

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL



Diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris, Aija-2020

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Méndez Silva Jorge Yordi

Asesor:

López Carranza Atilio Rubén

Huaraz – Perú

2020

Palabras clave

Tema	Ariete hidráulico
Especialidad	Hidráulica

Keywords

Subject	Hydraulic ram
Specialty	Hydraulic

Línea de investigación

Programa	Ingeniería Civil
Línea de investigación	Hidráulicas
OCDE	Área: 2. Ingeniería y Tecnología Sub Área: 2.1. Ingeniería Civil Disciplina: Ingeniería Civil
Sub - línea o Campo de Investigación	Análisis y diseño de estructuras hidráulicas

Título de la investigación

Diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito coris, Aija-2020.

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo diseñar el ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc. Se utilizó la metodología de investigación descriptivo analítico cuantitativo aplicada de diseño cuantitativo no experimental transversal, la población y muestra fue el diseño del ariete hidráulico, el problema planteado fue ¿cuál es la influencia del diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris?, la hipótesis fue que el diseño del ariete hidráulico influye positivamente en el abastecimiento de agua agrícola. De lo cual se obtuvo los resultados: altura de suministro 165 m, altura de descarga 535 m, longitud de tubería de suministro 195 m, longitud de tubería de descarga 1270 m, caudal de suministro 0,0452 m³/s, tubería de suministro de 5 pulgadas, volumen del reservorio de suministro 4,62 m³, cuerpo del ariete hidráulico modelo fabricado con accesorios unidas mediante bridas, válvula de impulso modelo regulada con resorte helicoidal de compresión con carrera de 0,02 m, válvula anti retorno modelo válvula de retención ICORET VR, volumen de la cámara de aire 0,26326 m³, caudal elevado o descargado 0,00348 m³/s, tubería de descarga de 2 pulgadas, volumen del reservorio de descarga 240 m³, se concluyó que el ariete hidráulico diseñado para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, de acuerdo a los parámetros determinados será capaz de elevar un caudal permanente de 3,5 lts/s que alcanzará para abastecer de agua agrícola a 7,3684 hectáreas de terrenos cultivables, con VAN=2114247,39; TIR=0,47 y B/C=5,20.

Abstract

The objective of this research work was to design the hydraulic ram for the supply of agricultural water for the Cory Aylluyoc community. The applied quantitative analytical descriptive research methodology of non-experimental cross-sectional quantitative design was used, the population and sample was the design of the hydraulic ram, the problem posed was what is the influence of the design of the hydraulic ram for the supply of agricultural water, for the Cory Aylluyoc community, Coris? district, the hypothesis was that the design of the hydraulic ram has a positive influence on the agricultural water supply. From which the results were obtained: supply head 165 m, discharge height 535 m, supply pipe length 195 m, discharge pipe length 1270 m, supply flow rate $0.0452 \text{ m}^3 / \text{s}$, 5 inch supply, 4.62 m^3 supply reservoir volume, model hydraulic ram body made with flanged fittings, compression helical spring regulated model impulse valve with 0.02 m stroke, check valve ICORET VR check valve model, air chamber volume 0.26326 m^3 , high or discharge flow $0.00348 \text{ m}^3 / \text{s}$, 2-inch discharge pipe, discharge reservoir volume 240 m^3 , It was concluded that the hydraulic ram designed for the supply of agricultural water, for the Cory Aylluyoc community, according to the parameters determined, will be capable of raising a permanent flow of 3.5 liters / s that will reach 7, 3684 hectares of arable land , with NPV = 2114247.39; IRR = 0.47 and B / C = 5.20.

Índice

Índice general

Palabras clave	ii
Título de la investigación.....	iii
Resumen	iv
Abstract.....	v
Índice	vi
Índice general.....	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	41
III. RESULTADOS	44
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	49
V. CONCLUSIONES	49
VI. RECOMENDACIONES.....	50
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
VIII. AGRADECIMIENTOS	57
IX. ANEXOS Y APÉNDICE	58
9.1. ANEXO.....	58
9.2. APÉNDICE	61

Índice de tablas

Tabla 1. Técnicas e instrumento de investigación	43
Tabla 2. Conceptuación y operacionalización de las variable.....	58
Tabla 3. Vías de acceso a la comunidad campesina de Cory Aylluyoc	63
Tabla 4. Evaluación del peso específico de cada criterio de valoración para la elección del modelo del cuerpo del ariete hidráulico.....	84
Tabla 5. Evaluación del peso específico del criterio de diseño.....	84
Tabla 6. Evaluación del peso específico del criterio de robustez.....	84
Tabla 7. Evaluación del peso específico del criterio de Construcción.....	85
Tabla 8. Evaluación del peso específico del criterio de fiabilidad.....	85
Tabla 9. Conclusiones para el cuerpo del ariete hidráulico.....	85
Tabla 10. Evaluación del peso específico de cada criterio de valoración para la elección del modelo de la válvula de impulso del ariete hidráulico	89
Tabla 11. Evaluación del peso específico del criterio de sensibilidad para la válvula de impulso	89
Tabla 12. Evaluación del peso específico del criterio de regulación para la válvula de impulso	90
Tabla 13. Evaluación del peso específico del criterio de fiabilidad para la válvula de impulso	90
Tabla 14. Evaluación del peso específico del criterio de construcción para la válvula de impulso	91
Tabla 15. Evaluación del peso específico del criterio de precio para la válvula de impulso	91
Tabla 16. Conclusiones para la válvula de impulso del ariete hidráulico	91
Tabla 17. Evaluación del peso específico de cada criterio de valoración para la elección del modelo de la válvula anti retorno del ariete hidráulico	102
Tabla 18. Evaluación del peso específico del criterio de sensibilidad para la válvula anti retorno	102
Tabla 19. Evaluación del peso específico del criterio de robustez para la válvula anti retorno.....	102
Tabla 20. Evaluación del peso específico del criterio de fiabilidad para la válvula anti retorno	102
Tabla 21. Evaluación del peso específico del criterio de precio para la válvula anti retorno	103
Tabla 22. Conclusiones para la válvula anti retorno del ariete hidráulico	103
Tabla 23. Evapotranspiración referencial de la comunidad Cory Aylluyoc.	114
Tabla 24. Coeficiente del cultivo (Kc) de los principales cultivos de la comunidad campesina Cory Aylluyoc, con proyecto.....	114
Tabla 25. Calculo de la precipitación efectiva (método servicio de suelos de los estados unidos USSCS).....	114
Tabla 26. Determinación del módulo de riego para la comunidad campesina Cory Aylluyoc	115
Tabla 27. Determinación de la planilla de metrado del sistema de abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico.....	118
Tabla 28. Determinación del presupuesto del sistema de abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico.....	120

Tabla 29. Determinación de la relación de insumos del sistema de abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico.....	122
Tabla 30. Determinación de los beneficios agrícolas, con Proyecto a precios privados.....	122
Tabla 31. Determinación de los ingresos incrementales por venta de agua, con proyecto a precios privados	123
Tabla 32. Determinación del beneficio/costo del sistema de abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico diseñado, a precios privados.....	124

Índice de figuras

Figura 1. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula.....	6
Figura 2. Suceso 1 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.....	6
Figura 3. Suceso 2 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.....	7
Figura 4. Suceso 3 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.....	7
Figura 5. Suceso 4 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.....	8
Figura 6. Suceso 5 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.....	8
Figura 7. Suceso 6 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.....	9
Figura 8. Suceso 7 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.....	9
Figura 9. Depresión en toda la tubería.....	10
Figura 10. Tubería con la parte izquierda en movimiento.....	10
Figura 11. Diámetro de la tubería normal.....	11
Figura 12. Componentes de la bomba de ariete.....	13
Figura 13. Representación gráfica de los periodos velocidad-tiempo.....	15
Figura 14. Representación gráfica de los periodos velocidad-tiempo.....	17
Figura 15. Periodo 1 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.....	19
Figura 16. Periodo 2 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.....	21
Figura 17. Periodo 3 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.....	24
Figura 18. Volumen de control para un sistema no inercial.....	25
Figura 19. Fuerzas actuantes en la válvula.....	26
Figura 20. Periodo 4 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.....	28
Figura 21. Periodo 5 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.....	30
Figura 22. Periodo 6 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.....	32
Figura 23. Periodo 7 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.....	34
Figura 24. Un pulso de presión del ariete hidráulico.....	37
Figura 25. Levantamiento topográfico.....	59
Figura 26. Río “Aija”, se captará el caudal de entrada.....	59
Figura 27. Río “Aija”, $q_{\min}=300$ lts/seg.....	60

Figura 28. Vista longitudinal del río “san pedro”.	60
Figura 29. Macro localización de la provincia de Aija.	61
Figura 30. Macro localización del distrito de coris.	62
Figura 31. Micro localización de la comunidad campesina de Cory Aylluyoc.	62
Figura 32. Componentes y piezas a diseñar del sistema del ariete hidráulico.	64
Figura 33. Rio “Aija”.	65
Figura 34. Vista satelital del punto de captación, reservorio de suministro, ariete hidráulico y reservorio de descarga.	66
Figura 35. Aplicación de las ecuaciones EG.1 y EG.2 entre los puntos 1 y 2.	70
Figura 36. Aplicación de las ecuaciones EG.1 y EG.2 entre los puntos 2 y 3.	72
Figura 37. Características hidrodinámicas de la cámara de carga.	78
Figura 38. Cuerpo del ariete hidráulico fabricado con tuberías	82
Figura 39. Cuerpo del ariete hidráulico fabricado mediante accesorios con bridas	83
Figura 40. Cuerpo del ariete hidráulico fabricado mediante fundición.	83
Figura 41. Válvula de impulso con resorte de pletina.	86
Figura 42. Válvula de impulso con resorte helicoidal.	87
Figura 43. Válvula de impulso con pesas en la parte inferior	87
Figura 44. válvula de impulso con pesas en la parte superior.	88
Figura 45. Válvula de impulso con plato perforado.	89
Figura 46. Muelles de compresión sección rectangular extrafuertes	95
Figura 47. Muelles de compresión de sección rectangular extrafuertes.	96
Figura 48. Válvula de retención a clapeta.	99
Figura 49. Válvula de retención de asiento a pistón	100
Figura 50. Válvula de retención ICORET VR	100
Figura 51. Válvula de retención Roll Seal Modelo 100-42 de Cla-Val	101
Figura 52. Ecuación de energía entre el ariete hidráulico y el punto de descarga.	107
Figura 53. Dimensiones de la cámara de aire	112

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad hablar del abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, del distrito de Coris, encontramos que la aportación de agua a los cultivos mediante el suelo para compensar sus necesidades hídricas que no fueron cubiertas por las precipitaciones, no es cubierta por el flujo disponible actual, lo que genera que los agricultores tengan acceso limitado a la disponibilidad del recurso, por lo que tienen la necesidad de contar con un sistema para su abastecimiento. El sistema de bombeo del ariete hidráulico se basa en un dispositivo, que utiliza la energía cinética del agua para crear potencia, y impulsar un porcentaje del agua, que ingresa a su mecanismo, a una altura mayor del que es suministrada, de forma permanente y automática, sin la necesidad de contar con otro tipo de energía, por lo que el ariete hidráulico se convierte en el sistema de abastecimiento más idóneo, y las características topográficas para su funcionamiento se adecua a la zona de dicha comunidad.

Es por ello que se planteó la realización del presente trabajo de investigación para solucionar o atenuar la necesidad que tiene la comunidad Cory Aylluyoc, de contar con un sistema de abastecimiento de agua agrícola.

Para la realización del presente trabajo de investigación se estudió a autores internacionales, tales como Rengifo & Gallego (2016), en su proyecto de investigación denominado: *Diseño y construcción de un sistema de ariete hidráulico para el aprovechamiento de aguas lluvias*, en dicho trabajo los investigadores tuvieron por objetivo general diseñar y construir un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para aprovechar el agua lluvia en la fundación Kyrios, para ello aplicaron la metodología descriptivo analítico racional del tipo analítica comparativa, su población y muestra fue el diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico, de lo cual llegaron a la conclusión que, el ariete hidráulico con una altura de suministro de 0,5 m logra impulsar 0,11 lts/s de agua

a una altura de descarga de 3.98 m, con un caudal desperdiciado de 0,564 lts/s; logrando impulsar el 16,42% del caudal suministrado y 7,96 veces la altura de suministro.

También, según Sandoval (2016), en su proyecto de investigación titulada: *Manual de construcción de un ariete hidráulico para el abastecimiento de agua*, tuvo como objetivo general realizar un manual para la construcción de un ariete hidráulico para el abastecimiento de agua, la metodología del trabajo fue descriptivo analítico del tipo analítica comparativa experimental. población y muestra fue el diseño y construcción del ariete hidráulico, de lo cual concluyo que, para el diseño eficiente del ariete hidráulico se basa en determinar las condiciones hídricas y topográficas del lugar, también determino experimentalmente que para una altura de suministro de 1,5 m y un caudal de suministro de 150 lts/min el sistema abastece 4,74 lts/min a una altura de elevación de 4,5 m a una distancia de 100 m.

Por otro lado, Paredes & Tuquinga (2012), en su proyecto de investigación denominado: *Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas*, tuvieron como objetivo general diseñar e instalar un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas, la metodología de trabajo fue descriptiva comparativa experimental, la población y muestra diseñaron y construyeron un ariete hidráulico, de lo cual concluyeron que, para el caudal de suministro igual a 2 lts/seg, altura de suministro 17 m, y una longitud de suministro 36,82 m, el ariete logró elevar a 170 m de altura y 500 m de distancia desde la ubicación del ariete hasta el reservorio de descarga, un caudal de descarga de 13,2 lts/min, con 70 golpes/min a una carrera de 20 mm.

Además en el ámbito nacional según Chero (2018), en su proyecto de investigación titulada: *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico*, tuvo como objetivo el diseño de un sistema de bombeo mediante ariete

hidráulico, la metodología de trabajo fue descriptiva comparativa del tipo experimental, en la población y muestra diseñó y construyó una bomba de ariete hidráulico, de lo cual concluyó que, para una altura de suministro de 5,30 m, y un caudal de suministro de 0,0132 m³/s, obtuvo una altura de descarga de 50 m con un caudal de descarga de 0,0005 m³/s, dando un rendimiento energético de 39 %.

Según Pauro (2018), en su trabajo de investigación denominado: *Diseño de bomba de ariete hidráulico, en la asociación San Miguel-Yacango distrito Torata región Moquegua, 2016*, tuvo como objetivo general determinar si el diseño de una bomba de ariete logra cumplir los requisitos de caudal y altura necesarios para surtir de agua para irrigar las tierras eriazas en la asociación san miguel, La metodología de trabajo fue descriptivo cuantitativo del tipo descriptivo experimental, la población y muestra fue el diseño y construcción de una bomba de ariete, de lo cual concluyó que, utilizando válvulas calibradas, el ariete hidráulico diseñado funciona con un caudal de suministro de 32,467 lts/min, altura de suministro de 7,7 m, de lo cual logró obtener un caudal de descarga 8,766 lts/min para una altura de descarga de 23,10 m, y 75 golpes/min, con una carrera de 14 mm.

También para los investigadores, Malca & Quiroz (2016), en su tesis titulada: *Eficiencia de un sistema de suministro de agua por impulsión utilizando bombas de ariete hidráulico con válvulas en serie y paralelo*, tuvieron como objetivo general comparar la eficiencia de un sistema de suministro de agua por impulsión utilizando un ariete hidráulico con válvulas en serie y paralelo, la metodología de trabajo fue descriptivo experimental del tipo experimental, la población y muestra fue que diseñaron y construyeron una bomba de ariete hidráulico, de lo cual concluyeron que, a mayor altura de entrega se obtiene una mayor eficiencia, siendo el caudal de suministro de 4,52 lt/s y 1,80 m la altura de suministro, obtuvieron eficiencias de 3,21%; 3,51% y 3,80% en alturas de entrega de 2,35m, 2,80m y 3,25m respectivamente, para el sistema hidráulico en serie; y eficiencias de 2,71%; 3,03% y 3,38% respectivamente para el sistema hidráulico en paralelo.

También según Mamani (2015), en su tesis denominado: *Aplicación de la bomba de ariete hidráulico en la impulsión de recursos hídricos para riego en el departamento de puno*, tuvo como objetivo general determinar los efectos de la aplicación de la bomba de ariete hidráulico en la impulsión de recursos hídricos para riego en el departamento de Puno, la metodología de trabajo fue descriptiva experimental, la población y muestra fue el diseño y ensamblaje de una bomba de ariete hidráulico, de lo cual concluyó que, el sistema de bombeo diseñado logro una altura de desga de 7,8 m y que fue eficiente en un 61% para una altura de 3 m de suministro y 75% para una altura de 4 m de suministro lo cual muestra que es ecológicamente viable y de funcionamiento óptimo.

Por otro lado, según Peralta (2015), en su tesis titulada: *aplicación del golpe de ariete hidráulico para el aprovechamiento del agua del manantial en Quequerana Moho*, tuvo como objetivo general proponer la aplicación del golpe de ariete hidráulico para el aprovechamiento del agua de manantial en la comunidad de Quequerana-Moho, la metodología de trabajo fue descriptiva experimental, la población y muestra fue que diseñó y construyó de una bomba de ariete hidráulico, de lo cual concluyó que, con una altura de desnivel de 4m y el caudal de alimentación de 192 lts/min la eficiencia es de 43% para 18,35 m de altura de descarga, y con 8 m de altura de suministro, obtuvo una eficiencia es de 60%.

Y por último en el ámbito local se tiene al investigador Enriquez (2017), en su tesis titulada: *Evaluación de factores hidráulicos en una bomba de ariete que permitan el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia - Huaraz-2016*, tuvo como objetivo general evaluar los factores hidráulicos en una bomba de ariete que permitirá el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia-Huaraz, la metodología de trabajo fue descriptiva comparativa del tipo experimental, la población y muestra fue que diseñó y construyó de una bomba de ariete hidráulico, de lo cual concluyó

la altura máxima de elevación fue 10,2 metros, con una altura de suministro de 2 metros.

De las revisiones bibliográficas anteriores de los distintos autores se presenta el marco teórico, el cual empieza con el fenómeno hidráulico, que da origen al funcionamiento del ariete hidráulico

Para describir el fenómeno hidráulico del golpe de ariete, es necesario abordar dos hipótesis el fluido no es incompresible y de régimen no permanente. Este fenómeno es transitorio y régimen variable, donde el líquido es compresible y la tubería es deformable, generalmente tiene su origen al abrir o cerrar una válvula de control en los conductos instantáneamente, al prender o apagar una maquina hidráulica y al descender bruscamente el caudal. En la Figura 1, Se muestra una tubería de diámetro interior (D), espesor (e), y longitud (L); en el cual circula agua a una velocidad (V), finalizando en una válvula de control, al cerrarla rápidamente, se originará una onda de sobrepresión o golpe de ariete con una velocidad de propagación (C), debido al teorema de la conservación de la energía, al detenerse rápidamente el líquido reduce su energía cinética, transformándose en un trabajo de compresión del fluido que llena y dilata la tubería (Pauro, 2018; Rivadeneira & silva, 2013).

