).

L = longitud de succión (m).

D = diámetro de la tubería (m).

g = gravedad (m/s²).

Determinación de la altura

$$H_r = \Delta Z + R * Q^2 \quad \text{ecuación (6)}$$

Donde:

ΔZ = altura del sistema (m)

R = resistencia ($\frac{s^2}{m^5}$)

Q = caudal volumétrico (m³/s).

Determinación de NPSHd

El NPSH es una medida crítica que determina si una bomba recibirá suficiente flujo de líquido sin que se produzca cavitación.

$$NPSH_d = H_{atm} \pm H_s - R_s \cdot Q^2 - H_v \quad \text{ecuación (7)}$$

Donde:

$NPSH_d$ = cabeza de Succión Neta Positiva Disponible.

H_{atm} = altura atmosférica (m).

H_s = altura de succión (m)

R_s = resistencia de la red de succión.

Q = caudal volumétrico (m^3/s).

H_v = altura atmosférica (m)

Descripción de las variables del proceso

Tabla 3. Descripción de variables

Variable	Unidad	Instrumento de Medición
Caudal	m^3/s	Flujómetro
Diferencia de Altura	m	RTK
Diámetro de tubería	m	Calculada

4.3. Selección de materiales para el diseño del sifón

Se considera la geometría del terreno y las características de la acequia para la selección de materiales, accesorios, acoples y codos que se utilizarán en la fabricación del sifón. Con base en estudios previos, se establece que el sifón está compuesto por una tubería y un sistema de válvulas. A partir de las ecuaciones mencionadas, se determina el diámetro de todos los componentes.

4.4. Selección de materiales para el diseño de la bomba cebante

Los materiales deben poseer las siguientes propiedades:

- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia a la erosión.

- Resistencia mecánica.
- Resistencia a la fatiga.
- Resistencia al impacto.
- Fácil mecanizado.
- Durabilidad de mecanizado.
- Fácil soldadura.

El material que es va a seleccionar requiere un equilibrio, ya que ningún material reúne todas las propiedades de manera óptima. Por ello, es necesario priorizar ciertas características según las necesidades del diseño. En el proceso de fabricación se utiliza una combinación de moldeo y maquinado.

4.4.1. Características del acero AISI 1045

Tabla 4. Composición química del acero AISI 1045

C	SI	Mn	P	S
0.43 – 0.5	≤0.4	0.6 – 0.9	≤ 0.035	≤ 0.035

Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero AISI 1045

Resistencia a la Tracción	640 Mpa
Limite elástico	340 Mpa
Reducción de área	40%
Elongación	20%

Tabla 6. Propiedades físicas del acero AISI 1045

Temperatura	20 °C	200 °C	400 °C
Densidad kg/m^2	7870	7820	7750
Expansión térmica ($10^{-6}/^{\circ}C$)	-	12	13.5
Módulo de elasticidad Gpa	195	193	177
Conductividad térmica $W/m \cdot ^{\circ}C$	-	40	41

Tabla 7. Torneado del acero AISI 1045

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (m/min).	150 - 220	220 - 300	50
Avance (mm/r).	0.3 – 0.6	0.3	0.3
Profundidad de corte (mm).	2 - 6	2	2
Mecanizado grupo ISO	P20 – P30 recubierto con carburo	P10 recubierto con carburo o Cermet	-

Tabla 8. Fresado de acabado de acero AISI 1045

Parámetros de corte	Tipo de fresa		
	Metal duro	Insertado metal duro	Acero rápido
Velocidad de corte (m/min).	75	140 - 190	40 ¹⁾
Avance (mm/diente)	0.03 – 0.2 ²⁾	0.08 - 0.2 ²⁾	0.05 - 0.35 ²⁾
Mecanizado Grupo ISO	K10	P10 – P20	-

1) Para fresas de acabado de acero rápido recubierto $V_c = 50$ m/min.

2) Dependiendo del tipo de fresado y diámetro de corte.

Tabla 9. Fresado frontal y axial

Parámetros de corte	Fresado con metal duro		Fresado con HSS
	Fresado de desbaste	Fresado en fino	Fresado fino
Velocidad de corte (m/min).	160 - 200	200 - 300	35
Avance (mm/diente)	0.2 - 0.4	0.1 – 0.2	0.1
Profundidad de corte (mm)	2 - 5	2	2
Mecanizado Grupo ISO	P20, P40 Carburo revestido	P10, P20 Carburo revestido	-

Tabla 10. Taladrado con broca de acero rápido

Diámetro de la broca (mm)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (Mm/r)
5	25*	0.08 – 0.2
5 – 10	25*	0.2 – 0.3
10 – 15	25*	0.3 – 0.35
15 - 20	25*	0.35 – 0.40

Tabla 11. Taladrado con brocas de carburo

Parámetros de corte	Tipo de broca		
	Metal duro insertado	Metal duro solido	Taladro con canales de refrigeración ¹⁾
Velocidad de corte (m/min)	175 - 225	85	75
Avance (mm/r)	0.05 – 0.25 ²⁾	0.10 - 0.25 ²⁾	0.15- 0.25 ²⁾

1) Brocas con canales de refrigeración interna y plaquita de metal duro.

2) Dependiendo del diámetro de la broca.

4.4.2. Características del acero AISI 4110

Tabla 12. Composición química del acero AISI 4110

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.38 – 0.43	≤0.4	0.75 - 1	≤0.035	≤0.04	0.8 – 1.1	0.15 – 0.25

Tabla 13. Propiedades mecánicas del acero AISI 410

Diámetro (mm)	Limite elástico min.N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Elongación % A min.	Tenacidad (ISO-V) J min.
≤16	900	1000 – 1300	10	30
>16 ≤ 40	750	1000 – 1200	11	35
>40 ≤ 100	650	900 – 1100	12	35
>100 ≤ 160	550	800 – 950	13	35
>160 ≤ 250	500	750 – 900	14	35
> 250 ≤ 500	460	690 – 840	15	38

>500≤750	390	590 – 740	16	38
----------	-----	-----------	----	----

Tabla 14. Propiedades del acero AISI 4110

Densidad	7833 Kg/m ³
Gravedad específica	7.83
Módulo de elasticidad	200 Gpa

Temperatura °C	W/m·°K
100	42.7
200	42.3
300	3.7

Tabla 15. Torneado del acero AISI 4110

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (m/min)	90 – 160	100 - 160	12 – 20
Avance (mm/r)	0.3 – 0.6	0.1 – 0.2	0.05 – 0.1
Profundidad de corte (mm)	2 - 6	2	2
Mecanizado Grupo ISO	P40 recubierto con TiAlN	P25	-

Tabla 16. Fresado del acero AISI 4110

Parámetros de corte	Tipo de fresa		
	Metal duro integral	Insertado metal duro	Acero rápido
Velocidad de corte (m/min).	50	100 – 150	17 ¹⁾
Avance (mm/diente)	0.03 - 0.2 ²⁾	0.08 - 0.2 ²⁾	0.05 - 0.35 ²⁾
Mecanizado Grupo ISO	K10, P40	P20 – P40	-

- 1) Para fresas y acabado de acero rápido recubierto $V_c = 24$ m/min.
- 2) Dependiendo del tipo de fresado y diámetro de corte.

Tabla 17. Fresado frontal y axial

Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado en fino
Velocidad de corte (m/min).	80 - 110	110 – 130
Avance (mm/diente)	0.2 – 0.4	0.1 – 0.2
Profundidad de corte (mm)	2 - 5	2
Mecanizado Grupo ISO	P20, P40 Carburo revestido	P10, P20 carburo revestido o Cermet

Tabla 18. Taladrado con broca de acero rápido

Diámetro de la broca (mm)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/r)
5	15*	0.08 – 0.15
5 – 10	15*	0.15 – 0.25
10 – 15	15*	0.25 – 0.30
15 - 20	15*	0.30 – 0.35

Tabla 19. Taladrado de broca de metal duro

Parámetros de corte	Tipo de broca		
	Metal duro insertado	Metal duro sólido	Taladro con canales de refrigeración ¹⁾
Velocidad de corte (m/min).	130 – 180	55	45
Avance (mm/r)	0.05 – 0.25 ²⁾	0.10 - 0.25 ²⁾	0.15- 0.35 ²⁾

Tabla 20. Tabla comparativa de materiales

CRITERIO	AISI 1045	AISI 4110
Maquinabilidad	Buena, fácil de torneary fresar	Baja, desgaste rápido de herramientas

Soldabilidad	Buena, requiere precalentamiento en piezas gruesas	Baja, propenso a agrietarse
Resistencia mecánica	Media-alta, suficiente para aplicaciones estructurales	Alta, ideal para aplicaciones exigentes
Dureza y resistencia al desgaste	Moderada, mejora con tratamiento térmico	Alta, ideal para cuchillas y herramientas
Tenacidad (Resistencia a impactos)	Alta, absorbe golpes sin fracturarse	Baja-moderada, más frágil
Costo	Mas económico (\$2-3/kg)	Mas costoso (\$4-6/kg)

4.5. Selección de materiales para el diseño del sistema de palanca con articulación

Para la fabricación de la palanca, se seleccionará un material que cumpla con características específicas, basándose en las propiedades descritas en el apartado anterior. Su análisis estructural se realizará mediante un software de cálculo de vigas, lo que permitirá evaluar su comportamiento bajo carga y determinar su longitud óptima considerando las condiciones de apoyo y articulación. Además, se calcularán los grados de libertad mediante análisis analíticos para garantizar un diseño funcional.

4.5.1 Software de simulación para la palanca

SkyCiv es un software de ingeniería estructural que permitirá realizar análisis y diseño estructural de manera eficiente de la palanca con articulación. SkyCiv permite calcular el momento flector y el momento cortante. Estos cálculos son indispensables para asegurar que las estructuras sean seguras bajo diversas cargas.

4.5.2. Grados de libertad

Los grados de libertad no son más que el número mínimo de parámetros independientes necesarios para describir completamente el movimiento de un sistema. Esto indica cuántas formas distintas tiene un cuerpo para moverse en el espacio sin restricciones externas.

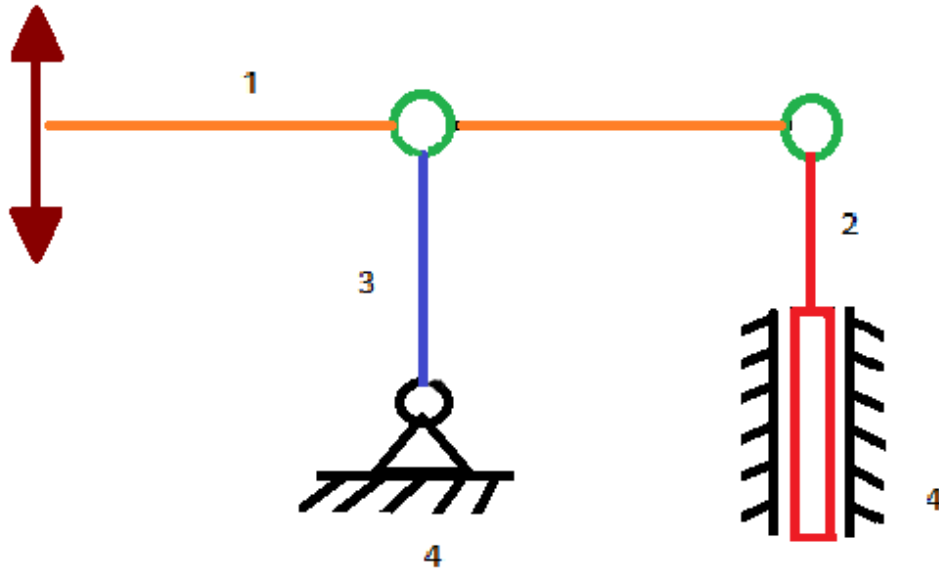


Figura 13. Diagrama de cuerpo libre

La fórmula de Gröbler es clave para analizar si un mecanismo tiene movimiento, si está sin movimiento o con movimientos no controlados.

$$M = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2 \quad \text{ecuación (8)}$$

Donde:

M = número de grados de libertad (movilidad)

n = número de eslabones

j_1 = número de juntas

j_2 = número de restricciones impuestas por los apoyos

4.6. Software de simulación

Un software CAD permitirá diseñar los planos de la bomba y realizar el análisis de tensión según Von Mises para evaluar materiales dúctiles y evitar deformación plástica, permitirá estudiar desplazamientos y calcular el factor de seguridad.