Para explicar el fenómeno del golpe de ariete es necesario considerar el cierre instantáneo de la válvula de control, si $t_0 = \frac{L}{C}$, llenándose imaginariamente la tubería en rodajas, como 1, 2, 3, ... y n, inicialmente entrará en reposo la rodaja 1 que se encuentra en contacto con la válvula y a continuación la 2, 3, 4, ... asta n, necesitando un cierto tiempo t_0 para su recorrido, creándose una onda de presión elástica que se propaga dentro de la tubería en dirección al reservorio, luego en dirección hacia la válvula, vuelve al reservorio, de nuevo a la válvula, y así sucesivamente; dando origen a ondas de sobrepresión y depresión en la tubería,

que se dilata y contrae con la propagación de la onda (Pauro, 2018; Rivadeneira & silva, 2013).

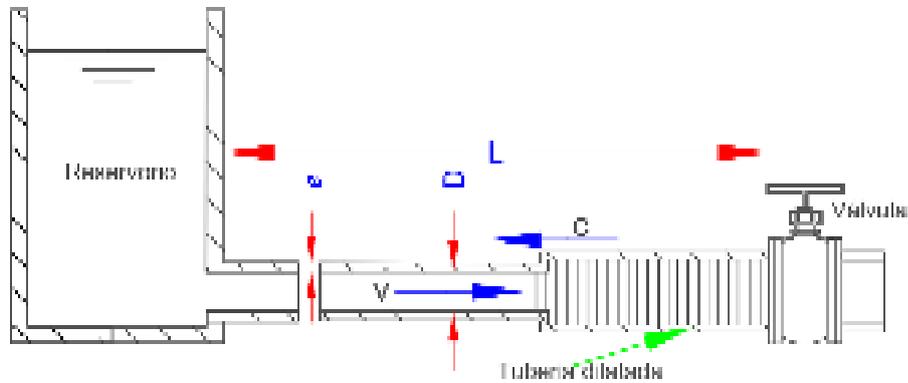


Figura 1. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula.

Fuente: Elaboración propia, basado en Pauro, 2018.

Según Rivadeneira & Silva (2013), & Pauro (2018) para explicar el fenómeno hidráulico del golpe de ariete se debe considerar una serie de sucesos en la tubería, las cuales se indican a continuación:

Suceso 1: Sin perturbación en régimen permanente; la válvula está abierta, el fluido en la tubería se encuentra en movimiento con velocidad V del reservorio de alimentación en dirección a la válvula, ver figura 2 (Pauro, 2018; Rivadeneira & silva, 2013).

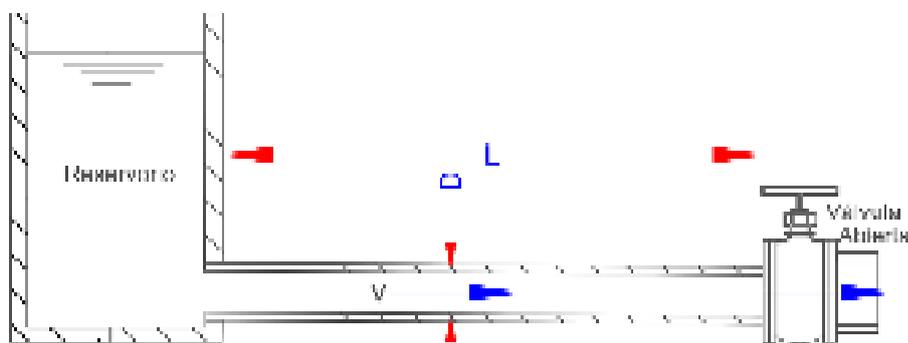


Figura 2. Suceso 1 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 2: En el tiempo $t_0 = 0$, se sierra rápidamente la válvula de control, a partir de la válvula de control se cancela la velocidad del fluido, ver figura 3 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

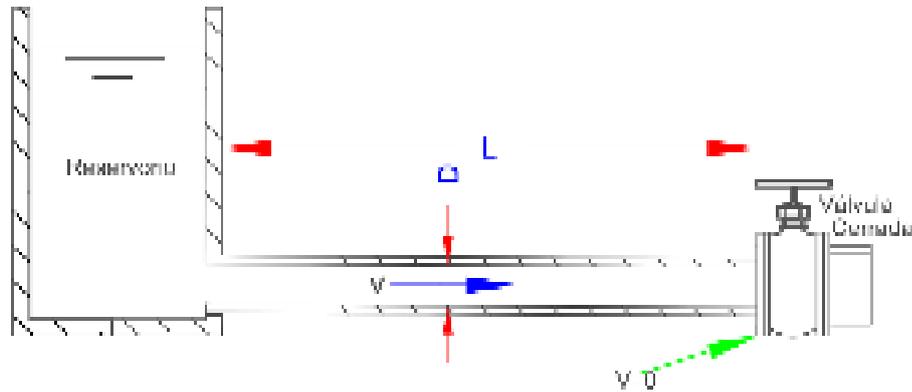


Figura 3. Suceso 2 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 3: En el tiempo $\frac{t_0}{2} = \frac{L}{2C}$, en la mitad derecha la propagación de la onda de sobrepresión se dirige al reservorio con velocidad C , aumentando en $D+\Delta D$ el diámetro de la tubería, y anulando la velocidad del fluido $V=0$, en la mitad izquierda el fluido se mueve con una velocidad V en dirección a la válvula de control, ver figura 4 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

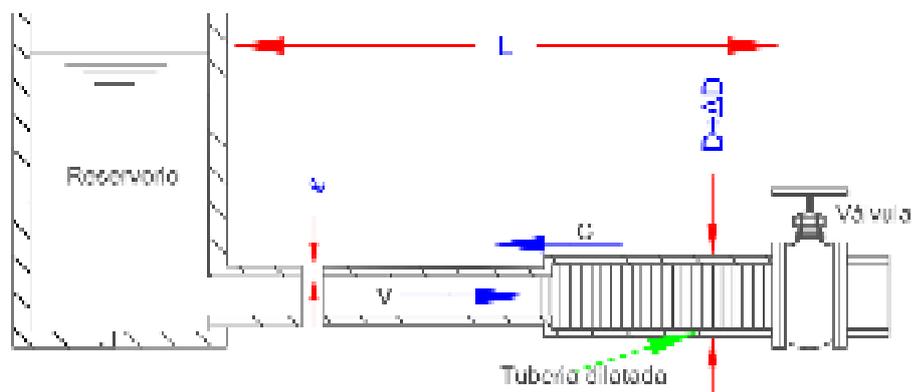


Figura 4. Suceso 3 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 4: En el tiempo $t_0 = \frac{L}{C}$, la onda de sobrepresión ha llegado al reservorio aumentando en $D+\Delta D$ el diámetro la tubería y el fluido se encuentra en reposo $V=0$, pero no en equilibrio. El fluido comienza a moverse con velocidad V , pero en dirección contraria al suceso 1, ver figura 5 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

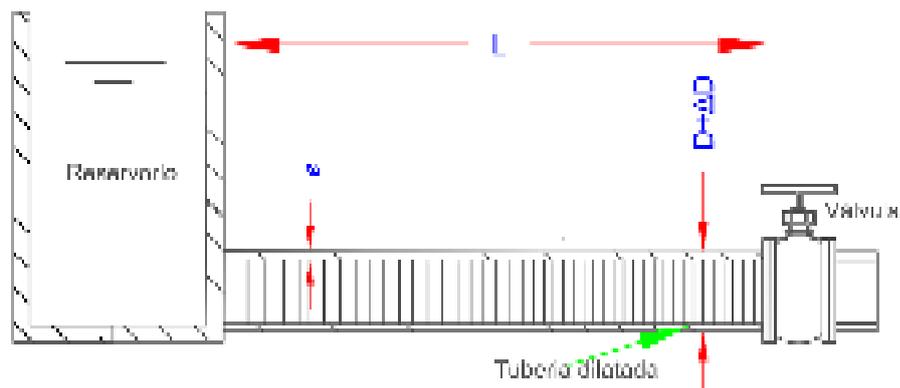


Figura 5. Suceso 4 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 5: En el tiempo $\frac{3t_0}{2} = \frac{3L}{2C}$, en la mitad izquierda la propagación de la onda de sobrepresión regresa a la válvula con velocidad C , la tubería se contrae volviendo a su diámetro inicial, el fluido circula con una velocidad V en dirección al reservorio, ver figura 6 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

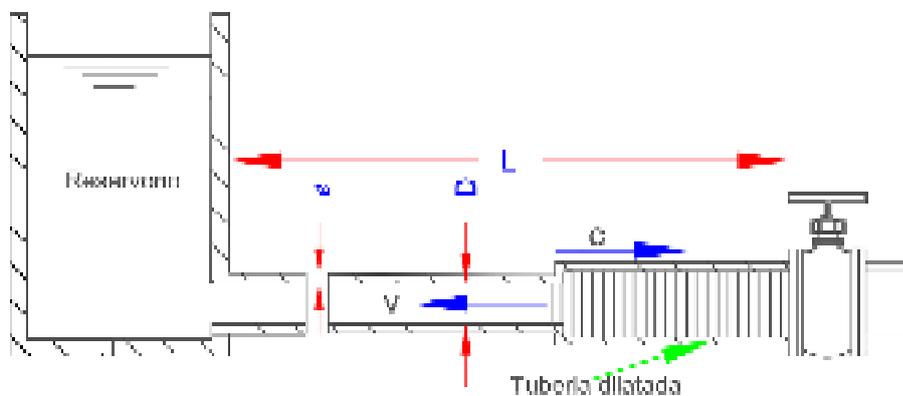


Figura 6. Suceso 5 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 6: En el tiempo $2t_0 = \frac{2L}{c}$, no existe sobrepresión en la tubería, pero por la inercia la sobrepresión disminuye alcanzando una depresión, se inicia la propagación de la onda en depresión desde la válvula de control hacia el reservorio con velocidad C ; reduciéndose el diámetro normal de la tubería, ver figura 7 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

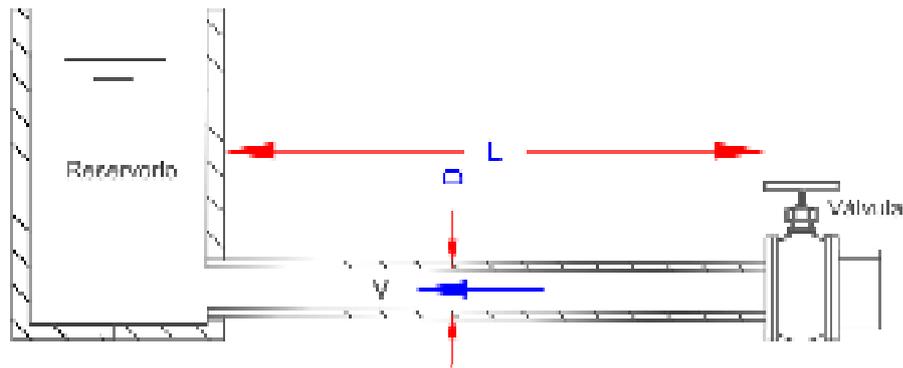


Figura 7. Suceso 6 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 7: En el tiempo $\frac{5t_0}{2} = \frac{5L}{2c}$, en la mitad derecha la propagación de la onda de depresión se dirige al reservorio con velocidad C , reduciendo en $D-\Delta D$ el diámetro de la tubería, y anulando la velocidad del fluido $V=0$; en la mitad izquierda el fluido sigue fluyendo con velocidad V en dirección al reservorio, ver figura 8 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

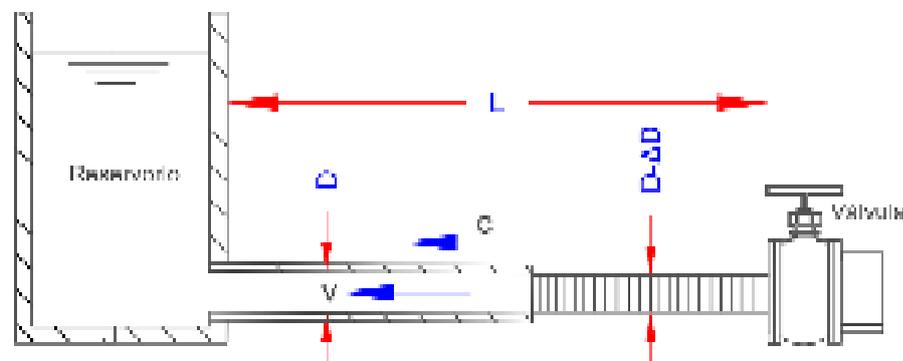


Figura 8. Suceso 7 del fenómeno hidráulico del golpe de ariete.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 8: En el tiempo $3t_0 = \frac{3L}{c}$, la onda de depresión llega al reservorio reduciendo en $D-\Delta D$ toda la tubería y el fluido se encuentra en reposo $V=0$, pero no en equilibrio. El fluido comienza a moverse con velocidad V , en dirección a la válvula de control, ver figura 9 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

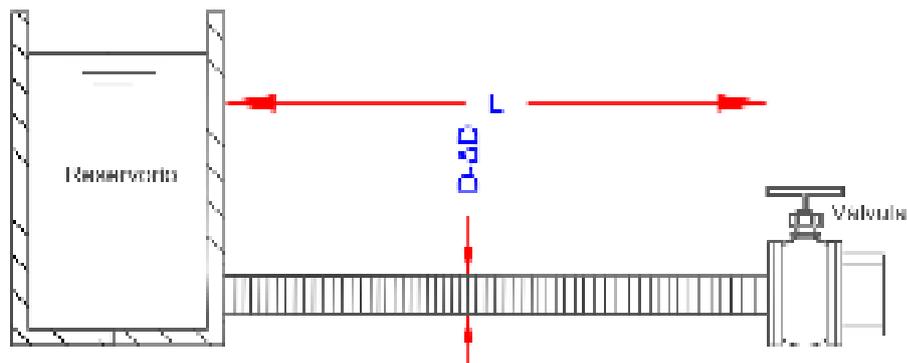


Figura 9. Depresión en toda la tubería.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 9: En el tiempo $\frac{7t_0}{2} = \frac{7L}{2c}$, en la mitad izquierda la propagación de la onda de depresión regresa a la válvula con velocidad C , la tubería retorna a su diámetro normal, el fluido circula con una velocidad V en dirección a la válvula de control; la mitad derecha el fluido se encuentra en reposo y en depresión, ver figura 10 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

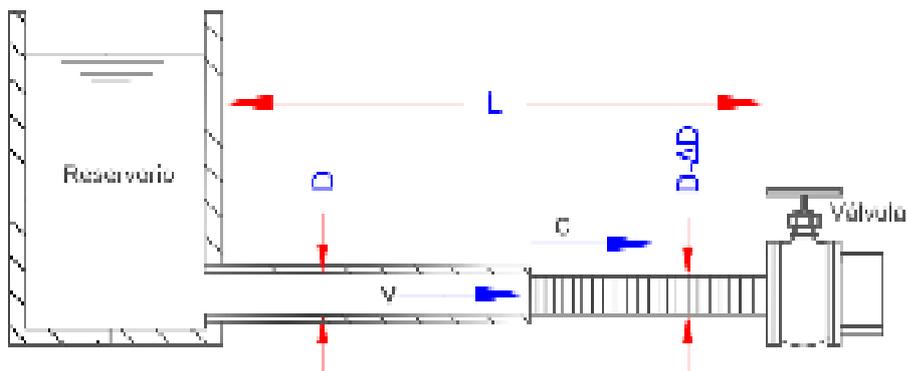


Figura 10. Tubería con la parte izquierda en movimiento.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Suceso 10: En el tiempo $4t_0 = \frac{4L}{c}$, el fluido se encuentra en movimiento en dirección a la válvula con velocidad V , la tubería retorna a su diámetro normal, se considera que la viscosidad del líquido y la deformación de la tubería, disipan la energía amortiguando las oscilaciones. Se abre la válvula repitiéndose el ciclo de sucesos, ver figura 11 (Pauro, 2018; Rivadeneira & Silva, 2013).

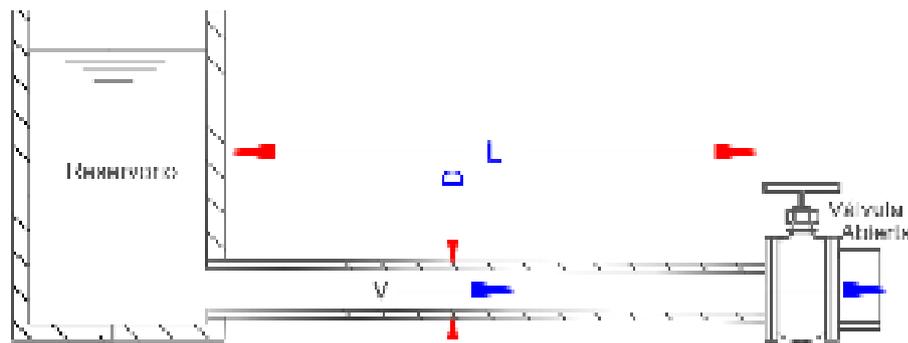


Figura 11. Diámetro de la tubería normal.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

El ariete hidráulico es un dispositivo que sirve para impulsar agua, utilizando la energía cinética de la velocidad del agua que fluye en dirección descendente, acelerándose por acción de la gravedad, para generar potencia y elevar un porcentaje del agua que ingresa a su mecanismo a una altura mayor que la altura del que es suministrada, en un trabajo continuo y automático (Mamani, 2015). El funcionamiento del ariete hidráulico se fundamenta en la teoría del golpe de ariete, éste es un fenómeno hidráulico que se produce en el transporte del agua mediante tuberías, a las oscilaciones de presión causadas por una repentina disminución o incremento de la velocidad del flujo originadas al cerrar o abrir una válvula (Pauro, 2018). Para el diseño del ariete hidráulico se fundamenta en la teoría de Krol quien desarrollo un modelo de siete periodos para el análisis, cálculos y diseño del ariete hidráulico bajo una correlación de lo teórico con lo experimental (Campaña & Guamán, 2011).

Según Rivadeneira & Silva (2013), los componentes del ariete hidráulico son:

Cuerpo del ariete hidráulico el cual está conformado por la caja de válvulas, la válvula de impulso y la válvula anti retorno, el cuerpo es un dispositivo ensamblada, unidas según los recursos tecnológicos y complejidad del diseño del dispositivo, es la parte del dispositivo donde se origina la propagación de la onda de presión. La válvula de impulso es una parte móvil del ariete hidráulico, siendo una de las más sensibles e importante, su diseño y correcta selección garantiza el funcionamiento del ariete, es el encargado de dar origen al golpe de ariete, debido al cierre repentino que se produce por el efecto del aumento de la velocidad del agua (Rivadeneira & Silva, 2013).

También, Válvula anti retorno el cual da paso al agua hasta la cámara de aire, no permite el regreso del agua al cerrarse por efecto del rebote que se origina con el aire comprimido dentro de la cámara, permitiendo que el agua sea impulsada por la tubería de entrega a una altura mayor al de la captación, es importante su diseño y construcción para lograr una buena hermeticidad, para evitar pérdidas en la eficiencia y el rendimiento. Cámara de aire, es el encargado de regular el flujo de agua impulsada hacia la tubería de descarga, también absorbe la sobrepresión amortiguando los golpes de ariete e impulsa el agua por la tubería, suministrando un flujo casi continuo a una altura superior de la captación. En el interior de la cámara de aire se originan una presión máxima cuando el fluido ingresa y el aire de la cámara se comprime, para calcularlo se utiliza la Ley de Boyle que relaciona el volumen y la presión de una cierta cantidad de gas mantenida a una temperatura constante (Rivadeneira & Silva, 2013).

La configuración general del ariete hidráulico para su funcionamiento es el siguiente.

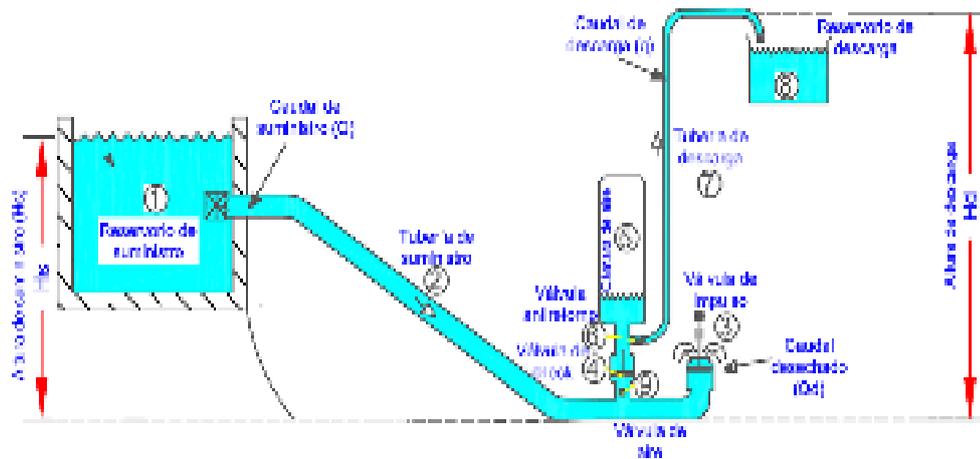


Figura 12. Componentes de la bomba de ariete.

Fuente: Elaboración propia, basado en Rivadeneira & Silva, 2013.

Principio de funcionamiento del ariete hidráulico es el siguiente: el agua fluye en dirección descendente por efecto de la gravedad desde el reservorio de suministro (1) a través de la tubería de suministro (2) y se derrama a través de la válvula de impulso (3) acumulándose una presión dinámica suficiente para cerrar la válvula de impulso. Al cerrarse instantáneamente la válvula de impulso genera una sobrepresión en la tubería de suministro, a este acontecimiento se le conoce como golpe de ariete. Después, la válvula anti retorno (4) inicia su apertura por efecto de la sobrepresión generada y permite ingresar un porcentaje en la cámara de aire (5), comprimiendo el aire que se encuentra en la cámara. Cuando el agua a presión alcanza el equilibrio con el aire atrapado, rebota, haciendo que la válvula anti retorno cierre. El agua presionada entonces fluye de la cámara de aire a través de una válvula de retención (6) y el tubo de descarga (7) a su destino el reservorio de descarga (8). El cierre de la válvula anti retorno (6) y el retroceso del agua en la tubería de suministro causan una ligera succión en la válvula de impulso (3), originando una depresión que genera la apertura de la válvula de impulso (Rivadeneira & Silva, 2013; Paredes & Tuquinga, 2012).

De esta manera se repite el ciclo entre 20 y 100 veces por minuto, volviéndose un proceso automático, dependiendo de la velocidad de flujo. El aire comprimido, de

manera continua impulsa el agua por la tubería de descarga (7) entre cada ciclo, logrando una entrega constante de agua en dirección al reservorio de descarga (8). El aire que contiene la cámara (5) es consumido en el flujo bombeado, siendo necesario renovar el aire perdido en cada ciclo, de lo contrario se saturaría de agua la cámara (5), inhabilitando el funcionamiento del ariete hidráulico, es por ello que la válvula de aire (9) se coloca por debajo de la válvula anti retorno (4). La válvula de aire trabaja aprovechando la onda de depresión producida por el cierre de la válvula de impulso, succionando un pequeño volumen de aire que renovará el aire de la cámara en cada ciclo (Rivadeneira & Silva, 2013; Paredes & Tuquinga, 2012).

La longitud de la tubería de suministro (2), no tiene una influencia directa en el caudal elevado, pero si lo tiene, en el tiempo de duración de cada ciclo, mediante la columna de masa de agua que posee y el tiempo que tarda en acelerar; un tubería de suministro largo tiene un tiempo de aceleración largo y tiempo de ciclo alto, mientras que, en una tubería de longitud demasiado corto, el funcionamiento propia de la válvula de impulso y la válvula anti retorno, influyen negativamente, ya que no tienen el tiempo necesario para abrirse y cerrarse debido a su inercia. Al instalar correctamente el ariete hidráulico, este funcionara continuamente con un mínimo de atención, para un caudal de suministro constante, y el exceso de agua se redirija fuera del ariete hidráulico (Rivadeneira & Silva, 2013).

Para iniciar el funcionamiento del ariete hidráulico, se satura el sistema agua abajo, y por efecto de la presión generada por la altura de suministro, se produce el cierre de la válvula de impulso, por lo que inmediatamente se inicia la apertura de la válvula anti retorno dando pase al agua que llegará al nivel de la altura de suministro, por el principio de los vasos comunicantes. Como segundo paso, debe accionarse manualmente la válvula de impulso, para incidir al inicio automático de un ciclo de operación de todo el sistema (Pauro, 2018; Mamani, 2015; Paredes & Tuquinga, 2012).

Según Paredes & Tuquinga, 2012, y Campaña & Guamán, 2011; En la duración de un ciclo de operación, el trabajo del ariete hidráulico es dividido en 3 periodos:

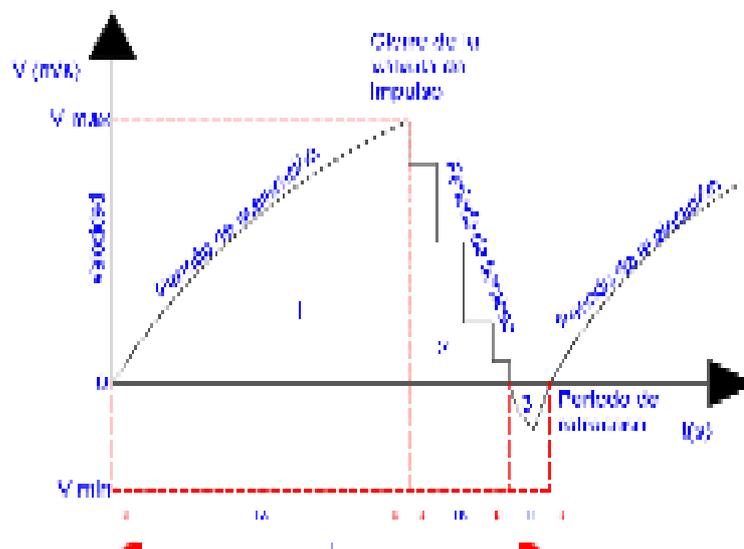


Figura 13. Representación gráfica de los periodos velocidad-tiempo

Fuente: Elaboración propia, basado en Paredes & Tuquinga, 2012.

Periodo de aceleración. Se inicia en el momento en el que se abre la válvula de impulso, con una velocidad inicial igual a cero el agua empieza a acelerar por acción de la gravedad, hasta llegar a una presión que tiene relación directa con la altura de suministro, causando que la válvula de impulso se cierre, terminando este periodo (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

Periodo de bombeo. En el momento en el que se produce el cierre de la válvula de impulso, se anula instantáneamente la salida del agua a través de ella, el cierre repentino de la válvula de impulso da origen al golpe de ariete, una onda de presión muy alta que es canalizada o conducida hacia la cámara de aire, a través de la válvula anti retorno, cuando el aire de la cámara alcanza su máxima compresibilidad se da el efecto de rebote cerrando la válvula anti retorno, y logra impulsar el agua conduciéndolo a través de la tubería de descarga, este periodo finaliza al desacelerarse el flujo de agua en el interior de la cámara de aire (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

Periodo de retroceso. Comprende el desplome de presión en el interior del cuerpo de ariete, la reapertura de la válvula de impulso y el tiempo que demora en cerrarse la válvula anti retorno, el flujo de agua que retrocede por la tubería de alimentación producto del golpe de ariete da origen a una sección de depresión en el cuerpo de ariete que abre automática de la válvula de impulso, durante este pequeño tiempo de retorno el sistema aspira un pequeño volumen de aire a través de la válvula de aire, situándose en la parte baja de la válvula anti retorno hasta el próximo ciclo, esto asegura que la cámara de aire, permanezca con un volumen de aire para asegurar el amortiguamiento, cuando termina este periodo, el agua empieza a acelerarse por la tubería de suministro, y se libera por la válvula de impulsión, comenzando el ciclo otra vez (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

El modelo más desarrollado para el diseño del ariete hidráulico, es el de Krol, quien desarrollo un modelo con una correlación satisfactoria de lo teórico y lo experimental, utilizando las ecuaciones del modelo de Schiller; además analizó al ciclo hidráulico del ariete en siete periodos, a los que aplicó las teorías, leyes y principios generales de la física. El modelo que planteó Krol, está sustentado con un estudio experimental de un ariete especialmente diseñado para tal fin (Campaña & Guamán, 2011).

según campaña & Guamán (2011), en el modelo de Krol, para el desarrollo del ariete hidráulico, considera algunos factores de su modelo de carácter experimental, los cuales son:

1. Pérdidas menores (h_m), y perdidas por fricción (h_f), se determinan con la siguiente expresión:

$$h_m = \sum j \frac{V^2}{2g}$$

$$hf = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

2. Pérdidas por turbulencia en la válvula de impulso, es determinada con la siguiente expresión:

$$hturb = R_{(s)} \frac{V^2}{2g}$$

$$R_{(s)} = \left(\frac{2gH}{V_2^2} \right) - \left(1 + \sum j + f \frac{L}{D} \right)$$

3. Para calcular la fuerza de arrastre que genera el agua con el asiento de la válvula de impulso, se determina con el coeficiente de arrastre $\Phi_{(s)}$, que es determinado experimentalmente.

$$W = \rho V_2^2 A_2$$

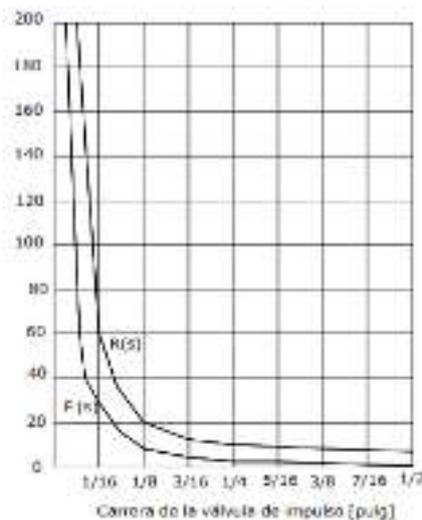


Figura 14. Representación gráfica de los periodos velocidad-tiempo

Fuente: Campaña & Guamán, 2011.

Por efecto de la geometría de la válvula de impulso, este influye en el valor de la fuerza de arrastre, por lo que la ecuación anterior debe ser corregida multiplicando

por el coeficiente de arrastre $\Phi_{(s)}$, para el caso de una válvula con resorte, está dada por:

$$W = \Phi_{(s)} K_r \times S$$

Donde: $\Phi_{(s)}$, depende de la carrera de la válvula, por lo que Krol encontró experimentalmente la existencia de la siguiente relación:

$$\Phi_{(s)} = \frac{0.345 - 0.275 \times s + 10^{(0.52 - 6.85 \times s)}}{s}$$

4. Las pérdidas en el periodo de bombeo (hr), es determinada con la siguiente expresión:

$$hr = \frac{V_3^2}{2g} \left[f \frac{2h}{D} + \sum j (\text{tub. impulso}) \right] \left(1 - \frac{h}{h_{max}} \right)$$

Krol desarrolla este modelo a partir de dos ecuaciones fundamentales, como la ecuación del movimiento, y la ecuación fundamental del golpe de ariete, estas ecuaciones se aplican en cada período, integrándolas entre límites particulares (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$H - \left[1 + \sum j + f \left(\frac{L}{D} \right) \right] \frac{V^2}{2g} = \left(\frac{L}{g} \right) \frac{dv}{dt}$$

$$\Delta H = \frac{V}{g} c$$

Krol, divide el funcionamiento del ariete hidráulico en 7 períodos para un ciclo; basándose en su equipo experimental, y en los diagramas de presión, velocidad y posiciones de las válvulas. también plantea ecuaciones de transformación de la energía cinética en energía elástica, para encaminar su modelo desarrollado (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

Período 1. Es el período de aceleración, porque la masa de la columna de agua de la tubería de suministro se acelera por efecto de la gravedad, hasta ganar una energía cinética necesaria para cerrar de la válvula de impulso. Este periodo inicia en un instante del ciclo, en el que, por efectos del ciclo anterior, el agua ha retrocedido una distancia “y” en dirección al reservorio, desde la ubicación de la válvula de impulso. En este instante la presión es la atmosférica en el cuerpo del ariete, y el agua en la tubería de alimentación está totalmente en reposo, el cual será alterado por efecto de la carga de la columna de agua del reservorio de suministro. Por otro lado, la válvula anti retorno por la presión de carga que actúa en ella se encuentra cerrada. Por debajo de la válvula anti retorno, se forma un pequeño volumen de aire, el cual se asegura a través de la válvula de aire por el vacío o succión que se genera por efecto del golpe de ariete. Este periodo finaliza cuando la columna de agua tiene contacto con la válvula de impulso (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

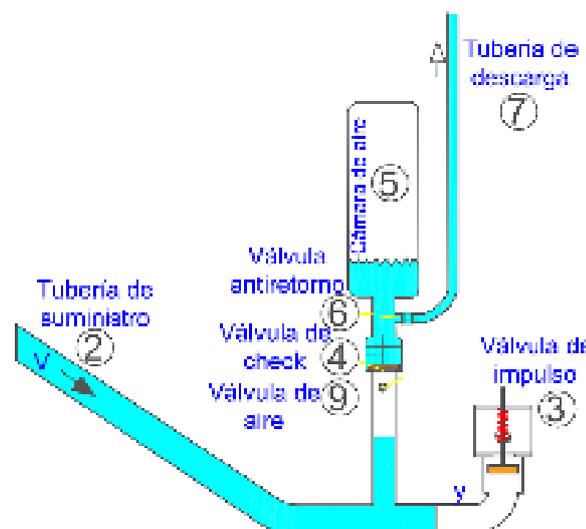


Figura 15. Período 1 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, basada en Campaña y Guamán, 2011.

Análisis y cálculos del periodo 1:

Considerando que las pérdidas en éste período son insignificantes, La ecuación de movimiento se escribe de la siguiente forma (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$H = \left(\frac{L}{g}\right) \frac{dv}{dt}$$

Durante el período 1, en la tubería de suministro, la masa de la columna de agua recorre la distancia “y”, que resulta de la expresión diferencial de la velocidad (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$V = \frac{dy}{dt}$$

Remplazando obtenemos:

$$H = \left(\frac{L}{g}\right) \frac{d^2y}{dt^2}$$

$$d^2y = \frac{Hg}{L} dt^2$$

Integrando ésta ecuación, se determina el tiempo y la velocidad del ciclo 1, bajo las situaciones de borde.

$$y = \frac{Hg}{2L} t_1^2$$

despejando t1:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2Ly}{gH}}$$

De la ecuación:

$$H = \left(\frac{L}{g}\right) \frac{dv}{dt}$$

$$dv = \frac{Hg}{L} dt$$

Integrando, bajo las situaciones de borde:

$$V_1 = \frac{gH}{L} t_1 = \sqrt{\frac{2ygH}{L}}$$

$$y = \frac{V_1^2 L}{2gH}$$

Período 2. La válvula de impulso en este periodo permanece abierta y la masa de la columna de agua en la tubería de suministro continúa acelerándose, cuando aumenta su velocidad, se incrementa la fuerza de arrastre, que logra sobrecargar la carga del resorte (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

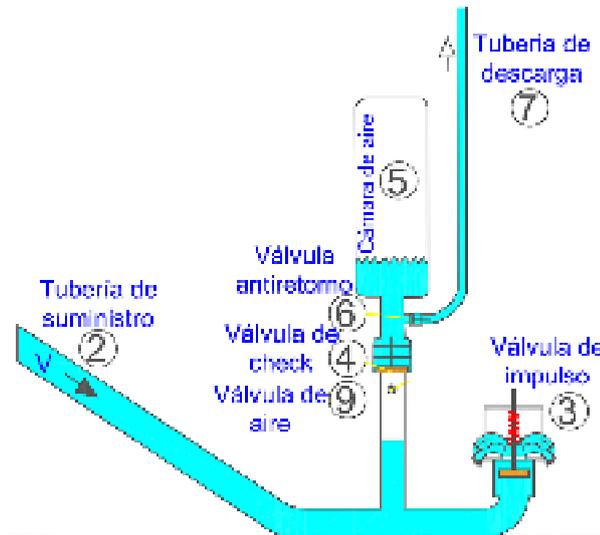


Figura 16. Periodo 2 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, basada en Campaña y Guamán, 2011.