4.7. Determinación del caudal de la bomba.

$$Q = \frac{v \cdot \pi \cdot d^2}{4} \quad \text{ecuación (9)}$$

Donde:

Q = caudal (m^3/s)

v = velocidad del vástago (m/s)

d = diámetro de la rodela (m)

4.8. Determinación del caudal de la bomba con el flujómetro

Para evaluar el rendimiento del sifón autocebante, se realizará la medición del caudal utilizando un flujómetro ultrasónico PCE-TDS Series.



Figura 14. Flujómetro

- **Calibración del Flujómetro**

Se configurará el flujómetro PCE-TDS Series asegurando que las unidades de medición sean adecuadas para el flujo esperado en la tubería de PVC. Además, se verificará que los sensores estén correctamente alineados para obtener mediciones precisas.

- **Instalación en la Tubería de PVC**

El flujómetro se colocará externamente sobre la tubería, siguiendo las especificaciones del fabricante para garantizar una correcta detección del flujo. Se revisará que la superficie de contacto entre los sensores y la tubería esté limpia y libre de obstrucciones.

- **Toma de Datos**

Con el sistema en operación, se registrarán los valores de caudal obtenidos por el flujómetro. Se realizarán mediciones en diferentes intervalos de tiempo para analizar la estabilidad y variabilidad del flujo en el sifón autocebante.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Zona de estudio

Mediante el estudio realizado correspondiente a la topografía de la acequia se obtiene como resultado la diferencia de altura en relación al punto de la captación de agua con respecto al punto más alejado del terreno, el cual podemos evidenciar en el Anexo 1.



Figura 15. Zona de estudio

5.2. Dimensionamiento del sistema de flujo

5.2.1. Procedimiento para determinar el diámetro de la tubería en función del caudal.

Para el estudio se tomaron en cuenta tres tipos de diámetros de tubería, de 2", 3" y 4" donde se puede apreciar el caudal de gravedad.

- **Tubería de 2"**

En una tubería de 2" se obtiene como caudal de gravedad $2.45 \text{ m}^3/\text{h}$ como se aprecia en la figura 14.

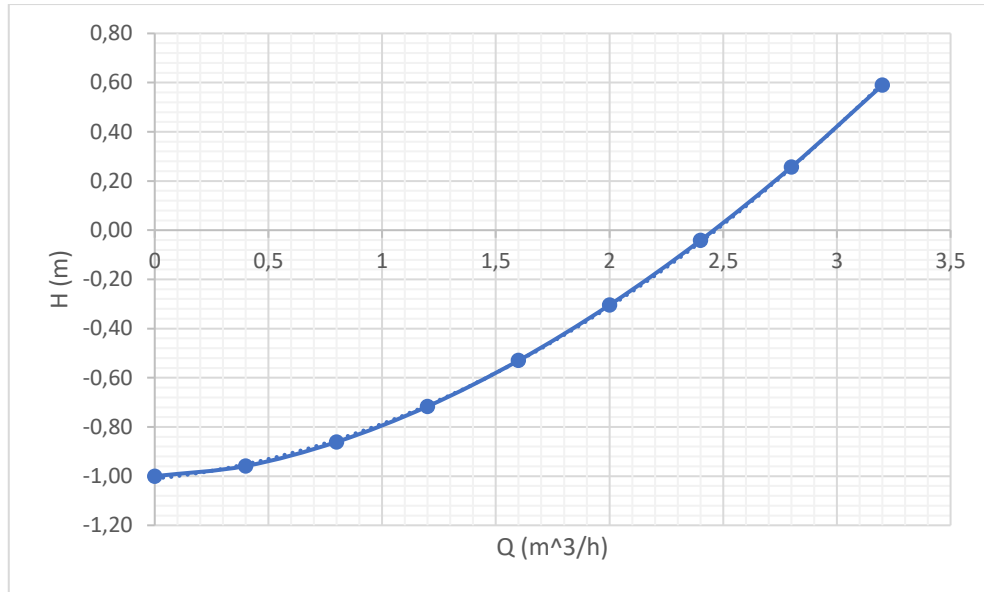


Figura 16. Caudal de gravedad

- **Tubería de 3”**

En una tubería de 3” se obtiene como caudal de gravedad $7.3 \text{ m}^3/\text{h}$ como se aprecia en la figura 15.

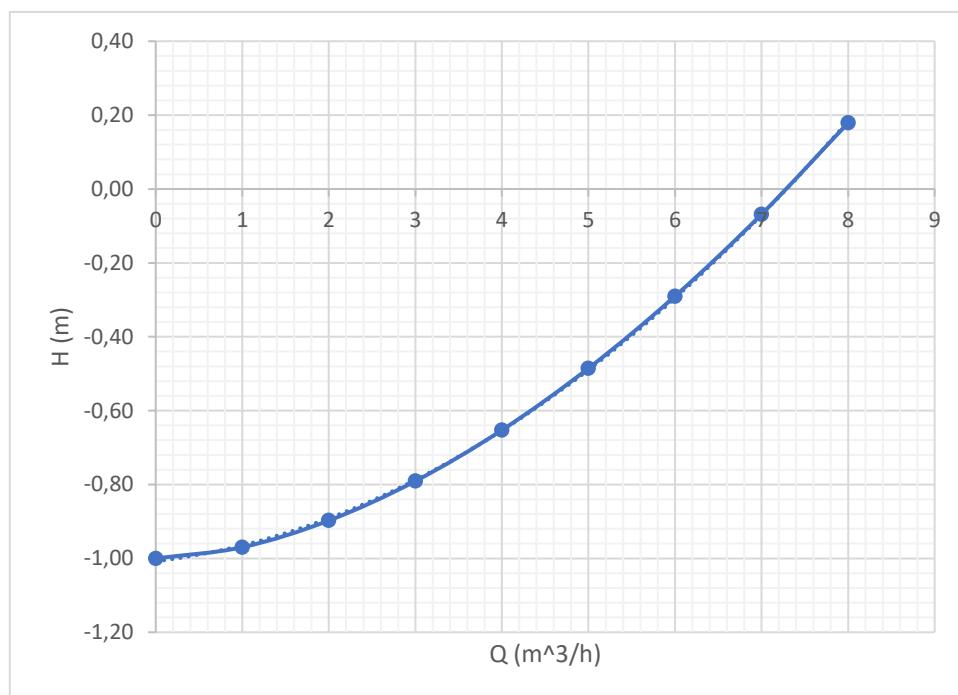


Figura 17. Caudal de gravedad

- **Tubería de 4”**

En una tubería de 4" se obtiene como caudal de gravedad $15.2 \text{ m}^3/\text{h}$ como se aprecia en la figura 16.

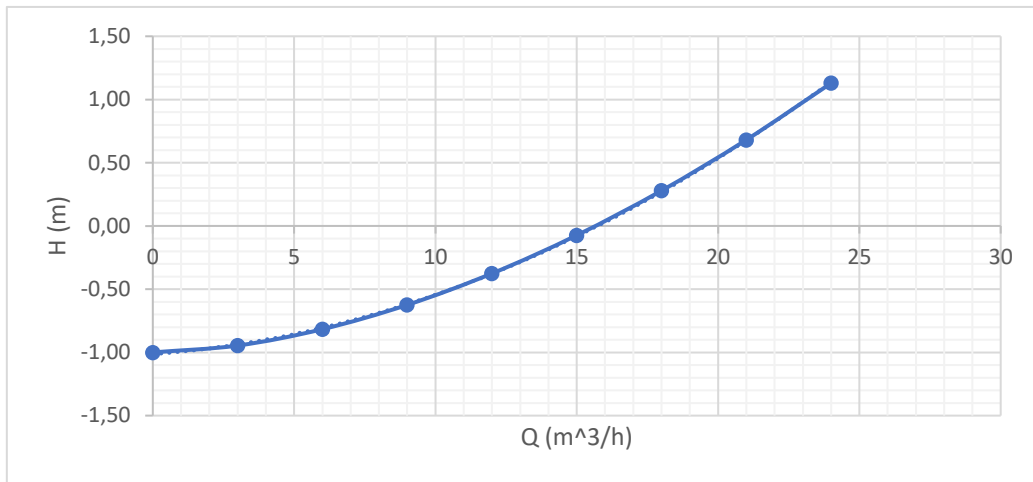


Figura 18. Caudal de gravedad

Cabeza de succión neta disponible

Para el estudio se tomaron en cuenta tres tipos de diámetros de tubería, de 2", 3" y 4" donde se puede apreciar la cabeza de succión neta disponible.

- **Tubería de 2"**

En relación con la cavitación, si el NPSH de succión es mayor a la altura atmosférica inicia el proceso de cavitación, pero en este caso como podemos observar en la figura 17 se demuestra que no existirá cavitación

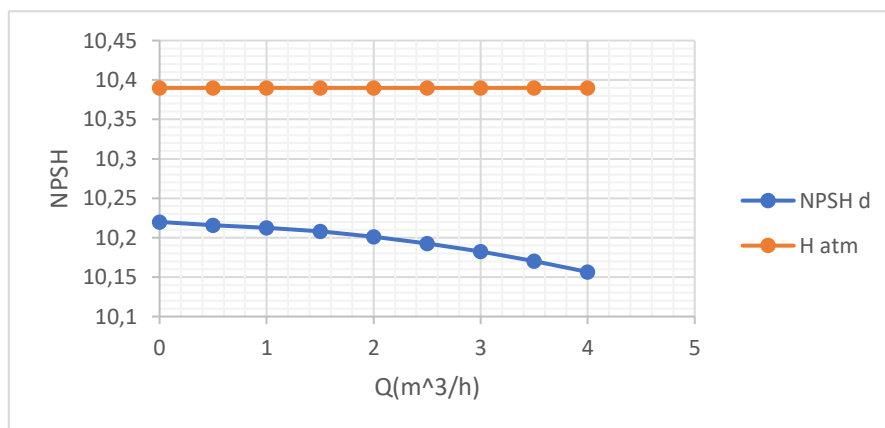


Figura 19. Proceso de cavitación

- **Tubería de 3"**

En relación con la cavitación, si el NPSH de succión es mayor a la altura atmosférica inicia el proceso de cavitación, pero en este caso como podemos observar en la figura 18 se demuestra que no existirá cavitación.

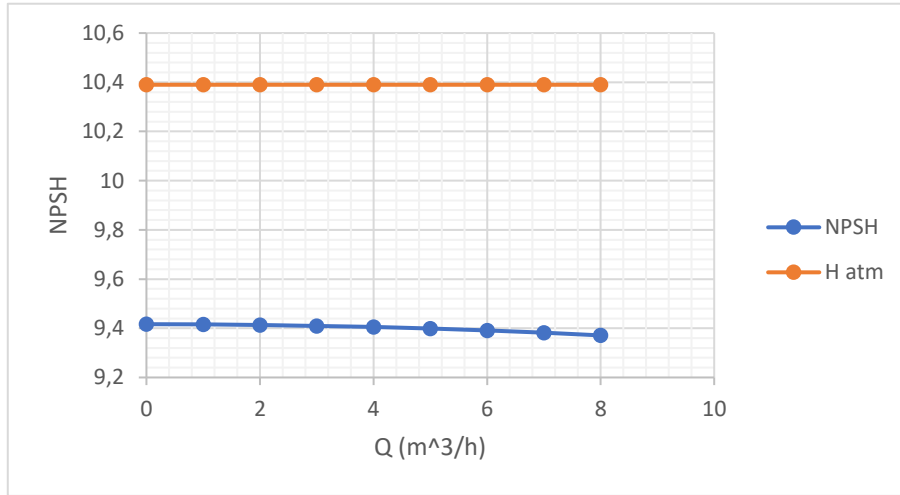


Figura 20. Proceso de cavitación

- **Tubería de 4”**

En relación con la cavitación, si el NPSH de succión es mayor a la altura atmosférica inicia el proceso de cavitación, pero en este caso como podemos observar en la figura 19 se demuestra que no existirá cavitación.