Análisis y cálculos del periodo 2:

En este periodo la velocidad cinética del agua llega a un valor, para el cual la fuerza de arrastre, inicia el cierre de la válvula de impulso. En este periodo, las perdidas si se consideran en el modelo (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$W = A_{pv} \times \rho \times \Phi(s) \times V^2$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{Wg}{\Phi(s)A_{pv}\gamma}}$$

$$F_{arrastre} = \frac{\Phi(s)A_{pv}\gamma V_2^2}{g}$$

Bajo las situaciones de borde, se integra la ecuación de movimiento:

$$\begin{cases} t = t_1 \\ t = t_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V = V1 \\ V = V2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Vol = 0 \\ Vol = Vol2 \end{cases}$$

$$H - \left[1 + \sum j + f \left(\frac{L}{D} \right) \right] \frac{V^2}{2g} = \left(\frac{L}{g} \right) \frac{dv}{dt}$$

$$M = 1 + f \frac{L_s}{d_i} + \Sigma K$$

Obtenemos:

$$dt = \frac{\frac{2L}{M}}{\frac{2gH}{M} - V^2} dV$$

Integrando:

$$t2 = \frac{L}{\sqrt{2gMH}} \ln \left[\frac{\left(1 + \sqrt{\frac{WM}{2\Phi_{(S)}A_{pv}HY}} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{My}{L}} \right)}{\left(1 - \sqrt{\frac{WM}{2\Phi_{(S)}A_{pv}HY}} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{My}{L}} \right)} \right]$$

El volumen de agua que se desperdicia por la válvula de impulso, en un tiempo diferencial (dt) (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$dVol = Avdt$$

$$dVol = Av \frac{L}{gH - \frac{MV^2}{2g}} dv$$

Integrando la ecuación, bajo las situaciones de borde:

$$Vol_2 = \frac{\pi D^2 L}{4M} \ln \left[\frac{\frac{2gH}{M} - \frac{2gHy}{L}}{\frac{2gH}{M} - \frac{Wg}{\Phi_{(S)}A_{pv}Y}} \right]$$

La condición límite para el peso o fuerza del resorte de la válvula de impulso (W_{max}), para que se cierre, es determinada con la ecuación anterior. Para el supuesto que el tiempo en que se demora en cerrar la válvula de impulso es infinito, esto involucra que la válvula de impulsó nunca se cierra y en consecuencia el caudal desechado llegue a ser infinito (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

De la ecuación anterior, se deduce, que el valor tiende a ser infinito para la siguiente expresión, del cual se obtiene el peso o fuerza del resorte de la válvula de impulso crítico:

$$\frac{2gH}{M} - \frac{Wg}{\Phi_{(S)}A_{pv}\gamma} = 0$$

$$W_{max} = \frac{2A_{pv}H\gamma\Phi_{(S)}}{M}$$

Deduciéndose que, el peso o fuerza del resorte de la válvula de impulso, puede estar entre los valores: $[0 < W < W_{max}]$

Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011; manifiestan que Krol J. desarrolló una ecuación para determinar el tiempo de duración entre el periodo 1 y 2.

$$t_1 + t_2 = \frac{L}{\sqrt{2gMH}} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{\frac{2H\Phi_{(S)}A_{pv}\gamma}{WM}}}{1 - \sqrt{\frac{2H\Phi_{(S)}A_{pv}\gamma}{WM}}} \right]$$

Período 3. Utilizando la segunda ley de Newton, se desarrolla la ecuación para determinar el tiempo que tarda en cerrar la válvula de impulso. La velocidad cinética del agua, alcanza a desarrollar una fuerza de arrastre que se ejerce en el asiento de la válvula de impulso, superando la fuerza elástica del resorte, e inicia

su cierre, mostrándose en la figura 17 (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

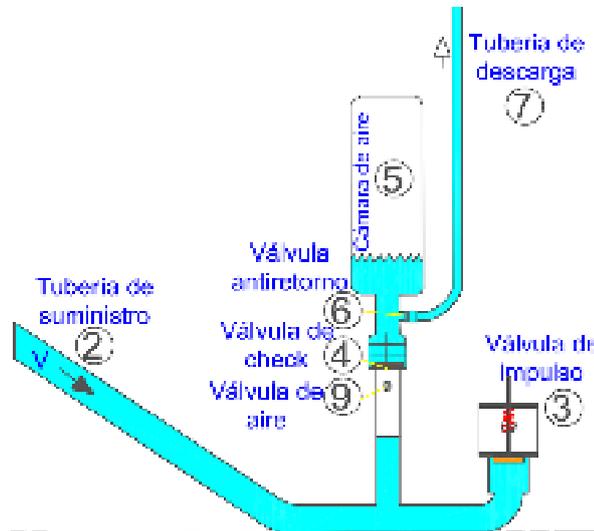


Figura 17. Periodo 3 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, basada en Campaña y Guamán, 2011.

Análisis y cálculos del periodo 3:

Krol, determinó la ecuación diferencial que gobierna el movimiento de la válvula de impulso, el cual, al integrarse bajo las situaciones de borde, considerando constante los valores de $R(s)$ y $\Phi(s)$, se obtiene el tiempo para el periodo 3 (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$\frac{d^2s}{dt^2} = 2Hg^2 \frac{t \left(1 - \frac{WM}{(2\Phi(s)A_{pv}H\gamma)} \right)}{\sqrt{\frac{Wg}{\Phi(s)A_{pv}\gamma}}}$$

$$\begin{cases} t = 0 \\ t = t_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} s = S \\ s = 0 \end{cases}$$

$$t_3 = \sqrt[3]{\frac{3SL \sqrt{\frac{Wg}{\Phi_{(s)} A_{pv} \gamma}}}{Hg^2 \left(1 - \frac{WM}{2\Phi_{(s)} A_{pv} H\gamma}\right)}}$$

Analizando el tiempo que tarda en cerrar la válvula de impulso, para la situación con resorte, se determina la fuerza de arrastre que se ejerce en el asiento de la válvula de impulso, analizando un volumen de control, que se mueve simultáneamente con la válvula de impulso:

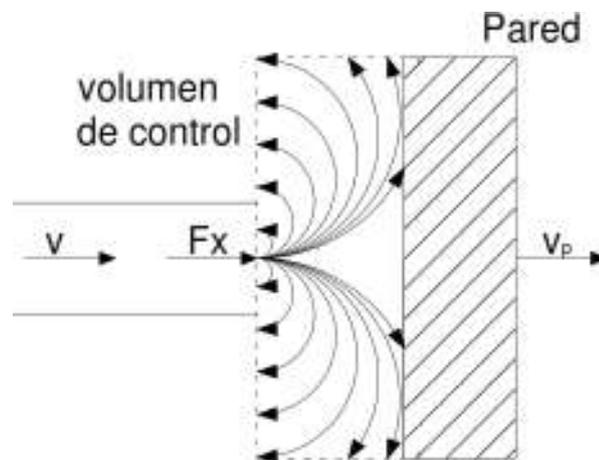


Figura 18. Volumen de control para un sistema no inercial.

Fuente: Campaña y Guamán, 2011.

$$F_x = (V - V_p)^2 \rho A_{pv}$$

$$F_x = V_{rel}^2 \rho A_{pv}$$

Entonces, la fuerza de arrastre que se ejerce en la válvula de impulso, estará dado por:

$$F_{arr} = \Phi_{(s)} \rho A_{pv} v_{rel}^2$$

$$F_{arr} = \Phi_{(s)} \rho A (v_{agua} - v_{valvula})^2$$

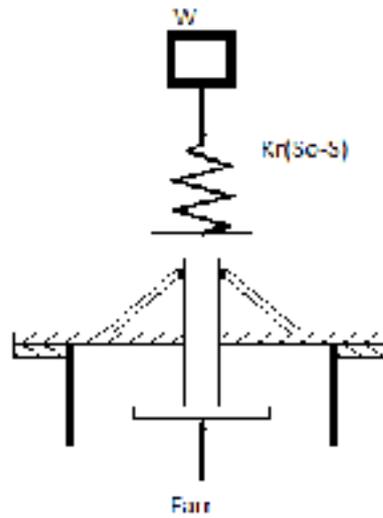


Figura 19. Fuerzas actuantes en la válvula.

Fuente: Campaña y Guamán, 2011.

De la figura 19, se deduce:

$$Farr - W - Fres = m \times a$$

Al remplazar y simplificar, se tiene:

$$m \times \frac{d^2s}{dt^2} = \Phi_{(s)} \rho A \left(V_{agua} - \frac{ds}{dt} \right)^2 - mg - Kr(S_0 - S)$$

Krol, manifiesta que la velocidad del agua durante este período se conserva prácticamente constante (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$V_{agua} = V_2 = \sqrt{\frac{Wg}{A_{pv} \gamma \Phi_{(s)}}}$$

De la ecuación de la fuerza de arrastre, integrando para las situaciones de borde, y para diferentes valores de constante Kr del resorte, y considerando la velocidad al final del período 3 igual a la velocidad del periodo 2, se determina el tiempo de cierre (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$\begin{cases} t = 0 \\ S = 0 \\ \frac{ds}{dt} = 0 \end{cases}$$

$$V_3 = V_2$$

Con el tiempo de cierre de la válvula de impulso y su velocidad, se determina el volumen de agua desperdiciado durante éste período (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$Q_3 = \int_0^{t_3} A_{tub} V_2 dt$$

$$Q_3 = \frac{\pi D^2}{4} V_2 t_3$$

La ecuación de la energía cinética para la columna de agua en la tubería de suministro, al final del período 3, se determina con la siguiente expresión (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$E_c = \frac{1}{2} \times mca \times v_3^2$$

$$mca = \gamma \pi L \frac{D^2}{4g}$$

$$E_c = \frac{1}{8} \frac{\pi D^2 L W}{A_{pv} \Phi_{(S)}}$$

Período 4. Corresponde al golpe de ariete. Producto de la inercia de las válvulas, requiere de un poco de tiempo, para que el momento dinámico originado por el golpe de ariete se traslade de la válvula de impulso hasta llegar a la válvula anti retorno, esto requiere de un tiempo igual a $2L/c$. Además, el volumen de aire que se formó debajo la válvula anti retorno en el período 1, es comprimida por el efecto de la sobrepresión (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

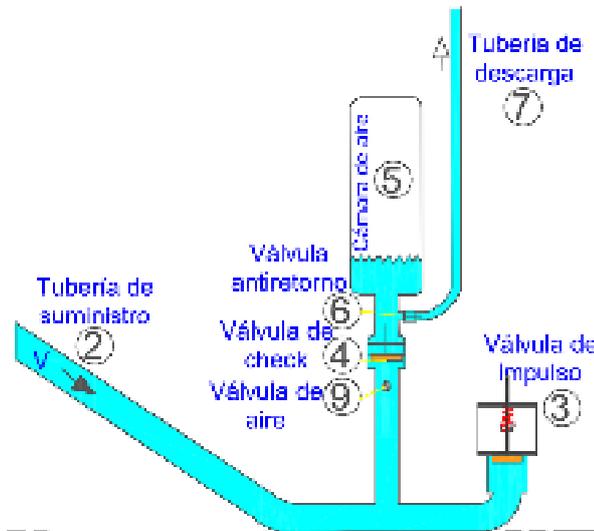


Figura 20. Periodo 4 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, basada en Campaña y Guamán, 2011.

Análisis y cálculos del periodo 4:

Según Paredes & Tuquinga (2012), Campaña & Guamán (2011); el tiempo de duración de este periodo es muy corto, y se asume igual a:

$$t_4 = \frac{2L}{C}$$

La velocidad C , es la del sonido y se determina considerando las propiedades de la tubería de suministro, donde K_1 , se calcula a partir de las ecuaciones según el tipo de sujeción, Krol, indica que cálculos realizados anteriormente, han comprobado que para materiales ferrosos la diferencia entre los valores obtenidos, es tan pequeña que resulta insignificante por lo que se utiliza la ecuación por su simplicidad. Considerando la tubería de alimentación como fija y libre de expansión radial, Krol determinó la ecuación de K_1 , de acuerdo a la teoría de empaques, el modulo elástico equivalente para las tuberías y el tipo de fluido (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$C = \sqrt{\frac{K_1}{\rho}}$$

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{E_v} + \frac{D}{t_p E}}$$

Añadiendo el módulo de poisson ν , se define la ecuación para encontrar módulos elásticos en cualquier tipo de sujeción (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{E_v} + \frac{r}{2t_p E(1 - 2\nu)}}$$

En este periodo la válvula de impulso se encuentra cerrado, induciendo una brusca desaceleración de la columna de agua, proporcional al exceso de presión generada, la cual origina el golpe de ariete que sirve para abrir la válvula anti retorno. La velocidad al final de este periodo, se calcula con la relación anterior del golpe de ariete (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

Además, se conoce que:

$$\Delta H = H_{inicial} - H_{final}$$

$$H_{inicial} = H$$

$$H_{final} = (H + h + hr)$$

$$\Delta H = -(h + hr)$$

$$\Delta v = v_3 - v_4$$

$$v_4 = v_3 - (h + hr) \frac{g}{c}$$

Cuando $v_4 = 0$, se obtiene la máxima presión producida por el ariete hidráulico. Ya que para la condición $hr = 0$, se obtiene la ecuación para h_{max} (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011):

$$h_{max} = \frac{v_2}{g} c$$

La expresión anterior manifiesta que para un peso de la válvula de impulso (W) determinado, y una carrera (s), existe una presión máxima sobre la cual el ariete no bombeará. Por otro lado, la energía cinética que experimenta la masa de la columna de agua es transformado en la energía necesaria para presurizar el agua, dilatar las paredes de la tubería de suministro. La relación de energía cinética y potencial se encuentra en la siguiente expresión (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011):

$$E_{cp} = \frac{\gamma g \pi D^2 L (h + hr)^2}{8c^2}$$

Período 5. De bombeo o elevación del agua, donde la válvula anti retorno está abierto en su totalidad. La energía cinética que gana la columna de agua es convertida en energía hidráulica, promoviendo la entrada del agua en la cámara de aire. Un porcentaje del volumen que ingresa a su mecanismo y que satisface los requerimientos de presión es elevada, conjuntamente con el aire comprimido que se encontraba localizado en la parte inferior de la válvula anti retorno (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

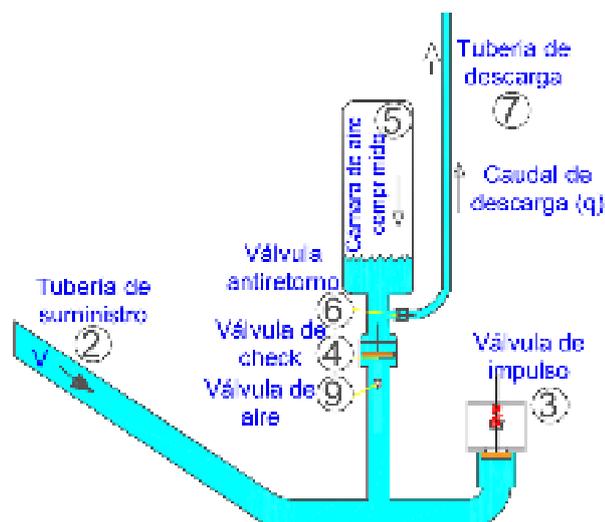


Figura 21. Periodo 5 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, basada en Campaña y Guamán, 2011.

Análisis y cálculos del periodo 5:

La energía necesaria utilizada para elevar el agua a una altura $h + hr$, será igual a la energía cinética que poseía la columna de agua en la tubería de suministro antes de ser parada al final del periodo 3, menos la energía disipada en la deformación elástica de la tubería de suministro y la energía disipada al comprimir el agua durante el periodo 4 en la tubería de suministro. El tiempo que dura la elevación o bombeo del agua, se determina integrando e igualando la ecuación de impulso y cantidad de movimiento. El volumen de agua elevado o bombeado en un ciclo, se obtiene de la aplicación del principio de la conservación de energía (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$E_{pot} = E_{disp}$$

$$E_{disp} = \frac{\pi D^2 L W}{8 A_{pv} \Phi(s)} - \frac{\gamma g \pi D^2 L (h + hr)^2}{8 c^2}$$

$$E_{pot} = q(h + hr)$$

$$q(h + hr)\gamma = \frac{\pi D^2 L W}{8 A_{pv} \Phi(s)} - \frac{\gamma g \pi D^2 L (h + hr)^2}{8 c^2}$$

Despejando q:

$$q = \left(\frac{\pi D^2 L}{8} \right) \frac{\left[\frac{W}{A_{pv} \Phi(s)} - \frac{\gamma g (h + hr)^2}{c^2} \right]}{[(h + hr)\gamma]}$$

El tiempo de duración en este periodo, se obtiene al aplicar a la columna de agua el principio de la cantidad de movimiento (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$Impulso = \int F \cdot dt$$

$$Impulso = \int_0^{t_5} \gamma (h + hr) \frac{\pi D^2}{4} dt$$

$$Impulso = \gamma (h + hr) \frac{\pi D^2}{4} t_5$$

$$\text{Cantidad de Movimiento} = \gamma \frac{\pi D^2 L}{4g} (V_4 - V_5)$$

Al igualar la ecuación de impulso y cantidad de movimiento, donde $V_5 = 0$, simplificando y despejando t_5 , obtenemos:

$$t_5 = \frac{L}{g(h + hr)} \left[\sqrt{\frac{Wg}{A_{pv}\gamma\Phi(s)} - \frac{g(h + hr)}{c}} \right]$$

Al abrirse la válvula anti retorno, seguidamente empieza a aliviarse la sobrepresión, debido a que la carga de abastecimiento es menor que la fuerza retardadora de la carga de servicio. Al anularse la velocidad del agua termina el periodo de elevación o bombeo; pero el agua atrapado en la cámara de aire trata de regresar al cuerpo del ariete, ya que en ese instante la presión en la cámara es mayor que el cuerpo; entonces, es necesario el cierre óptimo en el momento exacto de la válvula anti retorno. Ya que el cierre óptimo de la válvula, garantiza un rendimiento mayor en el funcionamiento del ariete hidráulico (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

Período 6. Tras la elevación o bombeo del agua, la válvula anti retorno se cierra (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

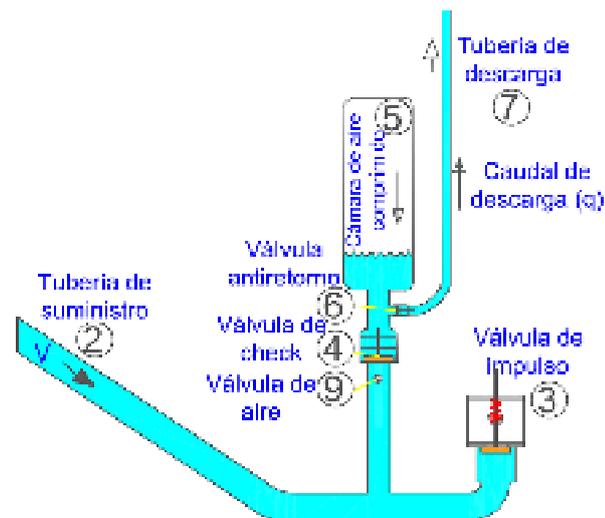


Figura 22. Período 6 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, basada en Campaña y Guamán, 2011.