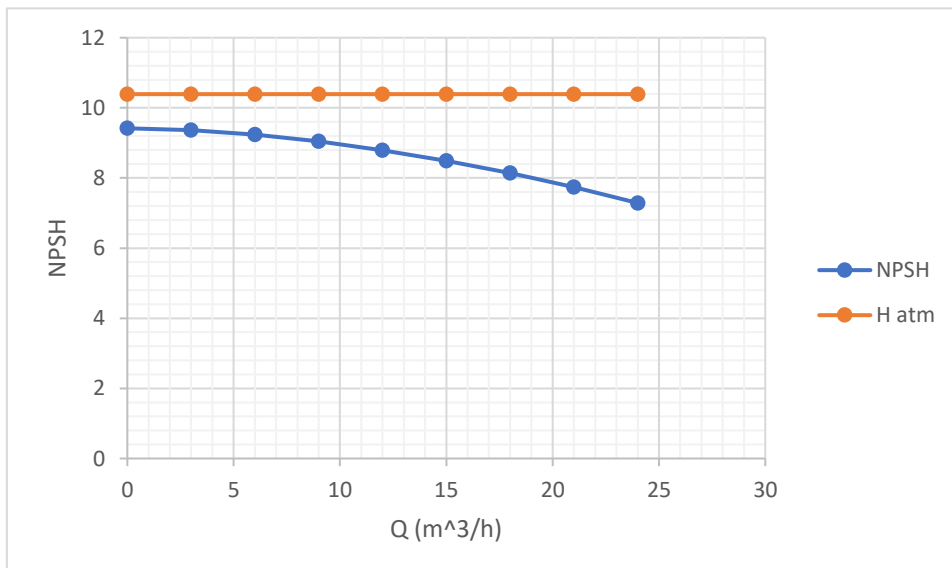


Figura 21. Proceso de cavitación

Alcance máximo de riego

Para el estudio se tomaron en cuenta tres tipos de diámetros de tubería, de 2", 3" y 4" donde se puede evidenciar el alcance máximo de riego.

- **Tubería de 2"**

Dado que los terrenos presentan características variables, el alcance de riego no será el mismo en todos los casos. Como se muestra en la figura 20, cuando la longitud de riego alcanza los 3000 m, el caudal por gravedad deja de ser suficiente, impidiendo el flujo de agua y, en consecuencia, el riego.

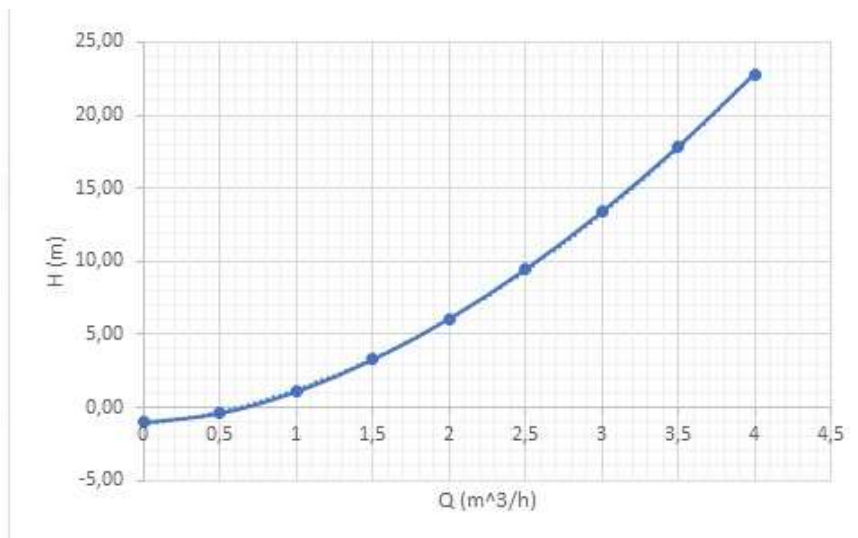


Figura 22. Caudal de gravedad

- **Tubería de 3"**

Dado que los terrenos presentan características variables, el alcance de riego no será el mismo en todos los casos. Como se muestra en la figura 21, cuando la longitud de riego alcanza los 7000 m, el caudal por gravedad disminuye significativamente, limitando el flujo de agua y, en consecuencia, el riego.

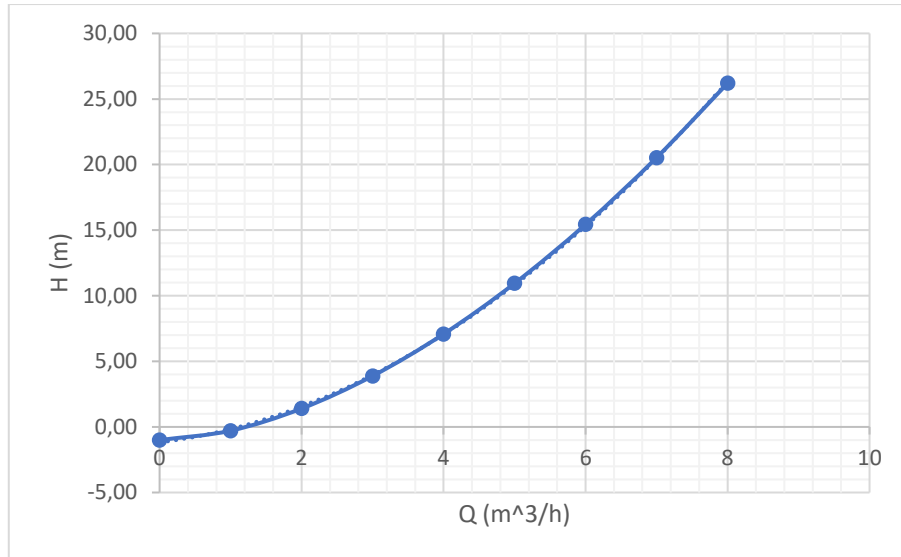


Figura 23. Caudal de gravedad

- **Tubería de 4”**

Dado que los terrenos presentan características variables, el alcance de riego no será el mismo en todos los casos. Como se muestra en la figura 22, cuando la longitud de riego alcanza los 10000 m, el caudal por gravedad disminuye significativamente.

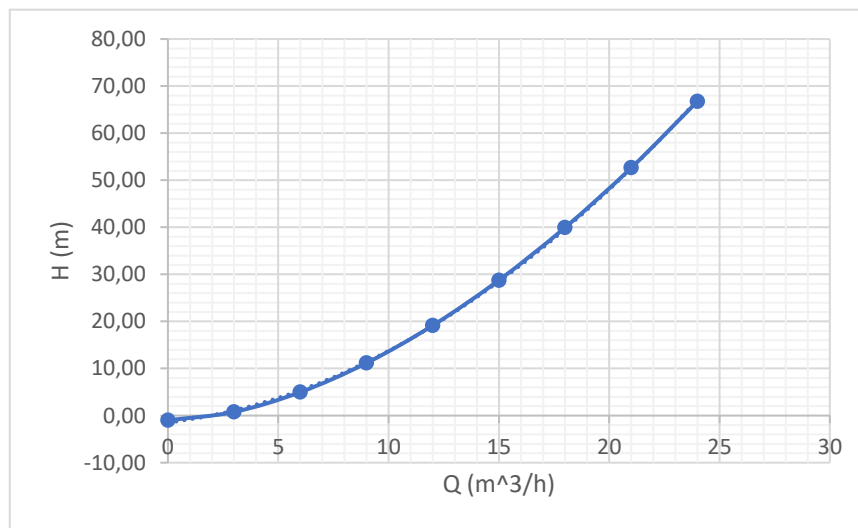


Figura 24. Caudal de gravedad

Tras evaluar los tres sistemas propuestos, se ha seleccionado la tubería de 3 pulgadas, ya que representa un equilibrio entre costo y rendimiento hidráulico. Esta opción se encuentra en un punto intermedio entre las tuberías de 2, 3 y 4 pulgadas, permitiendo optimizar la inversión sin comprometer la eficiencia del sistema. Además, con un caudal de gravedad de 7.3 m³/h, garantiza un suministro de agua adecuado para satisfacer las necesidades del riego, cabe recalcar que los tres sistemas funcionan correctamente.

5.2.1.1. Cálculo del caudal de gravedad para el diámetro de tubería seleccionada.

Tabla 21. Determinación del caudal en m^3/h

Ecuación	Dato	Unidad	Resultado
(1)	Caudal	m^3/h	0.00020278

Tabla 22. Determinación de la velocidad en tubería

Ecuación	Dato	Unidad	Resultado
(2)	Velocidad	m/s	0.4448778

Tabla 23. Determinación de Reynolds

Ecuación	Dato	Unidad	Resultado
(3)	Reynolds	adimensional	25892,931

Tabla 24. Determinación del coeficiente de fricción

Ecuación	Dato	Unidad	Resultado
(4)	Landa	adimensional	0.0249426

Tabla 25. Determinación de la resistencia de la red

Ecuación	Dato	Unidad	Resultado
(5)	Resistencia	s^2/m^5	243960.48

Tabla 26. Determinación de la altura

Ecuación	Dato	Unidad	Resultado
(6)	Altura	m	0

Tabla 27. Determinación de NPSHd

Ecuación	Dato	Unidad	Resultado
(7)	Cavitación	m	9.3786136

Tabla 28. Variables de proceso

Variable	Unidad	Instrumento de Medición	Resultado
Caudal	m^3/s	Flujómetro	
Diferencia de altura	m	RTK	-1
Diámetro de tubería	Pulgadas	Calculada	3"

5.3. Selección de materiales para la fabricación del sifón

Para la fabricación del sifón, se considerarán factores clave como la altura de la acequia y el nivel del terreno, estudios utilizando topográficos para garantizar un diseño adecuado y funcional. En cuanto a los materiales, se emplearon tuberías de PVC para desagüe debido a su resistencia y durabilidad. Los componentes principales del sifón incluyen:

- Una válvula de pie de 2 pulgadas. En la cual se quita el resorte interno de la válvula.



Figura 25. Válvula de pie

- Tubo de PVC de 3 pulgadas.



Figura 26. Tubo PVC 3"

- Una T de 3 pulgadas.



Figura 27. T de PVC de 3"

- Un codo de 90° y dos codos de 45°.



Figura 28. Codo de 90°



Figura 29. Codo de 45°

- Una válvula de bola de 2 pulgadas.



Figura 30. Válvula de bola

- Reducciones de 3 a 2 pulgadas donde fuera necesario.



Figura 31. Reducción de 3" a 2"

Para unir todos estos elementos, se utilizó el pegamento WELD-ON, conocido por su excelente capacidad de adhesión, que asegura un sellado fuerte y confiable entre las piezas, incluso en condiciones de alta presión o humedad. Este pegamento garantiza que las conexiones sean duraderas y sin riesgo de desprendimientos.



Figura 32. Pegamento WELD-ON

Es fundamental asegurarse de que toda la tubería esté correctamente sellada para evitar fugas de aire, ya que cualquier fuga comprometería la funcionalidad del sifón. La precisión en las uniones y el uso de materiales de calidad son esenciales para garantizar el buen desempeño del sistema diseñado.

Este sifón está diseñado y dimensionado conforme a las características del terreno de prueba, asegurando una adaptación óptima a sus condiciones topográficas y operativas. Su configuración permite un funcionamiento eficiente, maximizando el caudal y garantizando un desempeño adecuado en el proceso de captación de agua.



Figura 33. Sifón

5.4. Selección de materiales para el diseño de la bomba cebante.

La selección de la bomba toma en cuenta el diámetro de la tubería, que en este caso es de 3 pulgadas. Se elige un pulmón de freno debido a que incorpora su propio diafragma y un eje de accionamiento, además de estar fabricado en acero AISI 1045, el cual cumple con la mayoría de las propiedades requeridas para el diseño. A su vez, su bajo costo lo convierte en una opción viable.

Modificación del Pulmón de Freno:

Se retiró el resorte interno del pulmón de freno con el objetivo de reducir la resistencia al movimiento del diafragma. Esto permite que la fuerza requerida para su accionamiento sea menor, facilitando el proceso de bombeo.



Figura 34. Resorte

Fabricación de componentes adicionales:

Se mecanizan dos rodela que constan con un diámetro de 12 mm y un espesor de 0,4 mm, en función al diafragma que se posee. Estas rodela tienen la función de mejorar la distribución de la fuerza sobre el diafragma, asegurando su movimiento completo y uniforme en lugar de un desplazamiento parcial.



Figura 35. Rodelas

Implementación de válvulas

Para asegurar un flujo adecuado del fluido, se incorpora una válvula check antirretorno tipo columpio, para evitar que el aire del exterior entre en el sistema. Además, se agrega una válvula de salida (grifo), esta válvula permite identificar cuándo el sifón está completamente lleno y listo para operar.