Análisis y cálculos del periodo 6:

La duración del tiempo de este periodo comprende desde el instante en el que se cierra la válvula anti retorno hasta el instante en que se abre la válvula de impulso, destacando dos sucesos (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011):

1) Flujo de retroceso: Cuando se produce el cierre de la válvula anti retorno; la presión en el cuerpo del ariete es relativamente menor a la presión en la cámara de aire. Cuando el flujo del agua retorna de la tubería de suministro hacia el reservorio, la presión se disipa logrando de ésta manera una presión inferior a la atmosférica en el interior del cuerpo del ariete hidráulico (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

2) Reposición de aire en la cámara de aire: En el instante en el que se da el retroceso de la columna de agua, el cual crea un vacío por debajo de la válvula anti retorno, el cual permite introducir cierta cantidad de aire por medio de una pequeña válvula anti retorno de aire, el cual repone el aire perdido en el periodo de bombeo. La energía elástica que se acumuló en el volumen de la columna de agua dentro de la tubería de suministro, se transforma en cinética negativa. Con la finalidad de determinar velocidad negativa con el que, el agua regresa de la válvula de impulso en dirección al reservorio de suministro, krol desarrollo la siguiente ecuación para la transformación de energías (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011):

$$\frac{\gamma^2 \pi D^2 L (h + hr)^2}{8k_1} = \frac{1}{2} \frac{\gamma \pi D^2 L}{4g} V_6^2$$

De donde se obtiene:

$$V_6 = -(h + hr) \sqrt{\frac{gY}{k_1}}$$

El tiempo de duración se estima que es equivalente a la siguiente expresión:

$$t_4 = \frac{2L}{c}$$

Período 7. Al originarse una depresión en el cuerpo del ariete en el periodo anterior, la válvula de impulso inicia su apertura gracias al peso o fuerza de acción (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

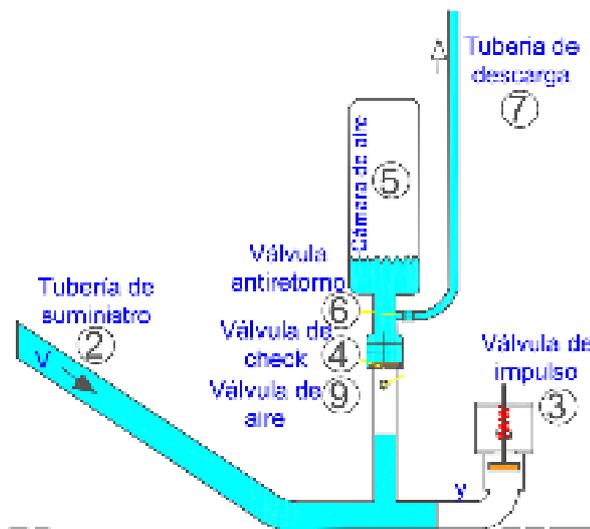


Figura 23. Periodo 7 de Krol del ciclo del ariete hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, basada en Campaña y Guamán, 2011.

Análisis y cálculos del periodo 7:

La válvula de impulso se abre automáticamente, por acción de la fuerza resultante entre la depresión que ejerce en el interior de la válvula de impulso y el peso o fuerza total que ejerce la válvula de impulso hacia su interior, sumado la presión atmosférica que se ejerce en el exterior de la válvula de impulso. También, producto de la onda de depresión que avanza a través de la tubería de suministro desde el cuerpo del ariete hasta el reservorio de suministro, se genera una ligera succión que influye en la apertura de la válvula de impulso (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

Desaceleración del flujo de retorno hacia el reservorio. Ya abierto la válvula de impulso, la presión en el interior del cuerpo del ariete comienza a igualarse con la atmosférica, lo que genera que la carga de la columna de agua que se mueve en dirección al reservorio de suministro y la fricción propia del material de la tubería de suministro, desaceleren, llegando a detenerse el flujo que regresaba al reservorio de suministro. De esta manera finaliza el periodo 7, dando origen a las situaciones para el inicio del periodo 1 (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

La duración del tiempo del periodo 7, se determina con la ecuación del movimiento, al integrarse para las condiciones iniciales de borde (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

$$dt = \frac{L}{gH} dV$$

$$\begin{cases} t = 0 \\ t = t_7 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v = v_6 \\ v = 0 \end{cases}$$

$$t_7 = \frac{L}{Hc} (h + hr)$$

En este periodo el valor de la distancia de retroceso “y” de la columna de agua, se obtiene al igualar las ecuaciones de la energía cinética que tiene columna de agua y la energía potencial que desplaza del volumen de agua. Donde, la energía cinética de la columna de agua en este periodo es igual a la energía de deformación que se genera al finalizar el período 6. Entonces (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011):

$$E_{c7} = E_{c6} = \frac{g^2 \rho \pi D^2 L (h + hr)^2}{8c^2}$$

$$E_{pot} = \text{Peso desplazado} \times \text{Altura}$$

$$\text{Peso desplazado} = \frac{\gamma y \pi D^2}{4}$$

Igualando, se tiene:

$$\frac{g^2 \rho \pi D^2 L (h + hr)^2}{8c^2} = \frac{\gamma y \pi D^2}{4} H$$

$$y = \frac{gL(h + hr)^2}{2Hc^2}$$

Para representar como funciona y se comporta el ariete hidráulico, Krol desarrolló un gráfico, planteando 2 curvas esenciales en función del tiempo; esto, a partir de los datos experimentales que obtuvo. Escogiendo la velocidad y presión, ya que estas variables son medidas rápidamente. También Krol presento 2 graficas de posición dentro del ciclo del ariete, para la válvula de impulso y la válvula anti retorno. Las presiones y velocidades fueron medidas al final de la tubería de subintro, junto al cuerpo del ariete, los cuales fueron medidas con la ayuda de instrumentos de precisión y sensibilidad, los cuales soportaron el efecto de promediar las variaciones de presión, generadas por la rápida acción de las válvulas al abrirse y cerrarse, también los efectos de estabilización de la carga de suministro de la presión atmosférica y de la carga de servicio. De igual manera durante el funcionamiento del ariete, se da la superposición de las velocidades sónicas, en las que circulan las ondas de presión. Fundamentándose, en que, las variaciones de presión y velocidad, se pueden representar con sus valores promedios en el tiempo, Krol elaboró los diagramas de presión, velocidad y posición de las válvulas, respecto al tiempo, mostrándose en la figura 24 (Paredes & Tuquinga, 2012, Campaña & Guamán, 2011).

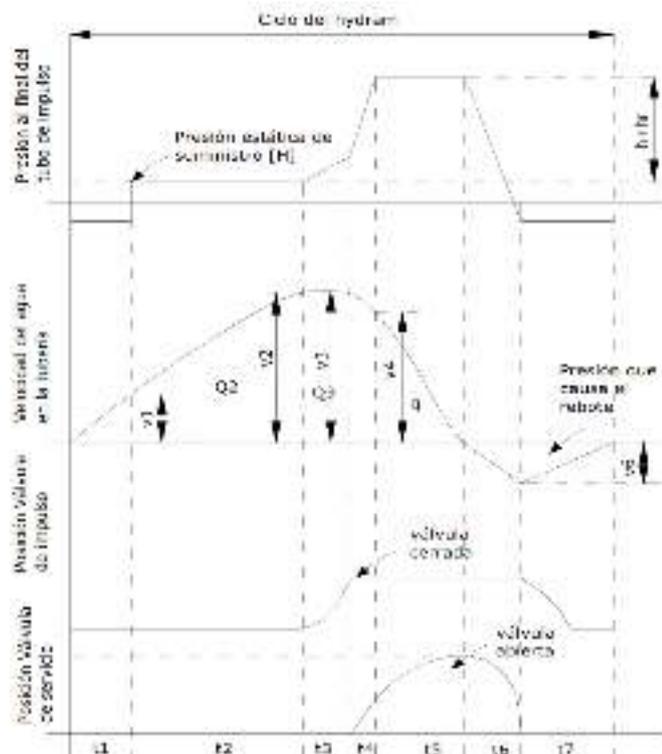


Figura 24. Un pulso de presión del ariete hidráulico.

Fuente: campaña y Guamán, 2011.

El abastecimiento de agua agrícola, es la aportación de agua a los cultivos por medio del suelo, para compensar sus necesidades hídricas que no fueron cubiertas por las precipitaciones. La eficiencia para un sistema de riego orientado al abastecimiento de los cultivos, se atribuye a la relación entre la cantidad de agua útil para las plantas y la cantidad de agua entregada desde el reservorio o captada desde una fuente natural de un sistema de riego, que es guiada a través de un canal principal y luego derivada por canales de distribución y finalmente ser suministrada a los cultivos (Granados, 2016; Ministerio de agricultura y riego “MINAGRI”, 2015)

Para determinar la demanda de agua agrícola, se sigue los siguientes pasos según (Proyectos de Riegos, 2012):

1. Determinación del uso consuntivo o evapotranspiración real del cultivo (UC): Definido como el total de agua real que consume el cultivo, para reponer la pérdida de líquidos, según la etapa de desarrollo en el que se encuentre el cultivo. Cuya unidad es: mm/mes.

$$UC = E_{to} \times K_c$$

2. Determinación de las precipitaciones efectivas (P. Efec)

Definido como la cantidad de agua que aprovechan los cultivos del total de las precipitaciones, para satisfacer parcial o totalmente sus necesidades. Su unidad es: mm/mes.

3. Determinación del requerimiento de agua (Req): Definido como la cobertura adicional de agua que se aplica al cultivo, con la finalidad de suplir sus necesidades hídricas; se expresa como la resta entre el uso consuntivo y la precipitación efectiva. Su unidad es: mm/mes.

$$Req = UC - P.Efec$$

4. Determinación del requerimiento volumétrico bruto de agua (Req. Vol. Bruto): Definido como el volumen necesario de agua, que necesita una hectárea de cultivo. Su unidad es: (m³/ha)/mes.

$$Req.Vol.Bruto = Req(mm) \times 10$$

5. Determinación de la eficiencia de riego del proyecto (Ef. Riego): Definido como el factor de eficiencia del sistema de riego, ya que señala la eficiencia para el aprovechamiento del agua. Este valor se selecciona según la modalidad del sistema de riego a emplearse para el cultivo. Sin unidad.

$$E_f.Riego\ Proy. = E_f.Riego\ Conducci3n \times E_f.Riego\ Distribuci3n \times E_f.Riego\ Aplicaci3n$$

$$\text{valores promedio segun el tipo de sistema de riego: } \begin{cases} E_f.(gravedad) = 0.40 \\ E_f.(aspersi3n) = 0.70 \\ E_f.(goteo) = 0.90 \end{cases}$$

6. Determinaci3n del requerimiento volumetrico neto del agua (Req. Vol. neto)

$$Req.Vol.Neto = Req.Vol.Bruto / E_f.Riego\ Proyecto$$

7. Determinaci3n del nmero de horas de riego (N° horas riego): Definido como la duraci3n del tiempo de riego efectivo en el que se utiliza el tipo de sistema de riego. Su unidad es: hrs.

8. Determinaci3n del m3dulo de riego (MR): Definido como el caudal permanente de agua que necesita una hect3rea de cultivo. Su unidad es: (lts/s)/ha.

$$MR = Req.Vol.Neto \times \left(\frac{1000}{3600 \times N^\circ d\acute{a}smes \times N^\circ horas\ riego} \right)$$

9. Determinaci3n del 3rea total de la parcela de cultivo que abastece el caudal elevado (A_{TAA}): Definido como el 3rea que ser3 abastecida por el caudal elevado. Su unidad es ha.

$$A_{TAA} = \frac{Q_d}{MR_{max}}$$

Con lo que se pudo analizar la realidad problem3tica, la comunidad Cory Aylluyoc, del distrito Coris, presenta el problema de tener acceso limitado a la disponibilidad del recurso del agua agr3cola, principalmente en los meses que no llueve donde el caudal del agua utilizado en la agropecuaria disminuye considerablemente. por tal motivo se realiza una sola campaa de siembra que

tiene lugar en épocas de lluvia, en épocas de estiaje la poca y nula disponibilidad del recurso hídrico limita a los pobladores a realizar otra campaña de siembra, limitando de esta manera la producción agrícola de los terrenos cultivables.

La necesidad de contar con un sistema para el abastecimiento de agua agrícola es importante para esta población, sin embargo, las dificultades de los límites territoriales, desacuerdos políticos, desniveles topográficos del agua y terreno cultivable, no hacen viable la implementación del abastecimiento mediante estructuras que conducen por el principio de gravedad. En este sentido, un método efectivo y económico para elevar agua de uso agrícola a mayores alturas es el ariete hidráulico y se presenta como una alternativa y de fácil uso, capaz de proveer agua agrícola, con la finalidad de aumentar la cantidad de campañas de siembra o realizar siembras de plántones frutales abastecidos con riego por goteo. Dentro del contexto planteado se realizará el diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc.

De lo anterior se puede justificar la investigación a nivel científico, porque sigue los procedimientos del método científico, además aplica las teorías para la solución de la necesidad que tiene la comunidad Cory Aylluyoc (del abastecimiento del agua agrícola), luego a nivel social, porque influye directamente en las condiciones de vida de los agricultores de la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico para impulsar una parte del caudal de agua existente del río Aija, a nivel técnica porque el diseño del ariete hidráulico se fundamenta en la teoría del golpe de ariete y la teoría desarrollada de Krol para realizar el análisis y cálculos, también motiva a los profesionales de la rama de la hidráulica a utilizar el ariete hidráulico en el bombeo de agua a alturas mayores, a nivel económica, porque el ariete hidráulico es un sistema auto sustentable, con la ventaja que no requiere del costo de electricidad ni combustible para su funcionamiento; también aumentará la productividad agrícola mejorando la economía de los pobladores de la comunidad Cory Aylluyoc, por último se justifica ambientalmente, porque el ariete hidráulico aprovecha al máximo el

recurso natural del agua y la topografía de la zona a su beneficio, para cubrir la demanda energética de impulsar agua a mayores alturas, y al ser un mecanismo ecológicamente sostenible y viable.

Con lo que se formuló el problema a solucionar ¿cuál es la influencia del diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito coris?, para ello se planteó la siguiente hipótesis que el diseño del ariete hidráulico influye positivamente en el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris.

Con lo que se planteó el objetivo general que fue diseñar el ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris, de lo cual se desprendió los objetivos específicos de determinar los parámetros de diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris, diseñar las obras civiles tales como reservorio de suministro y reservorio de descarga para el funcionamiento del ariete hidráulico, Evaluar el diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris, y finalmente evaluar el efecto del diseño del ariete hidráulico en el abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris.

II. METODOLOGÍA

Para Hernández, Fernández & Baptista (1991) indicaron que “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, -comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar”, según Cárdenas (2018) señala que “Cuando la información son números (o bien la información recolectada es transformada en escalas numéricas) estamos ante una investigación con datos cuantitativos. Cuando la información son palabras o imágenes (no transformadas en escalas numéricas) estamos antes una investigación con datos cualitativos”. Vargas

(2009) señala que “la investigación aplicada recibe el nombre de investigación práctica o empírica, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad”. Por lo tanto, la presente investigación corresponde al tipo de investigación descriptivo analítico cuantitativo aplicada, porque se realizó el diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola a la comunidad Cory Aylluyoc, distrito de Coris, provincia Aija.

Para Hernández, Fernández & Baptista (2010) los diseños de investigaciones cuantitativas de tipo no experimental son “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos”. Hernández, Fernández & Baptista (1991) indican que “En algunas ocasiones la investigación se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado, o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo. En estos casos el diseño apropiado (bajo un enfoque no experimental) es el transversal o transeccional”. A este proyecto de investigación le corresponde un diseño cuantitativo no experimental transversal, porque los datos recolectados se dan en un solo momento sin la manipulación deliberada de tal manera que se desarrolle el diseño del ariete hidráulico.

La población fue el diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris, con la muestra de diseño de los elementos y componentes del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola y diseño de obras civiles tales como reservorio de suministro y reservorio de descarga.

Tabla 1*Técnicas e instrumento de investigación*

variables	técnica	instrumento	fuentes
VARIABLE INDEPENDIENTE (X)	Investigación bibliográfica	Ficha bibliográfica	Bibliotecas virtuales
Diseño del Ariete hidráulico	Guía de análisis documental	Ficha bibliográfica	Bibliotecas virtuales
VARIABLE DEPENDIENTE (Y)	Trabajo topográfico	Ficha de registro de datos	Encargado del trabajo topográfico
Abastecimiento de agua agrícola.	Investigación bibliográfica	Ficha bibliográfica	Bibliotecas virtuales
	Guía de análisis documental	Ficha bibliográfica	Bibliotecas virtuales

Fuente: Elaboración propia, basado en el método del proyecto

En el Procesamiento y análisis de la información, con datos recolectados de la zona de la comunidad Cory Aylluyoc, y el procedimiento de cálculos que conlleva el diseño del ariete hidráulico, recolectados con las técnicas e instrumentos desarrollados anteriormente. Se llevó a cabo una labor de codificación de la información para facilitar su procesamiento en los cálculos de los parámetros de diseño del ariete hidráulico, se utilizó el sistema de análisis estadístico y para cálculos Microsoft Office Excel 2016. A partir de los parámetros y cálculos obtenidos se elaboraron tablas, gráficos e imágenes con el fin de realizar el análisis e interpretación de resultados, y fue posible sacar las conclusiones generales que apuntaron a esclarecer el problema formulado en los inicios de esta investigación, y afirmar o rechazar la hipótesis planteada.

III. RESULTADOS

Al analizar y procesar los datos obtenidos del trabajo topográfico de la zona de la comunidad Cory Aylluyoc, en concordancia con los datos específicos necesarios que requiere la aplicación del sistema de abastecimiento de agua mediante el ariete hidráulico, se determinó que existe en la zona los siguientes parámetros: altura de suministro $H_s = 165 \text{ m}$, altura de descarga $H_d = 535 \text{ m}$, longitud de tubería de suministro $L_s = 195 \text{ m}$, longitud de tubería de descarga $L_d = 1270 \text{ m}$.

La determinación del caudal de suministro que llega al reservorio de suministro, se encuentra detallado en el apéndice G, del cual se obtuvo $Q_s = 0,04638 \text{ m}^3/\text{s} \cong 46,38 \text{ lt/s}$.

La determinación del diseño de la tubería de suministro o de presión, se encuentra detallado en el apéndice H, en el cual se obtuvo que la tubería de suministro o de presión, requiere de un diámetro nominal de 5 pulgadas, del material de hierro dúctil con diámetro exterior $d_e=144 \text{ mm}$, espesor $e=6 \text{ mm}$ y diámetro interior $d_i=132 \text{ mm}$. También en el apéndice M, se verifica el espesor de la pared de la tubería que será capaz de soportar la presión máxima de $9747441,09 \text{ N/m}^2$, producida por el golpe de ariete.