Figura 36. Implementación de válvulas

Implementación del Sistema de Deslizamiento:

Se aprovecha el vástago original del pulmón de freno para diseñar un mecanismo de deslizamiento, al cual se incorpora una palanca de accionamiento, esta palanca permite el control manual del movimiento del diafragma, generando así el efecto de bombeo deseado.



Figura 37. Sistema de deslizamiento

Con estas modificaciones, el sistema es capaz de operar en la acequia, reduciendo el proceso de cebado de la bomba mediante un mecanismo de accionamiento manual y reduciendo el esfuerzo necesario para su funcionamiento.

Placa inferior tipo acople.

Para la unión entre la bomba autocebante y el sifón, se fabricó una placa inferior tipo acople con forma ovalada, utilizando el mismo acero mencionado anteriormente. Este acople cuenta con un empaque en la unión con la bomba y tiene un espesor de 0.5 mm. Además, posee un

orificio de 3 pulgadas de diámetro, coincidiendo con la medida del sifón, es ajustable en los tornillos que por fabricación vienen en la carcasa del pulmón de freno.



Figura 38. Placa inferior tipo acople.

5.5. Selección de materiales para el diseño del sistema de palanca con articulación

Para iniciar, se realizó el plano general del sistema en el software SolidWorks, tal como se presenta en la figura 37.

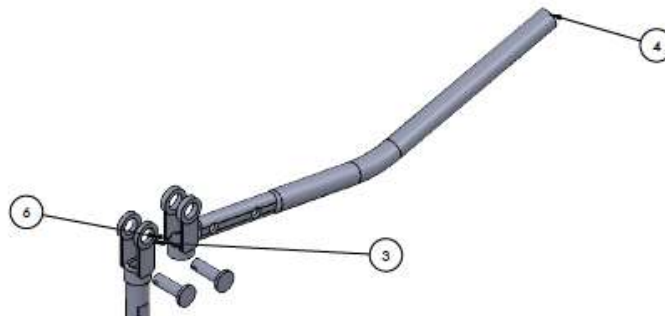


Figura 39. Diseño general de la palanca con articulación

Las diferentes piezas necesarias para poner en funcionamiento el sistema son:

- Palanca
- Pasadores
- Kit de yugo Haldex KN36470

Mecanizado de la palanca.

El diseño del mecanismo de la palanca se llevó a cabo utilizando materiales cuidadosamente seleccionados para garantizar su funcionalidad y durabilidad. Para el balancín, se utilizó un cilindro de acero AISI-SAE 1018 con un diámetro exterior de 25 mm y un espesor de 0,5 mm,

mientras que la palanca de accionamiento se fabricó con un tubo de acero de 22 mm de diámetro y 0,36 mm de espesor.

Con el fin de ensamblar ambos componentes, la palanca fue perforada en dos puntos específicos, permitiendo la incorporación de pasadores que de manera firme la palanca con el balancín. Este diseño no solo asegura una operación fluida, sino también una estructura sólida y resistente, gracias a las propiedades mecánicas del acero empleado.

El mecanismo está diseñado para ofrecer un desempeño confiable combinando precisión y calidad en los materiales.



Figura 40. Mecanizado de la palanca

Pasadores

Los pasadores son elementos mecánicos que se utilizan para ensamblar, alinear o posicionar piezas de forma precisa y segura. Generalmente tienen forma cilíndrica y se insertan en orificios perforados en las piezas a unir.

En nuestro caso específico utilizaremos pasadores cilíndricos, los cuales son ideales para garantizar una conexión estable y precisa en el mecanismo diseñado. Su instalación se realiza mediante presión o golpe y son muy utilizados por su sencillez, resistencia y capacidad para soportar cargas en diversos mecanismos y máquinas.



Figura 41. Pasadores

Durante el montaje se identifican algunas deficiencias, como el diámetro insuficiente de las rodela que acompañan al diafragma. Esto generaba una distribución desigual de la fuerza sobre el diafragma, afectando su desempeño. Para corregir este problema las rodela se reemplazan por otros de mayor diámetro, asegurando una distribución uniforme de la fuerza.

Además, se verifica que el ajuste de las tuercas debe realizarse de manera precisa para evitar fugas de aire, ya que estas pueden comprometer el correcto funcionamiento del sistema de cebado. Otra observación importante fue que, durante el proceso de pintura del prototipo se detectó una fuga de aire en la zona del sistema deslizante de la palanca.

Curiosamente, esta fuga favorecía a la reducción del esfuerzo necesario para accionar la palanca y facilitar la succión. Sin embargo, al aplicar la pintura la fuga desapareció, afectando el funcionamiento. Para solucionar este inconveniente, se perforó la parte superior de la carcasa del pulmón de freno teniendo en cuenta que el diafragma este abajo.

Equipos empleados para la fabricación de la bomba.

Tabla 29. Equipos empleados

Equipo	Utilidad
Prensa Hidráulica	Ajuste de carcasa
Llave de tubo	Ajuste de tuercas de distintas piezas
Llaves mecánicas	Ajuste de tuercas de distintas piezas

Soldadura	Soldadura SMAW para el balancín con el yugo haldex, también se ocupó para la unión de la válvula antirretorno con la carcasa inferior del pulmón de freno.
Torno	Desbaste del eje para el sistema de deslizamiento de la palanca, desbaste de las rodela.
Taladro vertical	Perforación en la carcasa superior del pulmón de freno, en la palanca se realizó dos perforaciones para unir con los pasadores, en la parte de las rodela se realizó la perforación con una broca de 12mm en el centro.
Fresadora	Perforación de la placa tipo acople en la parte que entra los tornillos que viene en la carcasa del pulmón de freno.

5.5.1. Simulación de palanca con articulación

El análisis consta en la aplicación de una fuerza externa de 0.6 kN equivalente a la fuerza que alcanza una persona promedio utilizando ambas manos) en el extremo de la palanca para generar el movimiento del vástago, el cual acciona un diafragma que permite la succión o compresión del fluido. A través del análisis de momentos flectores y fuerzas cortantes, se determina el impacto de la carga aplicada sobre la estructura, garantizando un diseño eficiente y funcional como se observa en la figura 41.

SkyCiv

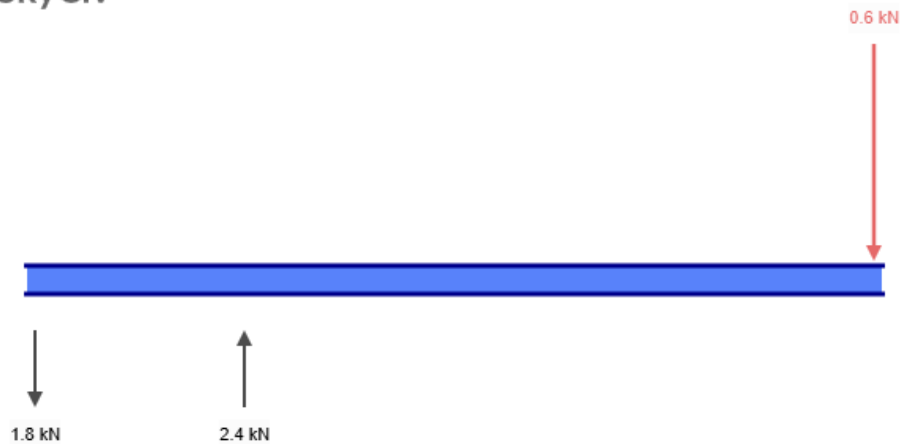


Figura 42. Viga simulada en el software

El momento flector describe la tendencia de la palanca a doblarse debido a la aplicación de cargas. En este caso, el momento varía desde 0 kN.m en el inicio de la viga hasta un valor máximo de -0.18 kN.m en el tramo final. Esto demuestra que la mayor flexión se produce en el punto donde se transmite la carga al vástago, lo que debe considerarse para la selección del material y el diseño estructural como se observa en la figura 42.

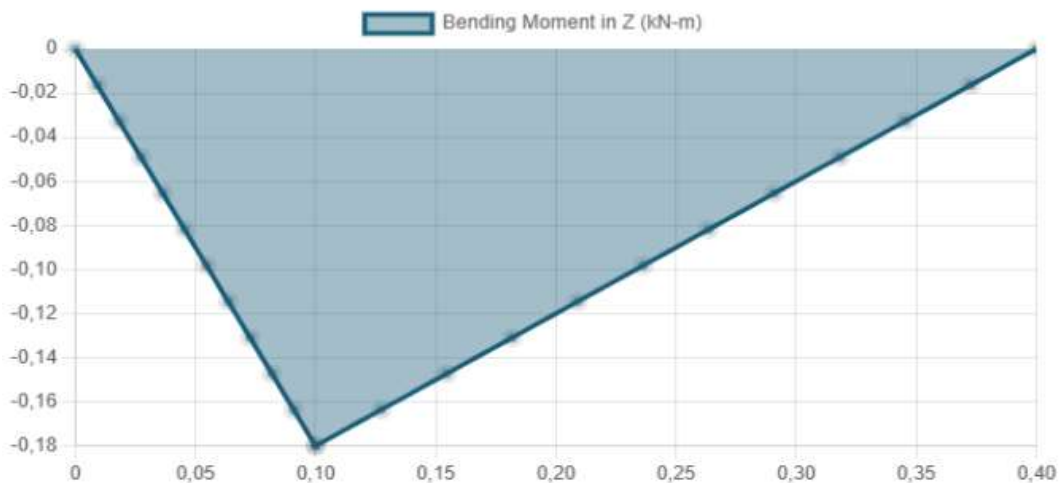


Figura 43. Diagrama de momento flector

La fuerza cortante representa la magnitud de la carga que tiende a provocar un desplazamiento transversal en la palanca. En este análisis, el diagrama muestra un valor máximo de 0.5 kN en el extremo inicial de la viga y un mínimo de -1.8 kN en el tramo final, lo que indica la reacción de los apoyos ante la carga aplicada como se observa en la figura 43.

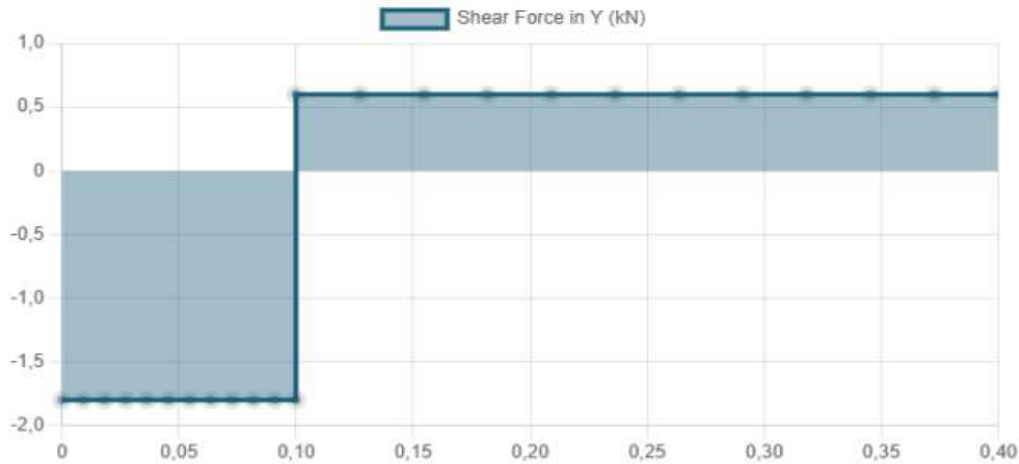


Figura 44. Diagrama de fuerza cortante

Estos resultados confirman la efectividad del diseño de la palanca, donde las reacciones en los puntos de apoyo y el momento flector generado son adecuadas para lograr el movimiento necesario del vástago y el diafragma en el sistema de sifón autocebante.

Si se invierte la dirección de la palanca, esta pasará de realizar la función de succión a la de compresión. Esto ocurre porque el momento flector generado por la fuerza cambia de dirección, alterando el movimiento del vástago en lugar de ser atraído hacia abajo realizando la función de succión ahora será empujado hacia arriba realizando la función de compresión. Aunque la magnitud de las reacciones y momentos no cambia, su signo sí lo hace, ya que las fuerzas actúan en sentido contrario. Este cambio en la dirección de la fuerza no afecta la capacidad estructural de la palanca, pero sí modifica la naturaleza del movimiento y la función del sistema.