La determinación del diseño del cuerpo del ariete hidráulico, se encuentra detallado en el apéndice K, en el cual, para la elección del modelo, se planteó 3 alternativas: alternativa A cuerpo de ariete hidráulico fabricado con tuberías unidas mediante soldadura, alternativa B cuerpo fabricado con accesorios unidas mediante bridas, y la alternativa C cuerpo fabricado mediante fundición. De acuerdo al método de evaluación de soluciones, desarrollado en el apéndice J, y con los criterios de valoración de diseño, robustez, construcción y fiabilidad; se obtuvo la tabla 9.

Tabla 9

Conclusiones para el cuerpo del ariete hidráulico

Conclusión	Diseño	Robustez	Construcción	Fiabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa A	0,049	0,035	0,083	0,021	0,188	3
Alternativa B	0,194	0,139	0,083	0,021	0,437	1
Alternativa C	0,194	0,139	0,021	0,021	0,375	2

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 9. Se concluye que la Alternativa B, Cuerpo fabricado con accesorios unidas mediante bridas, se ubica en el primer lugar como la mejor alternativa, el cual fue seleccionado para el presente diseño. El tipo de material de los accesorios seleccionados es de fundición dúctil, revestido con epoxi atóxico 250 micras PN 16, con enchufe bridas según EN-545

La determinación del diseño de la válvula de impulso del ariete hidráulico, se encuentra detallado en el apéndice L, en el cual, para la elección del modelo, se planteó 5 alternativas: alternativa A válvula de impulso regulada con resortes de pletina, alternativa B válvula de impulso regulada con resorte helicoidal de compresión, alternativa C válvula de impulso regulada con pesas en la parte inferior, alternativa D válvula de impulso regulada con pesas en la parte superior, y alternativa E válvula de impulso con plato perforado. De acuerdo al método de evaluación de soluciones, desarrollado en el apéndice J, y con los criterios de valoración de sensibilidad, regulación, fiabilidad, construcción y precio; se obtuvo la tabla 16.

Tabla 16
Conclusiones para la válvula de impulso del ariete hidráulico

Conclusión	Sensibilidad	Regulación	Fiabilidad	Construcción	Precio	Σ	Prioridad
Alternativa A	0.0864	0.0896	0.032	0.0096	0.0128	0.2304	2
Alternativa B	0.0864	0.0896	0.032	0.016	0.0139	0.2379	1
Alternativa C	0.0288	0.0336	0.064	0.0256	0.0278	0.1798	3
Alternativa D	0.0288	0.0336	0.064	0.0256	0.0278	0.1798	3
Alternativa E	0.1296	0.0336	0.008	0.0032	0.0035	0.1779	4

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 16. Se concluyó que la Alternativa B, válvula de impulso regulada con resorte helicoidal de compresión, se ubicó en el primer lugar como la mejor alternativa, lo cual fue el seleccionado, para el presente diseño.

También en el apéndice L, se determinó que la válvula de impulso con una carrera de 0,02 m, el resorte helicoidal de compresión, que satisface los requerimientos del diseño fue el tipo de muelle rectangular extrafuerte XM200 + 63x89, el cual trabajará con una fuerza de acción de 16401,19 N, y con una velocidad del agua de 6,23 m/s que cerrará la válvula de impulso.

La determinación del diseño de la válvula anti retorno del ariete hidráulico, se encuentra detallado en el apéndice N, en el cual, para la elección del modelo, se planteó 4 alternativas: alternativa A válvula de retención clapeta oscilante GAER con asiento metal-metal doble brida, alternativa B válvula de retención de asiento a pistón con bridas, alternativa C válvula de retención ICORET VR, y alternativa D válvula de retención Roll Seal Modelo 100-42 de Cla-Val. De acuerdo al método de evaluación de soluciones, desarrollado en el apéndice J, y con los criterios de valoración de sensibilidad, robustez, fiabilidad y precio; se obtuvo la tabla 22.

Tabla 22
Conclusiones para la válvula anti retorno

Conclusión	Sensibilidad	Robustez	Fiabilidad	Precio	Σ	Prioridad
Alternativa A	0.0547	0.0781	0.082	0.0156	0.2304	3
Alternativa B	0.0547	0.0781	0.0469	0.0156	0.1953	4
Alternativa C	0.1367	0.0781	0.0469	0.0273	0.2890	1
Alternativa D	0.1914	0.0781	0.0117	0.0039	0.2851	2

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 22. Se concluyó que la alternativa C, válvula de retención ICORET VR, se ubicó en el primer lugar como la mejor alternativa, lo cual es el seleccionado en este diseño.

La determinación del caudal de descarga, durante un ciclo completo del funcionamiento del ariete hidráulico, se encuentra detallado en el apéndice O, del cual se obtuvo $Q_d = 0,00348 \text{ m}^3/\text{s} \cong 3,5 \text{ lt/s}$, el tiempo total de duración de un ciclo $t_T = 1,5213 \text{ s}$.

La determinación del diseño de la tubería de descarga, se encuentra detallado en el apéndice P, de lo cual se obtuvo, para los primeros 315 m de la altura de descarga, se determinó que el material de la tubería sería de acero galvanizado serie II (tubos livianos) de diámetro nominal de 2 pulgadas, con espesor de pared de fabricación de 2,9 mm. Para los 220 m de altura restante se determinó que el material de la tubería sería HDPE-PN 25-SDR 7,4 de un diámetro nominal de 2 pulgadas, con un espesor de pared de fabricación de 6,9 mm.

La determinación del caudal desechado por un ciclo del funcionamiento del ariete hidráulico, se encuentra detallado en el apéndice Q, del cual se obtuvo que, el caudal desechado es $Q_p = 0,03971 \text{ m}^3/\text{s}$.

La determinación del volumen de la cámara de aire del ariete hidráulico, se encuentra detallado en el apéndice R, del cual se obtuvo que, el volumen de la cámara de aire necesario para el funcionamiento del ariete hidráulico es $Vol_C = 0,26507 \text{ m}^3$, con un diámetro de cámara de 0,5 m, y una altura de 1,35 m.

La determinación del diseño del reservorio de suministro, se encuentra detallado en el apéndice I, en el cual se obtuvo que, el volumen necesario es $Vol_{RS} = 4,62 \text{ m}^3$, con un ancho de 1,20 m, largo 2,20 m y una altura de 1,75 m.

La determinación del diseño del reservorio de descarga para el funcionamiento del ariete hidráulico, se encuentra detallado en el apéndice S, del cual se obtuvo

que, el volumen del reservorio de descarga mínimo para el funcionamiento del ariete hidráulico es $Vol_{RD} = 228,53 m^3$, con la selección de las medidas: ancho de 8 m, largo 10 m, y de altura de 3 m, se obtiene $240 m^3$ de volumen para el reservorio de descarga.

La evaluación del diseño del ariete hidráulico en el abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc del distrito de Coris, provincia de Aija, departamento de Áncash. se basó en determinar la eficiencia y potencia desarrollada por el ariete hidráulico.

La determinación de la eficiencia y potencia desarrollada por el ariete hidráulico, se encuentra detallado en el apéndice V, del cual se obtuvo que, el ariete hidráulico diseñado tendrá una eficiencia de 24,32867 %, con una potencia teórica de 24,5 HP, dando una potencia real de funcionamiento de 100,6 HP.

La evaluación del efecto del diseño del ariete hidráulico en el abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc del distrito de Coris, provincia de Aija, departamento de Áncash. se basó en determinar la cantidad de área de terreno agrícola, que será abastecida por el caudal descargado (elevado) del ariete hidráulico diseñado y el costo beneficio del mismo.

La determinación del módulo de riego máximo para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris, se detalla en el apéndice T, del cual se obtuvo que, el módulo de riego máximo fue el del mes de septiembre de $MR_{max} = 0,95 lts/(s \times ha)$.

La determinación de la cantidad de área de terreno agrícola, que será abastecida por el caudal descargado, se detalla en el apéndice U, del cual se obtuvo que, el efecto del diseño del ariete hidráulico en el abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc del distrito Coris, fue que proveerá de agua agrícola a 7,3684 hectáreas de terrenos cultivables.

La determinación del costo benéfico del ariete hidráulico diseñado, se detalla en el apéndice W, del cual se obtuvo que, De acuerdo a lo determinado en la tabla

32, para el valor actual neto $VAN=2114247,39$; indica que el sistema diseñado para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, crea valor por lo que es rentable. Para el valor de la tasa interna de retorno o rentabilidad $TIR=0,47$; indica que el sistema diseñado para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, es rentable y crea un valor de retorno de la inversión directamente en los agricultores de la comunidad. Para el valor de la ratio de beneficio/costo $B/C=5,20$; indica que los beneficios son mayores a los costos en la relación de 5,2.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La determinación de los parámetros de diseño del ariete hidráulico, realizados por los autores mencionados en la revisión de los antecedentes a nivel internacional, nacional y local, utilizaron las teorías de Krol como base para realizar los cálculos del diseño, los cuales fueron corroborados experimentalmente por los mismos autores, que no existía una diferencia significativa entre los valores teóricos con los experimentales; además de los diseños realizados, demostraron su eficacia en el funcionamiento del ariete hidráulico. En el presente proyecto de investigación se utilizó las teorías de Krol para determinar los parámetros de diseño del ariete hidráulico, por lo que el procedimiento utilizado coincide con los autores mencionados, del cual se deduce que no existirá una variación significativa de los valores obtenidos.

V. CONCLUSIONES

Con una altura de suministro 165 m, altura de descarga 535 m, longitud de tubería de suministro 195 m, longitud de tubería de descarga 1270 m y con un caudal de suministro de $0,04638 \text{ m}^3/\text{s}$, que llega al reservorio de suministro de volumen $4,62 \text{ m}^3$, y con la tubería de suministro de diámetro nominal de 5

pulgadas, del material de hierro dúctil con 6 mm de espesor de pared, también con cuerpo del ariete hidráulico modelo cuerpo fabricado con accesorios unidas mediante bridas, válvula de impulso regulada con resorte helicoidal de compresión del tipo de muelle rectangular extrafuerte XM200 + 63x89, con una carrera de 20 mm de la válvula de impulso, además una válvula anti retorno modelo válvula de retención ICORET VR, y $0,26507 m^3$ de volumen de la cámara de aire, se determinó que se obtiene un caudal de descarga de $0,00348 m^3/s$, que fluirá a través de una tubería de 2 pulgadas de diámetro nominal.

El volumen requerido del reservorio de suministro, para el funcionamiento del ariete hidráulico diseñado es de $4,62 m^3$, también el volumen de reservorio de descarga requerido para acumular 12 horas el caudal descargado es $240 m^3$.

El ariete hidráulico diseñado, en su funcionamiento alcanzará una potencia real de 100,6 HP.

Con un módulo de riego máximo de $0,95 \text{ lts}/(s \times ha)$, que requiere la comunidad Cory Aylluyoc, para el abastecimiento en su agricultura, el caudal descargado será capaz de abastecer hasta 7,3684 hectáreas de terrenos cultivables.

El costo beneficio del ariete hidráulico diseñado, con los valores obtenidos VAN=2114247,39; TIR=0,47; B/C=5,20; indica que, el ariete hidráulico diseñado, es rentable.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar investigaciones, para el diseño de un método de sujeción estable entre en cuerpo del ariete hidráulico y el suelo, ya que, en arietes

hidráulicos diseñados con una altura de suministro alto, al producirse el golpe de ariete, se genera vibraciones que influyen en la inestabilidad del dispositivo.

Se recomienda realizar investigaciones, para el análisis del diseño de un ariete hidráulico, que funcione con 2 a más valvular de impulso, sincronizadas todas para el cierre y apertura simultaneo, de tal manera que la fuerza de acción se divida equitativamente entre cada válvula, y de esta manera prolongar la vida útil de la válvula de impulso por ende del funcionamiento del ariete hidráulico.

Se recomienda realizar investigaciones, para un método de codificación y creación de un software, para la simulación del funcionamiento del ariete hidráulico, ya que actualmente al realizar la investigación durante la elaboración del presente proyecto, no se encontró un software en el mercado que permita el análisis y simulación del ariete hidráulico.

Se recomienda realizar investigaciones experimentales del funcionamiento del ariete hidráulico, y crear métodos alternativos para su diseño, ya que actualmente en todas las revisiones bibliográficas hechas para el presente proyecto de investigación, hacen referencia a las teorías de krol para su diseño, siendo el único método que relaciona lo experimental con lo teórico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arapa, J. (2015). *Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico bah-1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso*. Universidad nacional Agraria la Molina, Lima – Perú. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6171219.pdf>
- Campaña, C. & Guamán, D. (2011). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico*. (Tesis de pre grado), Escuela politécnica Quito Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4020/1/CD-3778.pdf>
- Cárdenas, J. (2018). *Investigación cuantitativa*, trAndeS Material Docente, No. 8, Berlín: trAndeS - Programa de Posgrado en Desarrollo Sostenible y Desigualdades Sociales en la Región Andina. DOI: 10.17169/refubium-216. Recuperado de https://www.programa-trandes.net/Ressources/Manuales/Manual_Cardenas_Investigacion_cuantitativa.pdf
- Chero, A. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico*. (Tesis de pre grado), Universidad de Piura Perú. Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3903/ICI_265.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Enriquez, B. (2017). *Evolución de factores hidráulicos en una bomba de ariete que permitan el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia – Huaraz – 2016*. (Tesis de pre grado), Universidad Nacional “Santiago Antunez de Mayolo”, Ancash Perú. Recuperado de

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2369/T033_47437905_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Galarza, R. (2013). *Estudio de factores hidráulicos en una bomba de ariete y sus efectos sobre la eficiencia*. (Tesis de pre grado), Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3714/1/Tesis%20I.%20M.%20157%20-%20Galarza%20Chac%C3%B3n%20Ra%C3%BA1%20Fernando.pdf>
- Galvez, A. & Mosquera, J. (2009). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico de aguas bravas como en sistema económico y eficiente para el bombeo de agua*. (Tesis de pre grado), Universidad Nacional de Loja Ecuador. Recuperado de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16907/1/G%a1lvez%20%81lvarez%2c%20Alex%20Fernando%2c%20Mosquera%20Romero%2c%20Joel%20Guillermo.pdf>
- Granados, Y. (2016). *Demanda hídrica con fines de riego y fertilidad de suelos en el centro poblado de carcas, distrito Chiquián, provincia Bolognesi - 2016*. (Serie de informes de Pasantía), Instituto de Montaña para el proyecto Asegurando el Agua y los Medios de Vida en la Montaña AID-527-A-14-00001. Recuperado de <http://mountain.pe/recursos/attachments/article/137/3.-Demanda-Hidrica-en-el-Centro-Poblado-de-Carcas----YENI-GRANADOS.pdf>
- Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista, P. (1951). *Metodología de la investigación*. Primera edición. Atlacomulco 499 - 501, Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A, Piso 17, Colonia Desarrollo Santa Fe, Delegación Álvaro Obregón, editorial McGRAW – HILL / INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A. de C.V. ISBN: 978-607-15-0291-9. Recuperado de https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

- Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista, P. (1991). *Metodología de la investigación*. Quinta edición. Atlacomulco 499 - 501, Fracc. Ind. San Andrés Atoto, 53500 Naucalpan de Juárez, editorial McGRAW – HILL / INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A. de C.V. ISBN 968-422-931-3. Recuperado de https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- Huari, O. (2012). *Optimización de los factores del fenómeno ariete para mejorar el rendimiento de la bomba de ariete*. (Tesis de pre grado), Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo Perú. Recuperado de http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/203/PMEC_06.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Krol, J. (1951). *The Automatic Hydraulic Ram*. Volume: 165 issue: 1, page(s): 53-73. University of Manitoba, Winnipeg; formerly Central Engineering Division, Howard Smith Paper Mills, Ltd., Montreal. Recuperado de https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1951_165_011_02
- Malca, J. & Quiroz, R. (2016). *Eficiencia de un sistema de suministro de agua por impulsión utilizando bombas de ariete hidráulico con válvulas en serie y paralelo*. (Tesis de pre grado), Universidad Privada del Norte Cajamarca Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10256/Malca%20Abanto%20Julio%20Rogelio%20-%20Quiroz%20Gamboa%20Raider%20Aristedes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mamani, R. (2015). *Aplicación de la bomba de ariete hidráulico en la impulsión de recursos hídricos para riego en el departamento de Puno*. (Tesis de pre grado), Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4601/Mamani_Quispe_Ronald.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de agricultura y riego “MINAGRI” (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Av. Guillermo Prescott N° 490, San Isidro – Lima, Perú. Recuperado de http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf

Oti, P. (2017). *Diseño, construcción y montaje del ariete hidráulico para riego*. (Tesis de pre grado), Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación. Universidad de Cantabria. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/11460/395118.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Paredes, M. & Tuquinga, R. (2012). *Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas*. (Tesis de pre grado), Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2403/1/15T00519.pdf>

Pauro, R. (2018). *Diseño de bomba de ariete hidráulico, en la asociación San Miguel – Yacango distrito Toronta región Moquegua, 2016*. (Tesis de pre grado), Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú. Recuperado de <http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/327/Pauro%20Chavez%20Rusvel%20Poli-%20tesis-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Peralta, H. (2015). *Aplicación del golpe de ariete hidráulico para el aprovechamiento del agua del manantial en Quequerana Moho*. (Tesis de pre grado), Universidad Nacional del Altiplano, Puno Perú. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4602/Peralta_Surco_Hermes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Proyectos de Riegos (2012). *Diplomado en Formulación y Evaluación de Proyectos dentro del Marco del Sistema Nacional de Inversión Pública*. Módulo III. Recuperado de

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/capacidades/capac_12/PRESENTACIONES_julio_ago/RIEGO/3_Formulaci_Riegos.pdf

Rengifo, S. & gallego, J. (2016). *Diseño y construcción de un sistema de ariete hidráulico para el aprovechamiento de aguas lluvias*. (Tesis de pre grado), Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6717/62125R412.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rivadeneira, S. & Silva, L. (2013). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento*. (Tesis de pre grado), Universidad Politécnica Salesiana, Quito Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5989/1/UPS-KT00770.pdf>

Sandoval, R. (2016). *Manual de construcción de un ariete hidráulico para el abastecimiento de agua*. (Tesis de pre grado), Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3954/1/Rigoberto%20Rafael%20Sandoval%20Lopez.pdf>

Serrano, A. (2014). *Análisis de una bomba de ariete en Togo*. Diseño y tecnología para el desarrollo 2014. Recuperado de <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/download/2511/2589>

Vargas, Z. (2019). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Educación, vol 33. Universidad de costa Rica. San Pedro, Montes de Oca, Costa Rica. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

VIII. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor metodólogo Ing. Abel José Rodríguez Yparraguirre, y a mi tutor temático, Ing. Atilio Rubén López Carranza, quienes, con sus experiencia y conocimientos, me guiaron a través de cada etapa del presente proyecto de investigación, para alcanzar los resultados trazados.