5.5.2. Grados de libertad

El mecanismo de palanca posee un grado de libertad igual a 1, lo que significa que su movimiento está completamente determinado por una única entrada de fuerza. Este grado de libertad permite que la palanca oscile en un solo eje, realizando un movimiento ascendente y descendente necesario para la succión y compresión dentro del sistema de sifón autocebante.

Tabla 30. Grados libertad

Ecuación	Dato	Unidad	Resultado
(8)	Grados de libertad	adimensional	2

5.6. Simulación de elementos

Análisis de tensión (Von Mises)

El análisis de tensiones se llevó a cabo utilizando un enfoque mecánico basado en el criterio de Von Mises, conocido como criterio de máxima energía de distorsión.

Este método se utiliza para evaluar materiales dúctiles y determinar si permanecerán dentro del rango elástico, evitando la deformación plástica. Para ello, se compara la cantidad de energía de distorsión por unidad de volumen en un punto con la correspondiente al límite de fluencia del material, obtenida a partir de ensayos de tracción. En las siguientes gráficas se muestra el análisis de Von Mises aplicado a cada componente de la bomba sometida a fuerzas o presión.

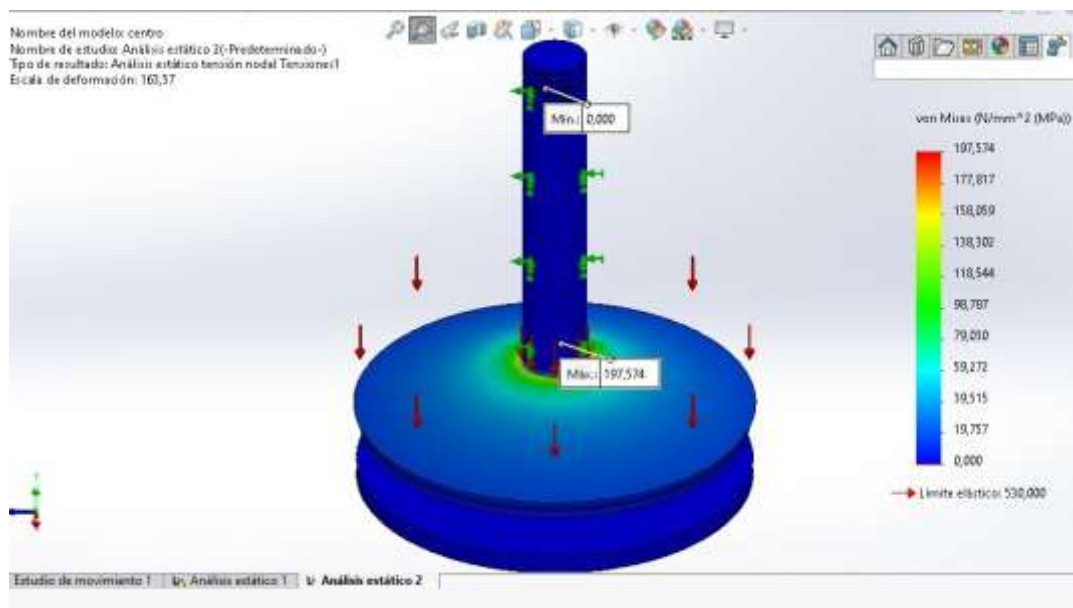


Figura 45. Análisis de Von Mises de parte centro

El análisis del campo de tensiones de von Mises muestra que el diseño del modelo "centro" es estructuralmente sólido, con valores de tensión que se mantienen muy por debajo del límite elástico del material. Esto indica que el diseño cuenta con un buen margen de seguridad y puede soportar adecuadamente las cargas aplicadas.

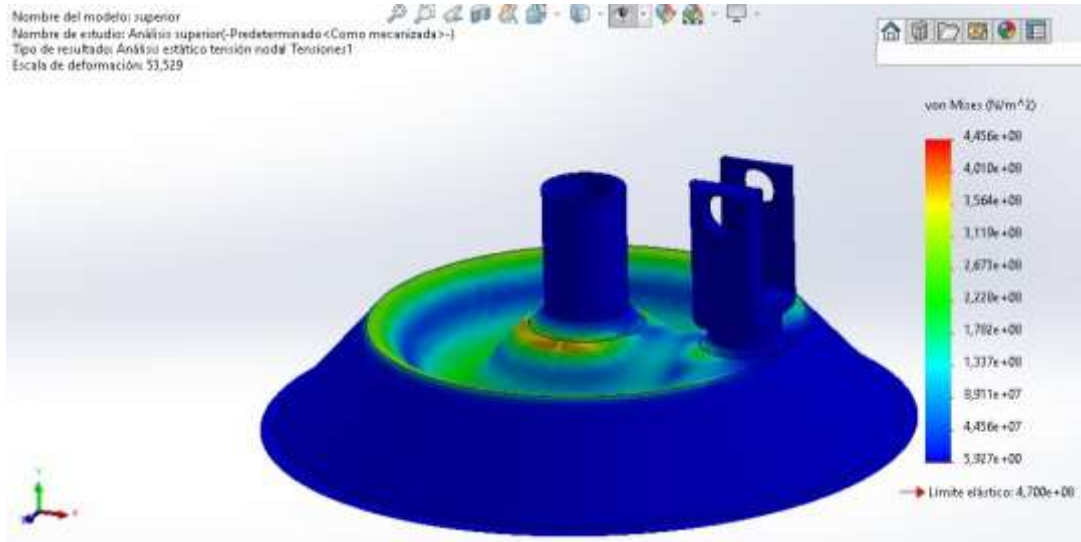


Figura 46. Análisis de Von Mises de la parte superior

La figura 45 presenta un mapa de colores que indica los valores de tensión de Von Mises en la pieza. Los colores van desde el azul (menor tensión) hasta el rojo (mayor tensión). Los valores máximos de tensión de Von Mises alcanzan los 445.6 MPa, lo que se muestra en las zonas de color rojo. Por otro lado, las zonas de color azul presentan los valores mínimos de tensión, alrededor de 5.927e-06 MPa. Además, se indica que el límite elástico del material es de 470.0 MPa. Esto significa que las zonas rojas de la pieza están sometidas a tensiones cercanas al límite elástico del material, lo que podría indicar un riesgo de fallo. En resumen, este análisis de tensiones estáticas permite identificar las áreas críticas del diseño y evaluar si la pieza cumple con los requisitos de resistencia y seguridad establecidos.

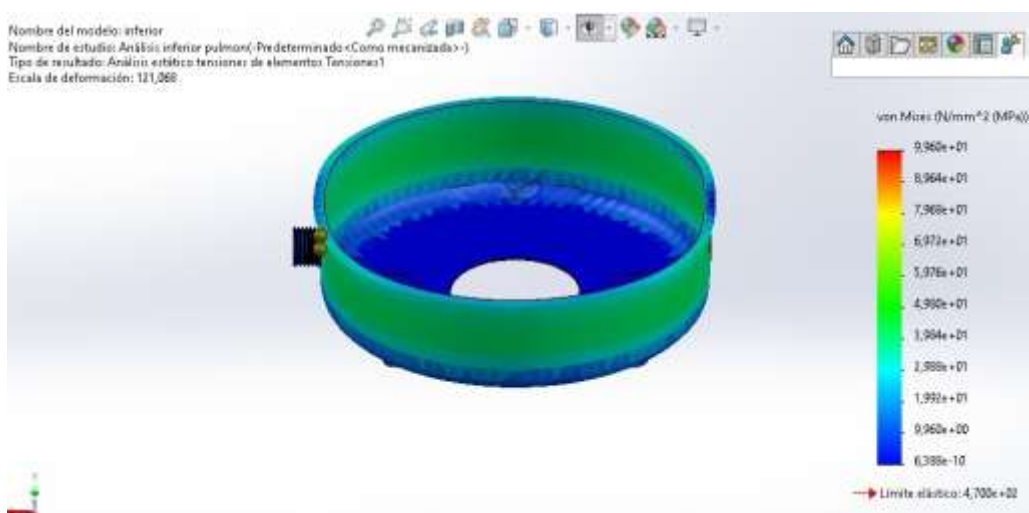


Figura 47. Análisis Von Mises de la parte inferior

Las tensiones máximas de Von Mises alcanzan un valor de 99.60 MPa. La distribución de las tensiones a lo largo de la pieza se mantiene dentro de un rango aceptable, sin presentar zonas con valores excesivamente altos que puedan comprometer la integridad estructural. Los valores máximos de tensión se concentran principalmente en las zonas de sujeción y en los puntos de aplicación de la carga, lo cual es un comportamiento esperado. En general, los resultados del análisis de tensiones de Von Mises indican que el diseño de la pieza inferior del pulmón es adecuado y cumple con los requisitos de resistencia establecidos para esta aplicación.

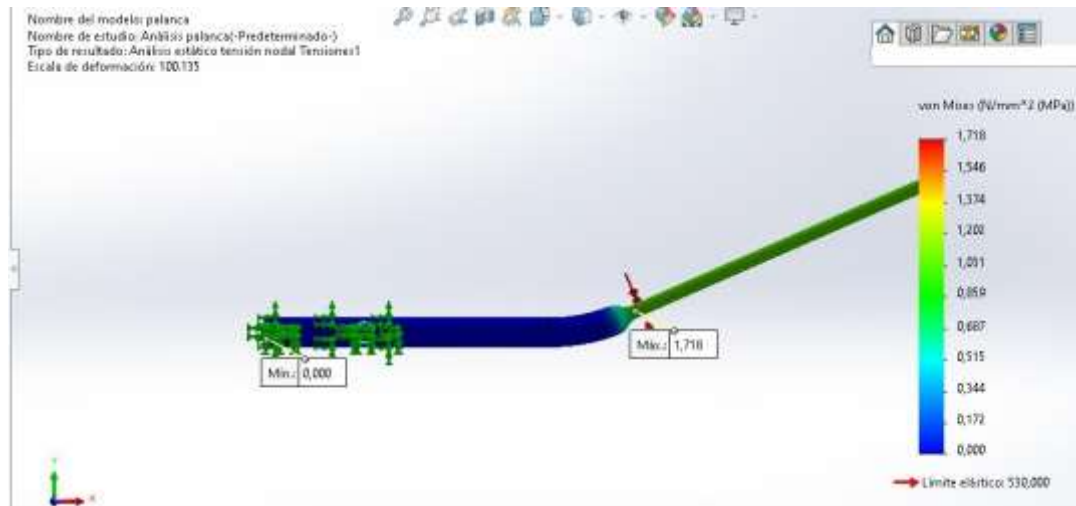


Figura 48. Análisis de Von Mises de la palanca

El análisis de las tensiones de Von Mises muestra que el diseño de la palanca es estructuralmente muy robusto, con un valor máximo de tensión de apenas 1.718 MPa, que está muy por debajo del límite elástico del material. Esto indica que la pieza tiene un amplio margen de seguridad y puede soportar cargas muy superiores a las de diseño sin riesgo de falla.

Análisis de desplazamientos

En el análisis de desplazamientos, se identifican los componentes con mayor variación en su movimiento angular o lineal. Las mediciones, expresadas en milímetros, indican que los elementos con mayor desplazamiento se resaltan en rojo, mientras que los inmóviles aparecen en azul.