También quiero agradecer a toda mi familia, por el apoyo emocional y moral que me dieron aun cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención a mi madre, quien siempre me dio palabras de apoyo, a mi esposa, por el apoyo incondicional que me dio en la elaboración del presente trabajo. A mi hijo, quien siempre estuvo ahí para darme un abrazo reconfortante para renovar energías.

Muchas gracias a todos.

IX. ANEXOS Y APÉNDICE

9.1. ANEXO

Anexo A. Operacionalización de variables.

Tabla 2

Conceptuación y operacionalización de las variables

VARIABLE(S)	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (X)</p> <p>Diseño del Ariete hidráulico</p>	<p>Un ariete hidráulico es un dispositivo, que usa la energía de una caída de agua, para generar potencia y poder elevar un porcentaje del agua de ingreso a una altura mayor que la altura de caída, de forma continua y automática sin ninguna otra energía externa (Arapa,2015)</p>	<p>El diseño del ariete hidráulico es medida en función de los elementos y componentes que serán diseñados</p>	<p>Tubería de suministro</p>	Tipo de material
				Diámetro
				Máxima presión
			<p>Tubería de descarga</p>	Tipo de material
				Diámetro
				Máxima presión
			Cámara de aire	Volumen
			<p>Cuerpo del ariete hidráulico</p>	Modelo
				Tipo de material
				Tipo de unión
<p>Válvula de impulsión</p>	Modelo			
	Fuerza de acción			
<p>Válvula anti retorno</p>	Modelo			
<p>VARIABLE DEPENDIENTE (Y)</p> <p>Abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc</p>	<p>Es aportar agua a los cultivos por medio del suelo para satisfacer sus necesidades hídricas que no fueron cubiertos mediante la precipitación, en las tierras cultivables de la comunidad Cory Aylluyoc (Granados, 2016; Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego “MINACRI”, 2015)</p>	<p>El abastecimiento de agua agrícola es medida en función a los datos para el funcionamiento del ariete hidráulico</p>	<p>Altura de suministro</p>	Caudal suministrado
				Caudal desperdiciado
			<p>Altura de descarga</p>	Caudal elevado

Fuente: Elaboración propia.

Anexo B. Fotografías del trabajo topográfico



Figura 25. Levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 26. Río “Aija”, se captará el caudal de entrada.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 27. Río “Aija”, $Q_{min}=300$ lts/s.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 28. Vista longitudinal del río “Aija”.

Fuente: Elaboración propia.

9.2. APÉNDICE

Apéndice A. Ubicación de la comunidad Campesina Cory Aylluyoc.

Localización:

Departamento: Ancash

Provincia: Aija

Distrito: Coris

Lugar: Matap

Sector: Las Vertientes

Cordillera: Negra

Altitud: 2165 m.s.n.m.

Coordenadas UTM: S 8911483.58, E 202676.02

Macro localización:

Ubicación del departamento de Ancash – provincia de Aija.



Figura 29. Macro localización de la provincia de Aija.

Elaboración: Propia.

Ubicación de la provincia de Aija – distrito de Coris.

Apéndice B. Vías de acceso

Desde la ciudad de Huaraz se puede llegar a la comunidad campesina de Cory Aylluyoc, por la siguiente vía Huaraz-Coris-comunidad campesina de Cory Aylluyoc, en un tiempo aproximado de 3 horas con una distancia de 92.2 km.

Tabla 3

Vías de acceso a la comunidad campesina de Cory Aylluyoc

Acceso	Distancia	Tiempo	Tipo de acceso
Huaraz-Punta Callan	32.8 km	50 min	Vía asfaltada
Punta Callan-Coris	59.4 km	130 min	Trocha
Coris-Matap comunidad campesina de Cory Aylluyoc (proyecto)	3.25 km	40 min	Camino de herradora

Elaboración: Propia.

Apéndice C. Componentes a diseñar del sistema del ariete hidráulico

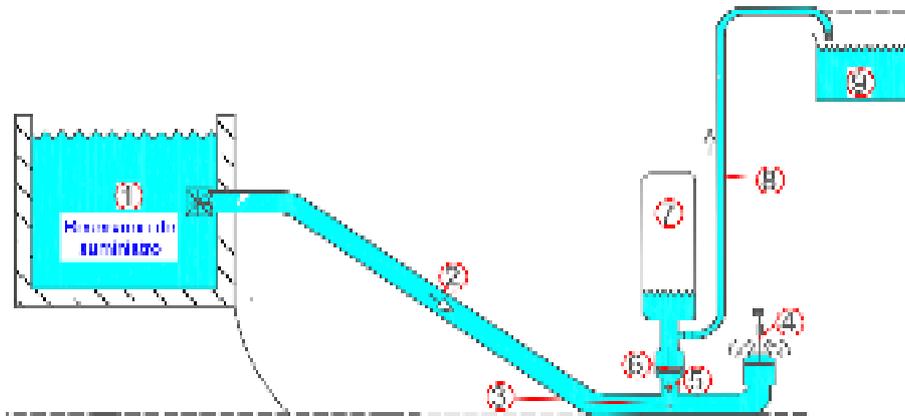


Figura 32. Componentes y piezas a diseñar del sistema del ariete hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

1. Reservorio de suministro o tanque de presión
2. Tubería de alimentación
3. Cuerpo del ariete hidráulico
4. Válvula de impulsión o válvula pulsadora
5. Válvula de aire
6. Válvula anti retorno o válvula check
7. Cámara de aire
8. Tubería de descarga
9. Reservorio de descarga

Apéndice D. Disponibilidad del recurso hídrico

Para la realización del presente proyecto de investigación el recurso hídrico potencial pertenece al río Aija, con caudal disponible de 300 lt/s en épocas de sequía, y 560 lt/s en épocas de avenidas.



Figura 33. Río “Aija”.

Elaboración: Propia.

Apéndice E. Ubicación de los componentes del sistema del ariete hidráulico

Ubicación de la captación: El punto de ubicación de la captación para el abastecimiento de agua se encuentra en las coordenadas UTM S 8912836.65, E 203938.46 y elevación 2342 m.s.n.m.

Ubicación del reservorio de suministro: El punto de ubicación del reservorio de suministro se encuentra en las coordenadas UTM S 8911773.38, E 202776.62 y elevación 2332 m.s.n.m., con una longitud total de 1720 m desde el punto de captación hasta el punto de ubicación del reservorio de suministro.

Ubicación del ariete hidráulico: El punto de ubicación del ariete hidráulico se encuentra en las coordenadas UTM S 8911494.08, E 202675.71 y elevación 2165 m.s.n.m. Alejado del río Aija 40 m, con un desnivel de 10 m, garantizándose su ubicación en una zona segura.

Ubicación del reservorio de descarga: El punto de ubicación del reservorio de descarga se encuentra en las coordenadas UTM S 8912401.04, E 201964.10 y elevación 2700 m.s.n.m. esta ubicación ha sido elegida estratégicamente de manera que pueda abastecer el agua a los terrenos de la comunidad campesina Cory Aylluyoc.



Figura 34. Vista satelital del punto de captación, reservorio de suministro, ariete hidráulico y reservorio de descarga.

Elaboración: Propia.

Apéndice F. Ecuaciones generales para el diseño de tuberías

Las variables que intervienen en los cálculos de diseño de tuberías son:

VARIABLES RELACIONADAS CON LA TUBERÍA:

d: diámetro interior de la tubería

L: longitud de la tubería

k_s : rugosidad absoluta de la tubería

VARIABLES RELACIONADAS CON EL FLUIDO:

ρ : densidad del fluido

μ : viscosidad cinemática

ν : coeficiente de viscosidad cinemática

Q: caudal del flujo

V: velocidad del fluido

VARIABLES RELACIONADAS CON EL ESQUEMA DEL SISTEMA:

h_f : pérdidas de carga total en la tubería

h_f : pérdidas de carga debido a la fricción

h_m : pérdidas menores

f: factor de fricción de Darcy

Σk_m : coeficiente global (sumados) de pérdidas menores

g: aceleración de la gravedad

Perdidas de carga por fricción, ecuación de Darcy-Weissbach:

$$h_f = f \frac{L V^2}{d 2g} \quad (1.1)$$

Para calcular el factor de fricción de Darcy (f), se calcula el número de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}$$
$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} \quad (1.2)$$

Caso 1: En tuberías lisa o rugosas en flujo laminar $Re < 2100$, f se determina a partir de la fórmula de Poiseuille:

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

Caso 2: En tuberías lisa o rugosas en flujo de transición $2100 < Re < 4000$ o en flujo turbulento $Re > 4000$, f se determina a partir de la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.523}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (1.3)$$

Perdidas de cargas menores

$$h_m = \Sigma k_m \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (1.4)$$

k_m es el coeficiente de pérdida menor característico de cada accesorio, determinados experimentalmente

Perdidas de carga total

$$h_{ft} = h_f + h_m$$

$$h_{ft} = h_f + \Sigma k_m \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$h_f = h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} \right) \quad (1.5)$$

Demstración de la ecuación general

Mediante la ecuación 1.1, se puede despejar el factor de fricción f :

$$f = \frac{2gdh_f}{LV^2}$$

$$\sqrt{f} = \sqrt{\frac{2gdh_f}{LV^2}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2gdh_f}{LV^2}}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{V\sqrt{L}}{\sqrt{2gdh_f}} \quad (1.6)$$

Remplazando la ecuación 1.5 en 1.3:

$$\frac{V\sqrt{L}}{\sqrt{2gdh_f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.523V\sqrt{L}}{Re\sqrt{2gdh_f}} \right) \quad (1.7)$$

Remplazando las ecuaciones 1.2 y 1.5 en 1.7:

$$\frac{V\sqrt{L}}{\sqrt{2gd\left(h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4}\right)\right)}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.523V\sqrt{L}}{\frac{v_{dp}}{\mu} \sqrt{2gd\left(h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4}\right)\right)}} \right)$$

Donde: $V = \frac{Q}{A}$, tenemos:

$$Q + \sqrt{\frac{g\pi^2 d^5}{2L} \left(h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} \right) \right)} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.523\mu\sqrt{L}}{\sqrt{2g\rho^2 d^3 \left(h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} \right) \right)}} \right) = 0 \quad (EG.1)$$

Ecuación de conservación de energía o ecuación de Bernoulli generalizada entre los puntos.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{ft1-2} \quad (EG.2)$$

Apéndice G. Determinación del caudal de suministro

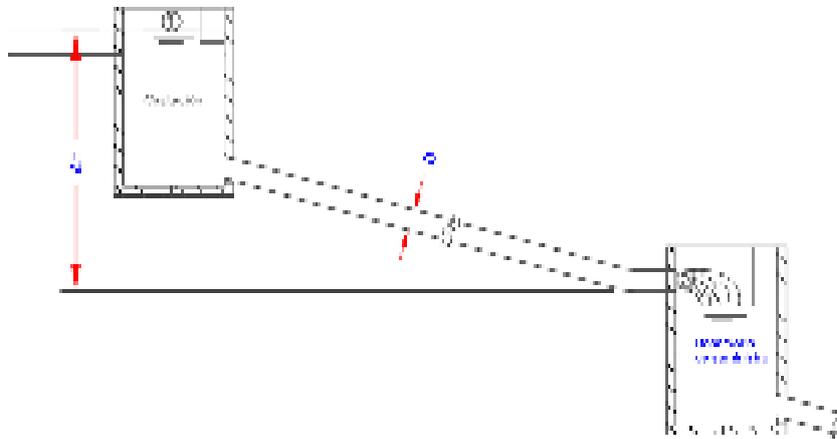


Figura 35. Aplicación de las ecuaciones EG.1 y EG.2 entre los puntos 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia.

Para las consideraciones y datos iniciales:

Tubería de abastecimiento lisa HDPE SDR26 (S12.5), diámetro nominal de 8 pulgadas

$e=6,48$ mm

$d_i = 0.20222$ m

$k_s = 2 \times 10^{-6}$ m.

$L_a = 1270$ m

$\Delta H = 2342 - 2332 = 10$ m

$\rho=998,29$ kg/m³; temperatura 20 °C

$\mu=0,001003$ kg/(m.s); temperatura 20 °C

$g = 9,81$ m/s²

coeficiente de pérdida de entrada $k_m=1$

coeficiente de pérdida de válvula compuesta $k_m=0.07$

Remplazando en las ecuaciones generales tratadas en el apéndice F, tenemos:

$$\Sigma k_m = 1 + 0,07 = 1,07$$

$$Q + \sqrt{\frac{g\pi^2 d^5}{2L_a} \left(h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} \right) \right)} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.523\mu\sqrt{L_a}}{\sqrt{2g\rho^2 d^3 \left(h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} \right) \right)}} \right) = 0$$

$$Q + \sqrt{\frac{9,81x\pi^2 x0,20222^5}{2x1270} \left(h_{ft} - 1,07 \left(\frac{8Q^2}{9,81x\pi^2 x0,20222^4} \right) \right)} \log_{10} \left(\frac{0,000002}{3,7x0,20222} + \frac{2,523x0,001003\sqrt{1270}}{\sqrt{2x9,81x998,29^2 x0,20222^3 \left(h_{ft} - 1,07 \left(\frac{8Q^2}{9,81x\pi^2 x0,20222^4} \right) \right)}} \right) = 0 \quad (EC.1)$$

Para las condiciones iniciales de: P1=P2=Patm, v1=0, Z1-Z2=ΔH; remplazando en la ecuación de conservación de energía:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{ft1-2}$$

$$\Delta H = \frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} + h_{ft}$$

$$\frac{8Q^2}{9,81x\pi^2 x0,20222^4} - 10 + h_{ft} = 0 \quad (EC.2)$$

Desarrollando la ecuación 1 y 2, da como resultado:

$$h_{ft} = 9,89369 \text{ m}$$

$$Q_s = 0,04638 \text{ m}^3/\text{s} \cong 46,38 \text{ lt/s}$$

Apéndice H. determinación del diseño de la tubería de suministro o de presión

Esta tubería trabaja bajo altas presiones debido al comportamiento del ariete hidráulico, por lo que la selección del material de la tubería de suministro debe ser capaz de resistir el fenómeno del golpe de ariete en trabajo continuo, para el óptimo funcionamiento del ariete hidráulico.

El material de la tubería de suministro elegido en este proyecto es el hierro dúctil, el cual presenta la siguiente característica utilizado en la fabricación de tuberías: rugosidad absoluta $K_s=0,25$ mm.

El diámetro de la tubería de suministro o presión, se determinará aplicando las ecuaciones generales EG.1 y EG.2 tratadas en el apéndice F, entre los puntos 2 y 3 de la figura 36.

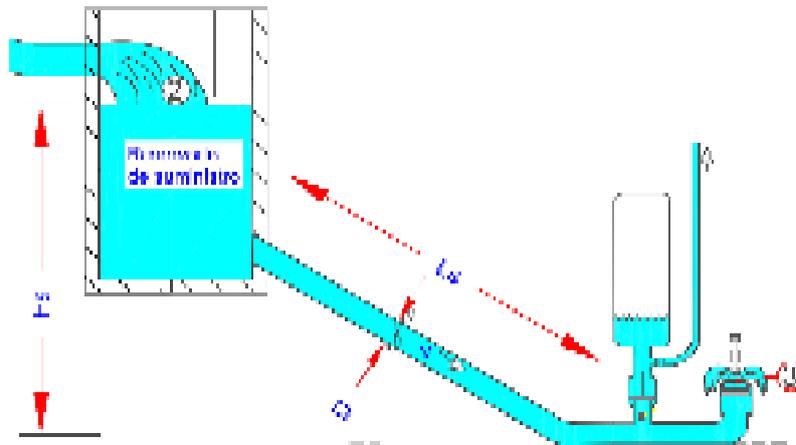


Figura 36. Aplicación de las ecuaciones EG.1 y EG.2 entre los puntos 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el funcionamiento del ariete hidráulico en cada ciclo, al encontrarse la válvula de impulso abierta, el agua empieza acelerarse partiendo desde un caudal inicial Q_i igual a cero, hasta llegar al flujo máximo que cierra la válvula de impulso, con un caudal final máximo Q_{fm} es caudal final máximo en el instante que la válvula de impulso se encuentra abierto e inicia su cierre, y tiende a un flujo permanente,

entonces, se considera el promedio de estos caudales, como el caudal de suministro para el funcionamiento del sistema en cada ciclo:

$$Q_s = \frac{(Q_i + Q_{fm})}{2}$$

Entonces:

$$Q_{fm} = 2Q_s$$

$$Q_{fm} = 2 * 0,04638 = 0,09276 \text{ m}^3/\text{s},$$

Para las condiciones iniciales:

Material de tubería hierro dúctil $k_s = 0,00025 \text{ m}$

$$L_s = 195 \text{ m}$$

$$\Delta H = H_s = 165 \text{ m}$$

$\rho = 998,29 \text{ kg/m}^3$; temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$\mu = 0,001003 \text{ kg/(m.s)}$; temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

coeficiente de pérdida de entrada a ras de pared $k_m = 0.5$

coeficiente de pérdida de válvula compuesta $k_m = 0.115$, accesorio=1

coeficiente de pérdida de codo 45° con bridas $k_m = 0.0.35$, accesorio=2

coeficiente de pérdida de la válvula de impulso

según Zurita, plantea la siguiente ecuación para determinar el coeficiente de pérdida en la válvula de impulso:

$$K_{VI} = \left(1.645 \frac{A_C}{A_P} - 1 \right)^2$$

$$A_C = \frac{\pi d_c^2}{4}$$

$$A_P = \pi d_o S$$

Si:

$$d_o = 0,25 d_c \text{ a } 0,7 d_c ; \text{ para } d_o = 0.05 \text{ m, } d_o = 0,37879 d_c$$

$$S = 0,08 d_c \text{ a } 0,28d_c \quad ; \text{para} \quad S=0,02 \quad \text{m}, \quad S = 0,15152 d_c$$

Remplazando:

$$K_{VI} = \left(1.645 \frac{\left(\frac{\pi d_c^2}{4}\right)}{\pi \times 0,37879 d_c \times 0,15152 d_c} - 1 \right)^2 = \left(1.645 \frac{1}{4 \times 0,37879 \times 0,15152} - 1 \right)^2$$

$$K_{VI} = 38,01$$

Por lo que:

$$\Sigma k_m = 0,5 + 0,115 + 2 \times 0,35 + 38,01 = 39,325$$

Remplazando en la ecuación EG.1 del apéndice A, tenemos:

$$Q + \sqrt{\frac{g \pi^2 d^5}{2L} \left(h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g \pi^2 d^4} \right) \right)} \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.523 \mu \sqrt{L}}{\sqrt{2g \rho^2 d^3 \left(h_{ft} - \Sigma k_m \left(\frac{8Q^2}{g \pi^2 d^4} \right) \right)}} \right) = 0$$

$$0,09276 + \sqrt{\frac{9,81 \times \pi^2 \times d^5}{2 \times 195} \left(h_{ft} - 39,325 \left(\frac{8 \times 0,09276^2}{9,81 \times \pi^2 d^4} \right) \right)} \log_{10} \left(\frac{0,00025}{3.7d} +$$

$$\frac{2.523 \times 0,001003 \sqrt{195}}{\sqrt{2 \times 9,81 \times 998,29^2 \times d^3 \left(h_{ft} - 39,325 \left(\frac{8 \times 0,09276^2}{9,81 \times \pi^2 d^4} \right) \right)}} \right) = 0 \quad (\text{EC.3})$$

Para las condiciones iniciales de: $P_2=P_3=Patm$, $v_2=0$, $Z_2-Z_3=\Delta H = H_s$; remplazando en la EG.2, tenemos:

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + h_{ft2-3}$$

$$\Delta H = \frac{8Q_{fm}^2}{g \pi^2 d^4} + h_{ft}$$

$$\frac{8 \times 0,09276^2}{9,81 \times \pi^2 \times d^4} - 165 + h_{ft} = 0 \quad (\text{EC.4})$$

Desarrollando la ecuación 3 y 4, da como resultado:

$$h_{ft} = 162,78 \text{ m}$$

$$d = 0,13372 \cong 5,26 \text{ pulgadas}$$

Para garantizar un flujo continuo al sistema, seleccionamos una tubería de suministro de 5 pulgadas

$$d_s = 5 \text{ pulgadas}$$

Cuyas características de la tubería comercial para un diámetro nominal de 5 pulgadas del material de hierro dúctil es: diámetro exterior $d_e=144$ mm, espesor $e=6$ mm, diámetro interior $d_i=132$ mm.