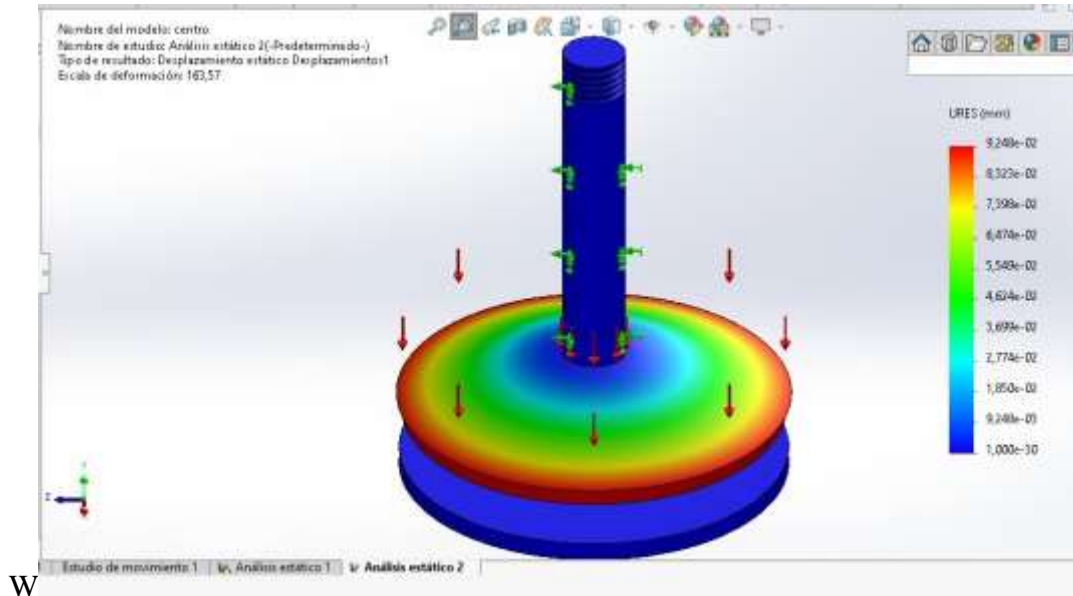


Figura 49. Análisis de desplazamiento de la parte centro

Se observa que los mayores desplazamientos se concentran en la parte superior del modelo. El valor máximo de desplazamiento es de 9.248×10^{-2} mm, mientras que el valor mínimo es de 1.000×10^{-30} mm, prácticamente cero. La escala de deformación indicada es de 163.57, lo que significa que los desplazamientos mostrados en la imagen están amplificados 163.57 veces para una mejor visualización. Los desplazamientos observados son relativamente pequeños en comparación con las dimensiones de la pieza, esto indica que el diseño es estructuralmente rígido y las deformaciones bajo las cargas aplicadas son mínimas.

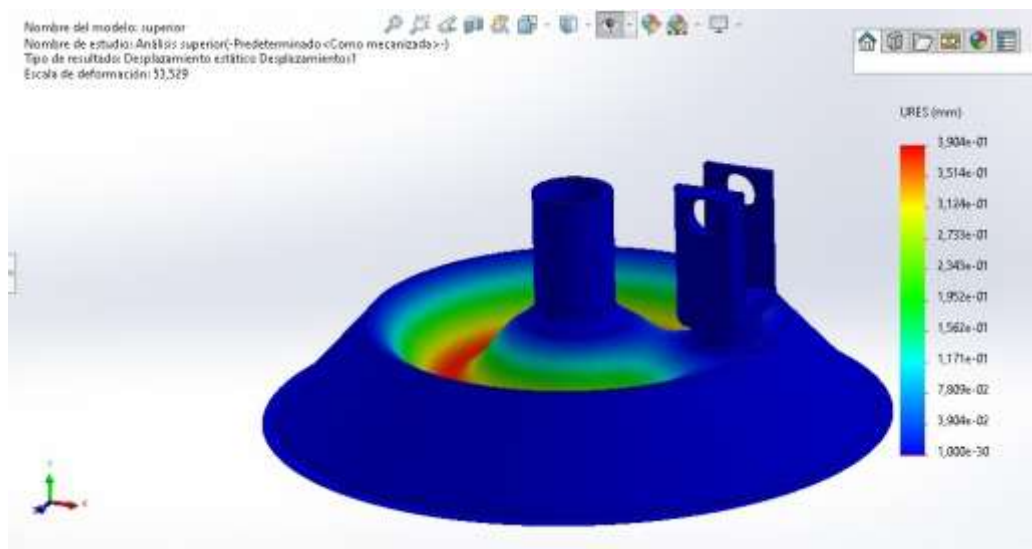


Figura 50. Análisis de desplazamiento de la palanca superior

Dado que la fuerza aplicada sobre el pulmón de freno es relativamente baja, de solo 4 kgf/cm², los desplazamientos máximos observados de 0.3904 mm se encuentran dentro de un rango aceptable. Bajo estas condiciones de carga moderadas, los niveles de deformación de la pieza no comprometen su funcionalidad ni el ajuste en el ensamblaje final. Por lo tanto, con esta fuerza de 4 kgf/cm² aplicada, los resultados del análisis de desplazamientos indican que el diseño actual de la pieza "Superior" es adecuado y no requiere modificaciones importantes para cumplir con los requisitos de rigidez y deformación. Esta información, junto con el análisis de tensiones previamente realizado, proporciona una visión completa del comportamiento mecánico de la pieza bajo las condiciones de carga especificadas, lo cual es importante para validar el diseño y asegurar su correcto funcionamiento.

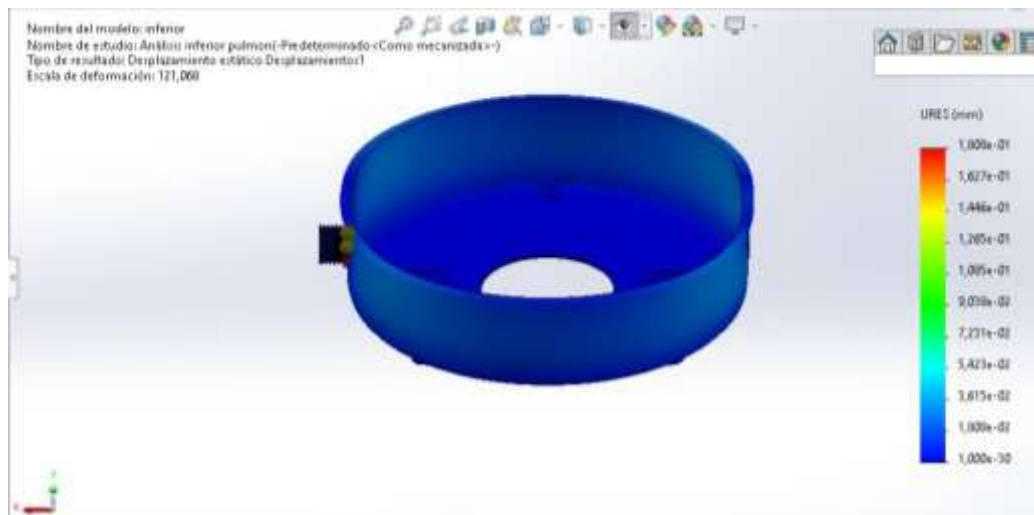


Figura 51. Análisis desplazamiento de la parte inferior

Los desplazamientos máximos alcanzan un valor de 0.1808 mm. La distribución de los desplazamientos a lo largo de la pieza se mantiene dentro de un rango aceptable, sin presentar deformaciones excesivas que puedan comprometer el funcionamiento o la integridad del diseño. Los valores máximos de desplazamiento se concentran principalmente en las zonas de sujeción y también en los puntos de aplicación de la carga, lo cual es un comportamiento esperado. En general, los resultados del análisis de desplazamientos indican que el diseño de la pieza inferior del pulmón es adecuado y cumple con los requisitos de deformación establecidos para esta aplicación.

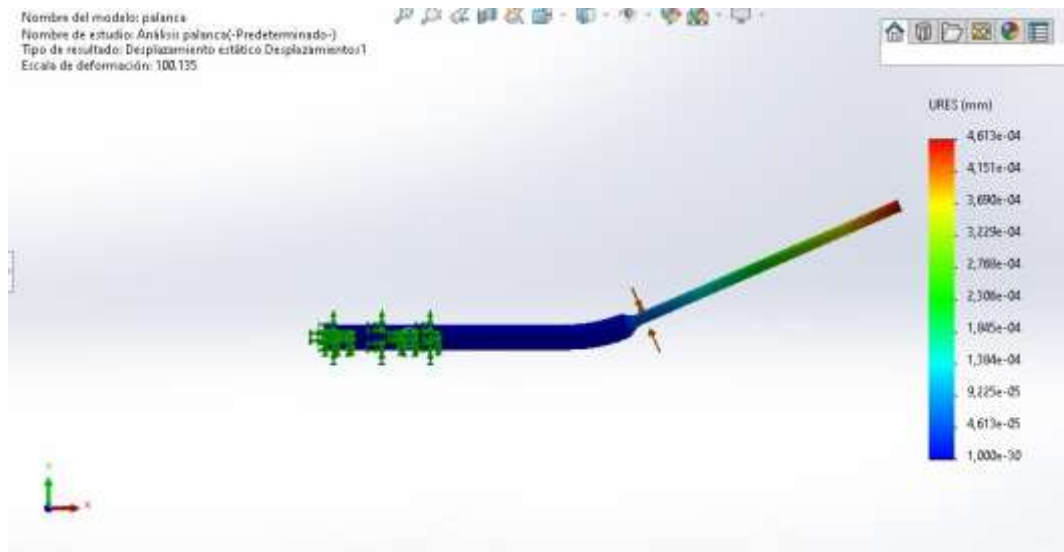


Figura 52. Análisis desplazamiento de la palanca

Muestra la distribución de los desplazamientos a lo largo de la estructura de la palanca. Se verifica que los valores más altos se concentran en la parte final de la misma. El valor máximo de desplazamiento indicado en la figura 51 es de $4.613e-04$ mm. La escala de deformación utilizada en el análisis es de 100.135, lo que significa que los desplazamientos mostrados en la figura están amplificados 100.135 veces. Dado que los desplazamientos máximos son del orden de $4.613e-04$ mm, incluso con la amplificación de la escala, se puede considerar que la palanca presenta un comportamiento estructural adecuado, con deformaciones relativamente pequeñas. El tipo de resultado indicado es "Desplazamiento estático Desplazamientos1", lo que significa que se realizó un análisis de los desplazamientos estáticos de la estructura. El análisis de los desplazamientos muestra que la palanca presenta un comportamiento estructural satisfactorio, con deformaciones máximas del orden de $4.613e-04$ mm, incluso con la amplificación de la escala de deformación. Esto indica que la pieza es capaz de soportar las cargas de diseño sin presentar deformaciones excesivas.

Factor de seguridad

El factor de seguridad, es la relación entre la capacidad máxima de un sistema y la carga esperada durante su operación.

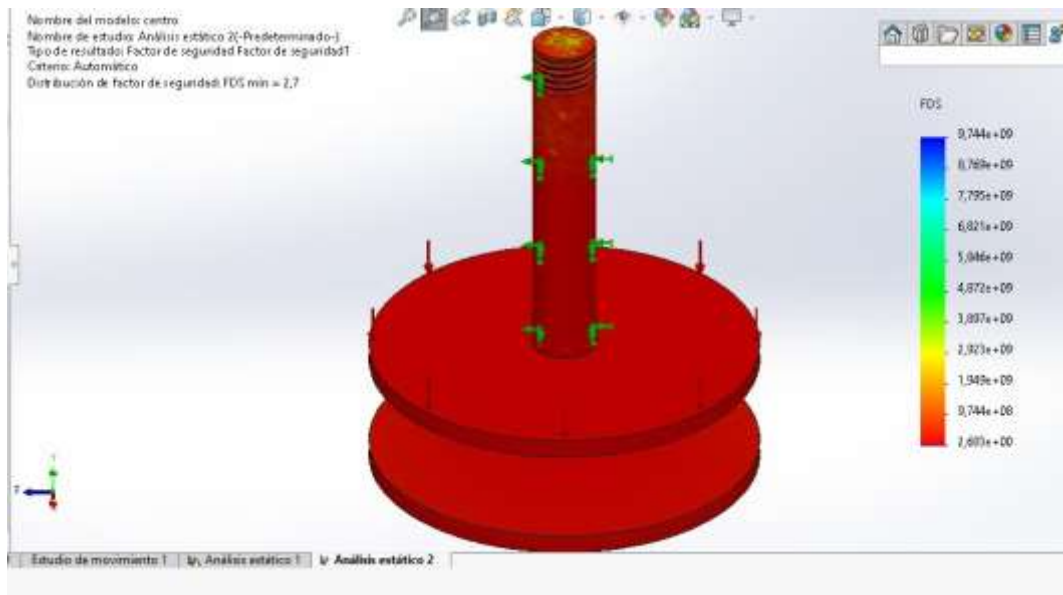


Figura 53. Análisis del factor de seguridad de la parte centro

El factor de seguridad obtenido para este modelo es excelente y demuestra que el diseño es estructuralmente muy robusto y capaz de soportar las cargas aplicadas con un enorme excedente de resistencia. Un factor de seguridad tan alto es indicativo de un diseño conservador y seguro, que brinda un alto grado de confiabilidad y resistencia a posibles sobrecargas o condiciones imprevistas. Entonces desde el punto de vista del factor de seguridad, el diseño del modelo "centro" puede considerarse óptimo y adecuado para la aplicación diseñada.

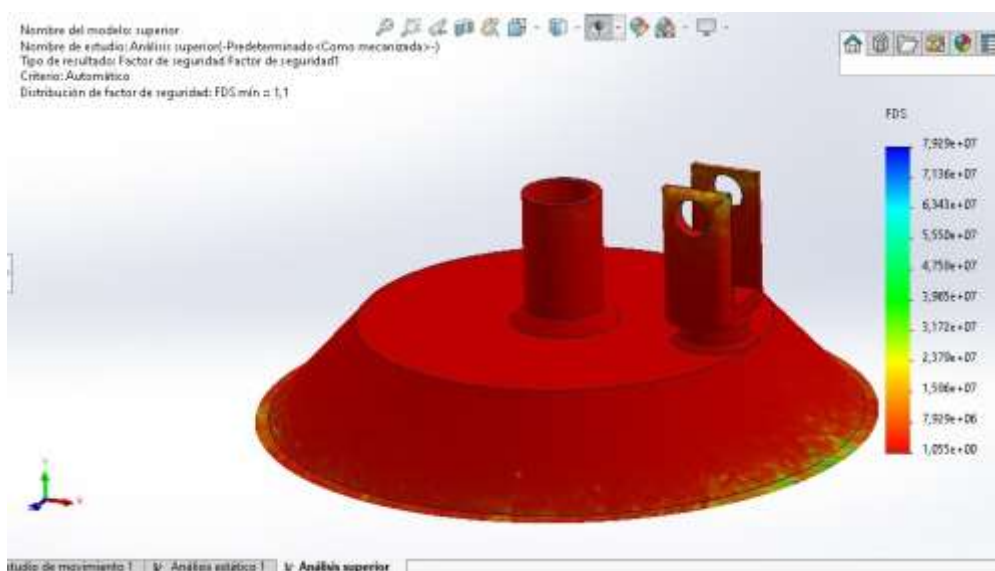


Figura 54. Análisis del factor de seguridad de la parte superior

El análisis muestra el valor máximo de factor de seguridad el cual es de $7.929e+07$, lo que indica que la pieza tiene un margen de seguridad muy alto en esa zona. Adicionalmente, el valor mínimo del factor de seguridad es de 1.055, lo que significa que la pieza cumple con los requisitos de seguridad establecidos.

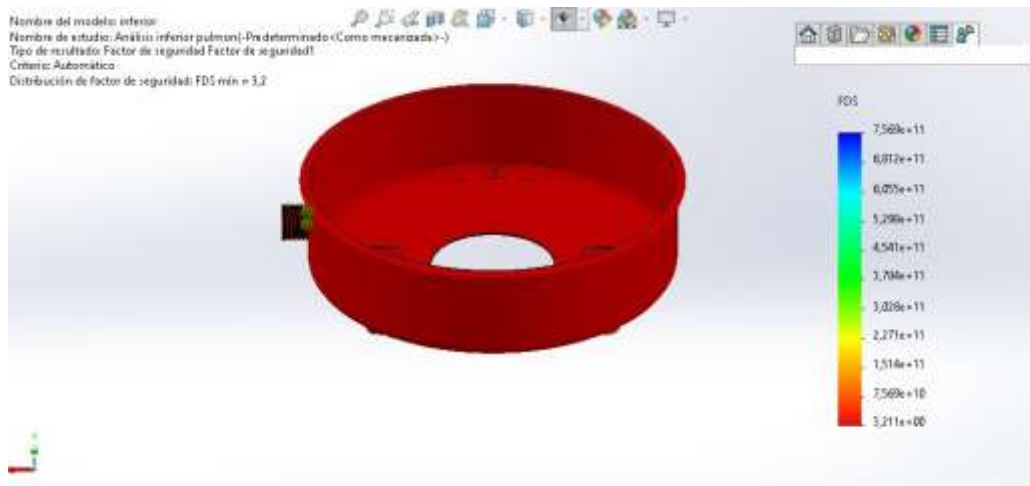


Figura 55. Análisis del factor de seguridad de la parte inferior

Este valor del factor de seguridad indica que el diseño actual de la pieza inferior del pulmón de freno presenta un margen de seguridad adecuado y no presenta riesgo de fallo bajo estas condiciones de carga. La distribución del factor de seguridad a lo largo de la pieza es relativamente uniforme, sin presentar zonas críticas con valores demasiado bajos que puedan comprometer la integridad estructural.

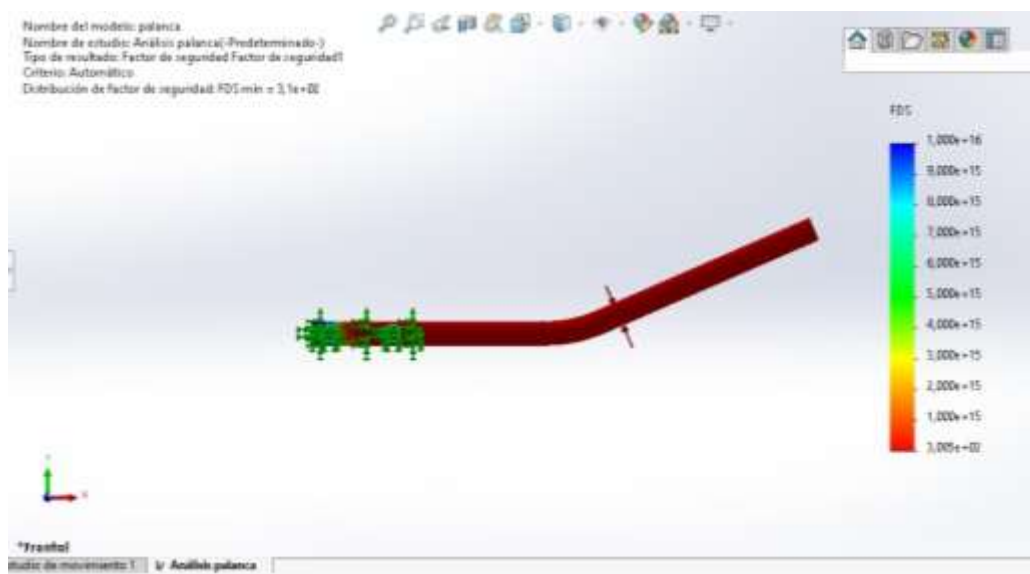


Figura 56. Análisis del factor de seguridad de la palanca

Muestra la distribución del factor de seguridad a lo largo de la estructura. Se puede observar que los valores más altos se concentran en la parte central de la palanca. El valor mínimo del factor de seguridad indicado en la figura 55 es de 308.5, es decir, aproximadamente 308.5. Un factor de seguridad tan elevado (mayor a 300) indica que el diseño de la palanca es estructuralmente muy robusto y seguro. Esto significa que la pieza tiene una amplia capacidad de soportar cargas sin llegar a la falla.

5.7. Determinación del caudal de la bomba

Para determina el caudal se utilizó la ecuación 9, donde hemos trabajado con varias velocidades, para ver el comportamiento del caudal como se aprecia en la figura 56.

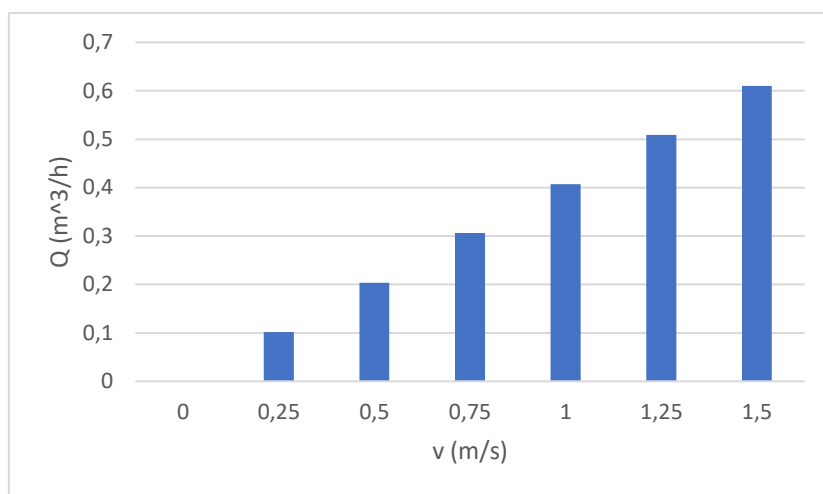


Figura 57. Caudal de la bomba

A una velocidad de 1 m/s hemos obtenido un caudal de 0.4 m³/h, de esta manera determinamos nuestro caudal de manera experimental.

5.8. Flujómetro

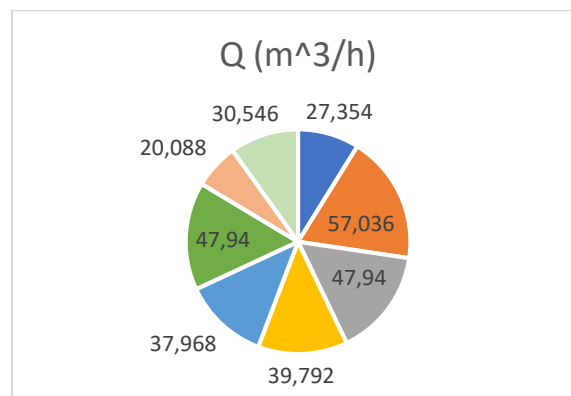


Figura 58. Mediciones con el flujómetro

Se realizaron mediciones de caudal utilizando el flujómetro PCE-TDS Series a diferentes velocidades de flujo dentro del sistema de sifón autocebante. Para velocidades de 1 m/s y 3 m/s, se registraron caudales en un rango de 20 a 39 m³/h, respectivamente.

Se realizó una comparación con los datos reales y datos calculados llegando a tener un margen de error del 0.21%

Tomando en cuenta el tiempo de cebado que es de 3 minutos, este valor se determinó mediante un cronometro en la prueba experimental.

5.9. Análisis económico

Tabla 31. Análisis económico

Análisis económico del diseño y construcción de la bomba			
Materiales	Cantidad	Precio c/u	Precio Total (\$)
Pulmón de freno sencillo	1	18	18
Kit de yugo haldex Kn36470	2	2	4
Mano de obra en mecanizado	1	200	200
Simulación	1	150	150
Cálculos	1	150	150
Codo de 90° de 3"	1	4	4
Codo de 45° de 3"	2	1.5	3
T de PVC de 3"	1	1	1
Tubo PVC de 3"	3	6	18
Válvula de pie de 2"	1	15	15
Válvula de bola de 2"	1	10	10
Válvula antirretorno 1/2 "	1	6	6
Grifo de agua 1/2"	1	4	4
Teflón	1	0.5	0.5
Pegamento Weld On	1	6	6
Reducción PVC liso de 3 a 2	1	4	4
Topografía	1	125	125
Transporte	4	7	28
Total			746.5

Tabla 32. Análisis en un periodo de 6 años

No	FNE	(1+i) ⁿ	FNE/(1+i) ⁿ
0	-746.5		-746.5
1	480	112%	428.571429
2	480	125%	382.653061
3	480	140%	341.654519
4	480	157%	305.048678
5	480	176%	272.364891
6	480	197%	243.182938

TOTAL	1226.97552
--------------	------------

TASA DE DESCUENTO		12%
NÚMERO DE PERIODOS		6
FNE	Flujo neto de efectivo	

Tabla 33 . Tasa Interna de Retorno

Tasa Interna de Retorno	
Tasa de descuento	VAN
5%	\$1,689.83
10%	\$1,344.03
15%	\$1,070.05
20%	\$849.74
25%	\$670.18
40%	\$294.13
45%	\$205.40
50%	\$129.22
55%	\$63.29
60%	\$5.82
TIR	61%
VAN	1226.975515 \$

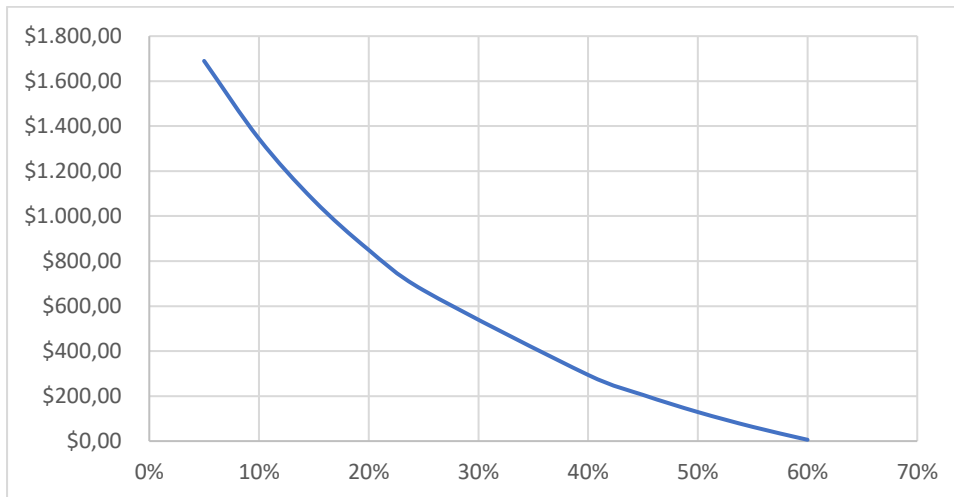


Figura 59. TIR

El proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) de 1,226.97 \$ en un periodo de 6 años y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 61% con una inversión inicial de 746.05 \$.

El costo total incluye tanto el diseño como la construcción, considerando aspectos como la simulación, cálculos, topografía y transporte para la toma de datos, lo que explica el valor elevado de la inversión. A pesar de esto, la recuperación de la inversión se logra en el segundo año, demostrando una rentabilidad favorable en un corto período de tiempo.

Tabla 34. Análisis económico 2

Análisis económico de construcción			
Materiales	Cantidad	Precio c/u	Precio Total (\$)
Pulmón de freno sencillo	1	18	18
Kit de yugo haldex Kn36470	2	2	4
Mano de obra en mecanizado	1	200	200
Codo de 90° de 3"	1	4	4
Codo de 45° de 3"	2	1,5	3
T de PVC de 3"	1	1	1
Tubo PVC de 3"	3	6	18
Válvula de pie de 2"	1	15	15
Válvula de bola de 2"	1	10	10
Válvula antirretorno 1/2 "	1	6	6
Grifo de agua 1/2"	1	4	4
Teflón	1	0,5	0,5
Pegamento weld on	1	6	6
Reducción PVC liso de 3 a 2	1	4	4
Total			293,5

Tabla 35. Análisis 2 en un periodo de 6 años

No	FNE	$(1+i)^n$	$FNE/(1+i)^n$
0	-293,5		-293,5
1	480	112%	428,571429
2	480	125%	382,653061
3	480	140%	341,654519
4	480	157%	305,048678
5	480	176%	272,364891
6	480	197%	243,182938
TOTAL			1679,97552

Tabla 36. Tasa Interna de Retorno 2

Tasa Interna de Retorno	
Tasa de descuento	VAN
5%	\$2.142,83
10%	\$1.797,03

15%	\$1.523,05
20%	\$1.302,74
25%	\$1.123,18
40%	\$747,13
45%	\$658,40
50%	\$582,22
55%	\$516,29
60%	\$458,82
TIR	163%
VAN	1679,975515

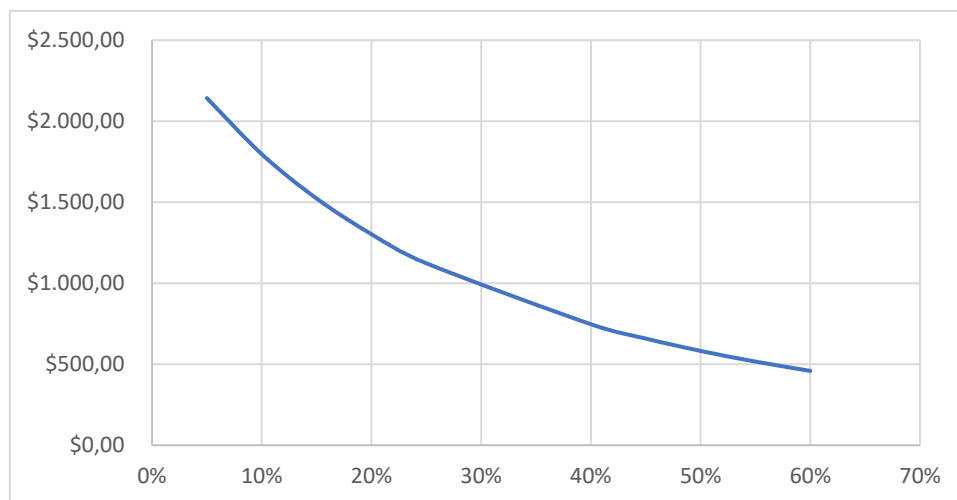


Figura 60. TIR 2

El proyecto presenta una inversión inicial de 393.5 \$, con un Valor Actual Neto (VAN) de 1,679.97 \$ y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 163%. El costo total corresponde únicamente a la construcción. La inversión se recupera en el primer año, con un período de evaluación de 6 años lo que demuestra una alta rentabilidad y viabilidad del proyecto.

6. CONCLUSIONES

- Se determinó mediante los cálculos realizados que para las tuberías de 2", 3" y 4" se obtuvo caudales de 2.45 m³/h, 7.3 m³/h y 15.2 m³/h respectivamente. El diseño se realizó con una tubería de 3" por el tema económico, cabe recalcar que las 3 dimensiones de tubería funcionan. Para asegurar su correcto funcionamiento se agregaron accesorios como válvulas, acoples y otros elementos, seleccionados según las características y geometría del terreno.

- La evaluación hidráulica determinó que una tubería de 3" es la opción adecuada para la captación de agua en acequias. El diseño alcanza un caudal de 0,4 m³/h a 1 m/s, con un NPSHd de 9,378 m y pérdidas de 5,5 m, asegurando estabilidad. La altura de succión de 0,80 m, menor que la altura atmosférica de 10,39 m, previene la cavitación, lo que es fundamental para asegurar un funcionamiento estable.
- El prototipo de bomba de sifón autocebante fue analizado en campo, confirmando su funcionalidad y adaptación a distintas condiciones de acequias. Se verificó un flujo estable sin la necesidad de bombas auxiliares, validando su funcionalidad para aplicaciones reales. Las mediciones con el flujómetro PCE-TDS Series mostraron caudales aproximados a 20 m³/h según la velocidad del flujo. Su diseño sencillo y de bajo costo facilita su implementación, y futuras optimizaciones en materiales y geometría que podrían mejorar el tiempo de cebado del sistema. Anotando que el sistema de cebado necesita un tiempo de 3 minutos.

7. RECOMENDACIONES

- Para garantizar el correcto funcionamiento del sifón se recomienda diseñarlo considerando las dimensiones de la acequia y las características del terreno. Además, a la hora de unir los acoples y accesorios es imprescindible el uso de pegamento para tuberías a presión, evitando posibles fugas que puedan comprometer el funcionamiento del sistema.
- En la fabricación de la bomba, se debe seleccionar el diámetro de las rodela en relación al diámetro del diagrama para garantizar una distribución uniforme de la fuerza. Así mismo, es importante considerar los grados de libertad de la palanca, ya que un diseño incorrecto podría limitar su movilidad. Si estos fueran nulos, la palanca permanecería rígida impidiendo la activación del mecanismo de bombeo.
- Se recomienda asegurar la correcta instalación del sifón, verificando su altura de succión y que la válvula de pie esté cubierta de agua. La bomba debe colocarse encima del sifón con la palanca ajustada según el tipo de operación: hacia adentro para succión y hacia afuera para compresión. Para evitar que entre aire, cierre la válvula de bola y abra el grifo de agua hasta que el sifón esté completamente lleno, señal de un cebado exitoso. La bomba funcionará si hay una diferencia de altura negativa y la succión no excede la altura atmosférica. Si es necesario superar pendientes, puede ser necesario

repetir el cebado. Además, es importante revisar la válvula de pie por posibles obstrucciones y verificar el estado del diafragma si sale agua por la ventosa.

8. REFERENCIAS

- [1] Toapanta Sandoval Andy Joel, «Métodos comunes de riego por inundación», 2 de diciembre de 2024.
- [2] Prado Patricia Concepción, «Problemas del riego por inundación», 5 de diciembre de 2024.
- [3] Bombón María Ximena, «Costos elevados de bombas para riego», 6 de diciembre de 2024.
- [4] JAVIER EDUARDO ROJAS COLEMARES y FERNANDO TIBAMOSO PEDRAZA, «ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DEL LAGO DE TOTA A CARGO DE COSERVICIOS S.A. E.S.P.», UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA FACULTAD SECCIONAL DUITAMA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA DUITAMA, 2017. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/f803f0c4-34ae-4b7c-8055-1fa81d7a5c48/content>
- [5] Aguirre Buñay Stalin David y Rios Jiménez Jonathan Javier, «“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DIAFRAGMA DE DOBLE EFECTO, ACCIONADA POR RUEDA HIDRÁULICA DE OCHO PALAS.”», UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, LATACUNGA, 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f037dbe3-f8ca-43c2-a03a-645ef4713ee0/content>
- [6] A. M. Blanco, «Modelado numérico de bombas volumétricas de diafragma», *Mayo 2017*, [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10651/44966>
- [7] Ander Nilson Idrogo Burga y Isaías Huancas Vásquez, «Estudio hidráulico y construcción de una bomba de ariete para la captación y conducción de agua de uso doméstico en la comunidad nativa de Urcopata, distrito y provincia de Lamas, región de San

Martín», FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, Tarapoto-Perú, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/7ea70120-4d03-4a63-8740-a9f69cd5576d/content>

[8] Dr. Henández Suárez Carlos Orlando, Ing. Maida Vargas Carmen Ofelia, y Universidad Autónoma «Gabriel René Moreno», «Sifon autocebante de garganta», 2006, p. 51.

[9] Daysi Krupscaya De La Cruz Ocaña y Ernesto Dario Máiquez Navas, «Diseño y construcción de un Cavitador para desinfección del agua», UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA, Quito, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/812ced5e-bbbc-4c5c-9fab-25130ac13863/content>

[10] Luis Gabriel Tapia Gonzales, «Diseño Hidráulico de Sifones», UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://us.docs.wps.com/l/sIMj00KHsAYmbwbwG?sa=601.1123&ps=1&fn=0690936.pdf&v=v2>

[11] C. N. C. Calero, «PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO», pp. 28-176, 2011.

[12] Alcántara Melgar Jonathan, Cervantes Mendoza Edga, Martínez Hurtado Filiberto, Ocampo Santiago Diego Misael, y Rodríguez Fragoso Salma, «Bombas Recíprocas», Instituto Politécnico Nacional, Académico, oct. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/369319656/Bombas-de-Embolo>

[13] *16. Class 10 - Science // Unit 2: Pressure - Part 6 || Archimedes' Principle & Law of Flotation*, (2021). [Mp4]. Disponible en: <https://youtu.be/IGNHaaJbNgw?si=yH17ElIuvbNT1oGt>

[14] A. M. Blanco, «Modelado numérico de bombas volumétricas de diafragma», may 2017, [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10651/44966>

- [15] D. F. B. Mayorga, «“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS EN PARALELO PARA LA MEDICIÓN DE LAS CONSTANTES DE ACCESORIOS”», p. 43, 2012.
- [16] H. H. A. Cabrera, «VÁLVULAS DE PVC», pp. 38-39, nov. 2007.
- [17] J. I. A. Rodríguez, «Determinación de la condición de las válvulas antirretorno tipo clapeta oscilante mediante el análisis de señales temporales y algoritmos de inteligencia artificial», [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81585>
- [18] J. L. S. Núñez, «Aplicación general de las válvulas en la industria , así como sus características y mantenimiento.», pp. 44-45, 2001.
- [19] G. C. M. Eduardo y R. P. L. Eduardo, «FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA», n.º 2016, [En línea]. Disponible en: [/http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4919/1/15T00636.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4919/1/15T00636.pdf)
- [20] V. M. Villalobos A., M. García, F. Ávila, y Inter-American Institute of Agricultural Sciences, Eds., *El agua para la agricultura de las Américas*. en Biblioteca Básica de Agricultura ; Serie Agua, innovación y productividad, no. 85. #1. México: IICA : Colegio de Postgraduados : Fundación COLPOS, 2017.