Con el diámetro seleccionado se recalcula Q_{fm} y Q_P , utilizando la EG.1 y EG.2

$$Q_{fm} + \sqrt{\frac{9,81 \times \pi^2 \times 0,132^5}{2 \times 195} \left(h_{ft} - 39,325 \left(\frac{8 \times Q_{fm}^2}{9,81 \times \pi^2 \times 0,132^4} \right) \right)} \log_{10} \left(\frac{0,00025}{3,7 \times 0,132} + \frac{2,523 \times 0,001003 \sqrt{195}}{\sqrt{2 \times 9,81 \times 998,29^2 \times 0,132^3 \left(h_{ft} - 39,325 \left(\frac{8 \times Q_{fm}^2}{9,81 \times \pi^2 \times 0,132^4} \right) \right)}} \right) = 0 \quad \text{EC.5}$$

$$\frac{8 \times Q_{fm}^2}{9,81 \times \pi^2 \times 0,132^4} - 165 + h_{ft} = 0 \quad \text{EC.6}$$

Desarrollando la ecuación 5 y 6, da como resultado:

$$Q_{fm} = 0,0904 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{ft} = 162,78 \text{ m}$$

$$f = 0.02292$$

Entonces, se tiene:

$$Q_{SR} = \frac{Q_{fm}}{2} = \frac{0,0904}{2} = 0,0452 \text{ m}^3/\text{s}$$

De lo que se puede destacar que el ariete hidráulico, requiere de un flujo contante mínimo de $0,0452 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el caudal suministrado de $Q_s = 0,04638 \text{ m}^3/\text{s}$, abastece satisfactoriamente al sistema del ariete hidráulico.

Apéndice I. Determinación del diseño del reservorio de suministro

El reservorio de suministro es dimensionado con el fin de crear un volumen de reserva de agua que satisfaga las necesidades del ariete hidráulico, mantener sobre la tubería de suministro una altura de agua suficiente que evite el ingreso de aire, impedir la entrada de elementos sólidos de arrastre y flotantes, además de decantar materiales sólidos en suspensión y permitir su lavado. El dimensionamiento de esta estructura civil se desarrolla a continuación, considerando la figura 37.

La altura mínima a_1 para que ingrese sedimentos a la tubería de suministro, se recomienda un valor de:

$$0,3 < a_1 < 0,5 \text{ (m)}$$

$$a_1 = 0,4 \text{ m}$$

la altura a_2 toma el valor del diámetro exterior de la tubería de suministro

$$a_2 = d_e = 0,144 \text{ m}$$

$$a_2 = d_e = 0,144 \text{ m.}$$

la altura a_3 garantizará que el torbellino del flujo del caudal no genere cavitación, el valor mínimo será de 0,3 m, y se encontrará entre los límites de:

$$0,5d_e < a_3 < 1,5d_e$$

$$a_3 = 1,5 \times 0,144 = 0,216 \text{ m} \geq 0,3, \text{ se toma el valor mínimo}$$

$$a_3 = 0,3 \text{ m}$$

Por efecto del golpe de ariete se crea una elevación del nivel de agua en el reservorio de suministro, se determina con la fórmula:

$$a_4 = 0,543 V_o \sqrt{d_i} = 0,543 \times \frac{4 \times Q_{fm}}{\pi \times d_i^{1,5}}$$

Remplazando:

$$a_4 = 0,543 \times \frac{4 \times 0,0904}{\pi \times 0,132^{1,5}} = 1,30 \text{ M}$$

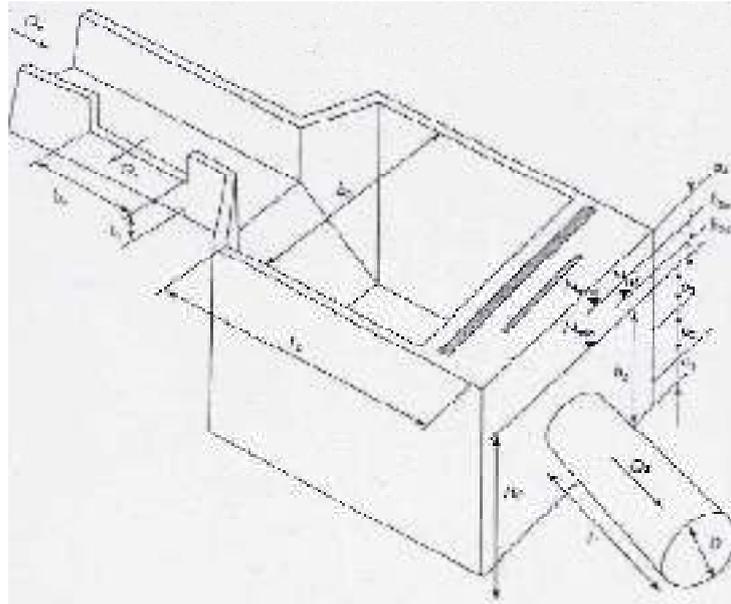


Figura 37. Características hidrodinámicas de la cámara de carga.

Fuente: Martínez, 2012.

En función de la altura de conducción h_1 , de la topografía local, de la calidad del agua, de la ubicación y de la tubería de suministro, se estima un valor para h_2 .

$$h_2 \geq h_{2min} = a_1 + a_2 + a_3 = 0,4 + 0,144 + 0,3$$

$$h_2 \geq 0,844 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,88 \text{ m}$$

Se fija el valor para la velocidad media en el reservorio de suministro V_2 , estará entre 0,6 a 1 m/s:

$$V_2 = 0,6 \text{ m/s}$$

El ancho de la cámara de carga b_2 , se calcula con la expresión:

$$b_2 = \frac{Q_{fm}}{V_2 h_2} = \frac{0,0904}{0,6 \times 0,88} = 0,17 \text{ m}$$

Como el valor de b_2 es pequeño se estima un valor mayor

$$b_2 = 1,20 \text{ m}$$

La reserva de volumen de agua para el arranque h_{2d} en partida brusca, se calcula con la expresión:

$$h_{2d} = \frac{Q_{fm}}{7b_2\sqrt{h_2}} = \frac{0,0904}{7 \times 1,20 \times \sqrt{0,88}} = 0,0115 \text{ m}$$

Se calcula:

$$h_{2e'} = a_1 + a_2 + a_3 + a_{2d} = 0,4 + 0,144 + 0,3 + 0,012 = 0,86 \text{ m}$$

Como $h_{2e'} < h_2$ el valor asumido de h_2 es correcto

$$0,86 < 0,88 \text{ ok}$$

Como se cumple la relación se calcula la longitud L_2 del reservorio de suministro:

$$L_2 = 0,304 \frac{Q_{fm} L_s \sqrt{h_2}}{H_s d_i^2}$$

Calculando L_2 :

$$L_2 = 0,304 \frac{0,0904 \times 195 \times \sqrt{0,88}}{165 \times 0,132^2} = 1,75 \text{ m}$$

Calculo de la altura total

$$h_t = h_2 + h_{2e} + a_4$$

$$h_{2e} = \frac{0,25 Q_{fm}}{b_2 \sqrt{h_2}} = \frac{0,25 \times 0,0904}{1,20 \times \sqrt{0,88}} = 0,02 \text{ m}$$

$$h_t = 0,88 + 0,02 + 1,30 = 2,20 \text{ m}$$

Determinación del volumen de reservorio de suministro

$$Vol_{RS} = b_2 h_t L_2 = 1,20 \times 2,20 \times 1,75$$

$$Vol_{RS} = 4,62 \text{ m}^3$$

Apéndice J. Métodos de evaluación de soluciones:

Para la elección del modelo en las diferentes etapas del diseño, después de cada despliegue de alternativas, corresponde hacer una evaluación, que sirva de base para la toma de decisiones en base a criterios que implican juicios de valor.

Para elegir un elemento o modelo de mecanismo se considera los siguientes aspectos:

- a) Alternativas: Como mínimo debe disponerse de dos alternativas, cuyas características deben ser diferentes.
- b) Criterios: Se debe establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la valoración relativa entre ellas.

En las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que se considera de forma global en todos los métodos de evaluación aparece el problema de estimación de criterios, que pueden agruparse en:

1. Métodos Ordinales: Se clasifica por orden las diferentes soluciones para cada criterio. El inconveniente consiste en la dificultad de integrar los resultados de los distintos criterios en una evaluación global.
2. Métodos Cardinales: Se cuantifica los juicios en relación a la efectividad de las alternativas y a la importancia de los criterios. Estos métodos facilitan la integración de las evaluaciones parciales en un resultado global, pero a menudo puede resultar arbitraria especialmente en las etapas iniciales.

Para decidir entre diversas soluciones, basta conocer el orden de preferencias de la apreciación global. Por ello se recomienda: el método ordinal corregido, que sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada solución, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio se confronta con las restantes soluciones y se asignan los siguientes valores:

1: Si el criterio (o solución) de las filas es superior que el de las columnas.

0,5: Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente al de las columnas.

0: Si el criterio o (solución) de las filas es inferior que el de las columnas.

Luego, para cada solución, se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios, después en otra columna se calculan los valores relativos para cada criterio.

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada criterio por el peso específico de la respectiva alternativa.

De acuerdo a la configuración de la bomba de ariete son tres componentes que entran en los métodos de evaluación de soluciones para encontrar la mejor.

Apéndice K. Determinación del diseño del cuerpo del ariete hidráulico

Planteamiento de las alternativas para el modelo, tipo de unión y material del cuerpo de ariete hidráulico

Alternativa A: cuerpo del ariete hidráulico fabricado con tuberías unidas mediante soldadura

Este modelo es fabricado con piezas de tubería que encajan entre sí, para ser unidas y selladas mediante soldadura, de construcción sencilla por lo que se puede construir en cualquier taller mecánico, la debilidad es que los cambios de sus secciones son muy bruscos, por lo que afecta su diseño hidrodinámico.

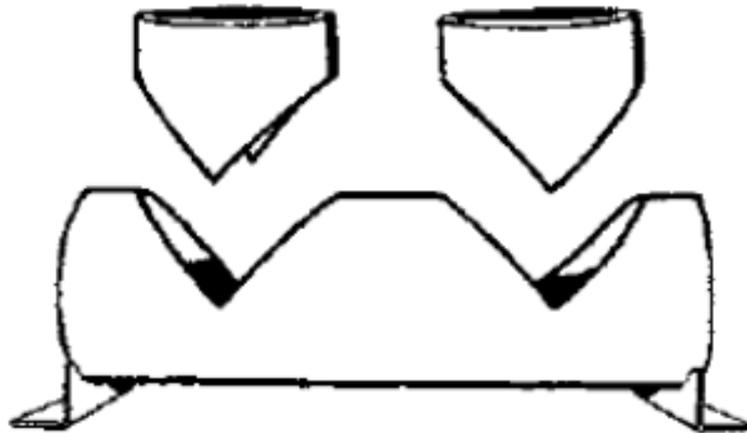


Figura 38. Cuerpo del ariete hidráulico fabricado con tuberías

Fuente: Campaña & Guamán, 2011.

Alternativa B: Cuerpo fabricado con accesorios unidas mediante bridas.

Este modelo es fabricado con accesorios del mismo material que la tubería de suministro unidos mediante bridas, los cuales buscan suavizar los cambios de sección, añade robustez, no hay pérdidas de velocidad ni de presión por su buen diseño hidrodinámico. Está compuesto por codo doble brida 90° con pata, Te triple brida y Codo doble brida 10° - 45°.



Figura 39. Cuerpo del ariete hidráulico fabricado mediante accesorios con bridas
 Fuente: CNBM International Corporation “Tuberías de hierro dúctil y conexiones”.

Alternativa C: Cuerpo fabricado mediante fundición.

Este modelo el cuerpo es fabricado mediante fundición de hierro, costo de fabricación elevado por lo que no se puede realizar en cualquier taller mecánico ya que necesita de procesos más complejos, con un diseño hidráulico solvente, variando forma y tamaño para a las necesidades de cada cliente



Figura 40. Cuerpo del ariete hidráulico fabricado mediante fundición
 Fuente: Ortega, 2013.

Criterios de valoración para la elección del modelo del cuerpo del ariete hidráulico:

Diseño hidrodinámico: garantiza bajas pérdidas de presión y de velocidad

Robustez: calidad y bajos costos de construcción

Construcción: se espera que los procesos de manufactura no sean complejos.

Fiabilidad: vida útil del modelo

Tabla 4

Evaluación del peso específico de cada criterio de valoración para la elección del modelo del cuerpo del ariete hidráulico

Diseño > Robustez > Construcción > Fiabilidad						
Criterio	Diseño	Robustez	Construcción	Fiabilidad	Σ	Ponderación
Diseño	0,5	1	1	1	3,5	0,4375
Robustez	0	0,5	1	1	2,5	0,3125
Construcción	0	0	0,5	1	1,5	0,1875
Fiabilidad	0	0	0	0,5	0,5	0,0625
				suma	8	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Evaluación del peso específico del criterio de diseño

Diseño	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,4375)
Alternativa A	0,5	0	0	0,5	0,111	0,049
Alternativa B	1	0,5	0,5	2	0,4445	0,194
Alternativa C	1	0,5	0,5	2	0,4445	0,194
			suma	4,5	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Evaluación del peso específico del criterio de robustez

Robustez	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,3125)
Alternativa A	0,5	0	0	0,5	0,111	0,035
Alternativa B	1	0,5	0,5	2	0,4445	0,139
Alternativa C	1	0,5	0,5	2	0,4445	0,139
			suma	4,5	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7
Evaluación del peso específico del criterio de Construcción

Construcción	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,1875)
Alternativa A	0,5	0,5	1	2	0,4445	0,083
Alternativa B	0,5	0,5	1	2	0,4445	0,083
Alternativa C	0	0	0,5	0,5	0,111	0,021
			suma	4,5	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8
Evaluación del peso específico del criterio de fiabilidad

Fiabilidad	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,0625)
Alternativa A	0,5	0,5	0,5	1,5	0,333	0,021
Alternativa B	0,5	0,5	0,5	1,5	0,333	0,021
Alternativa C	0,5	0,5	0,5	1,5	0,333	0,021
			suma	4,5	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9
Conclusiones para el cuerpo del ariete hidráulico

Conclusión	Diseño	Robustez	Construcción	Fiabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa A	0,049	0,035	0,083	0,021	0,188	3
Alternativa B	0,194	0,139	0,083	0,021	0,437	1
Alternativa C	0,194	0,139	0,021	0,021	0,375	2

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 7. Se concluye que la Alternativa B, Cuerpo fabricado con accesorios unidas mediante bridas, se ubica en el primer lugar como la mejor alternativa, lo cual es el elegido en este proyecto. El tipo de material de

los accesorios es de fundición dúctil, revestido con epoxi atóxico 250 micras PN 16, con enchufe bridas según EN-545

Apéndice L. Determinación del diseño de la válvula de impulso del ariete hidráulico

Determinación del modelo de la válvula de impulso

Planteamiento de las alternativas para la determinación del modelo de la válvula de impulso del ariete hidráulico

Alternativa A: válvula de impulso regulada con resorte de pletina

Este modelo es de construcción artesanal, se puede construir en cualquier taller mecánico. La fuerza que mantiene abierta la válvula es proporcionada por la pletina resorte, su ensamblaje puede ser en posición vertical como horizontal.

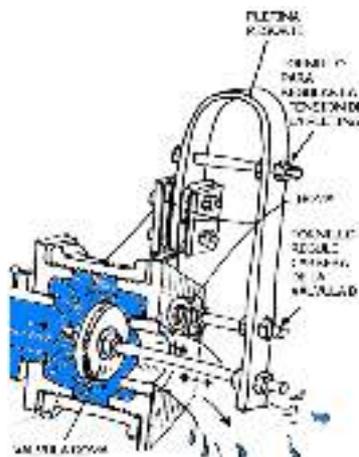


Figura 41. Válvula de impulso con resorte de pletina

Fuente: Rengifo & Gallego, 2016.

Alternativa B: Válvula de impulso regulada con resorte helicoidal de compresión

Este modelo es de construcción artesanal, se puede construir en cualquier taller mecánico. La fuerza que mantiene abierta la válvula es proporcionada por el resorte

helicoidal, lo que implica cálculos previos precisos y construcción de elementos exactos, su ensamblaje puede ser en posición vertical como horizontal.

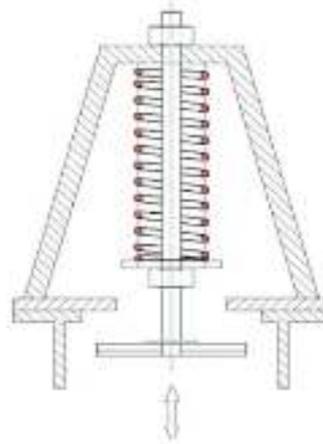


Figura 42. Válvula de impulso con resorte helicoidal

Fuente: Malca & Quiroz, 2016.

Alternativa C: Válvula de impulso regulada con pesas en la parte inferior

Este modelo es de construcción artesanal, se puede construir en cualquier taller mecánico. La fuerza que mantiene abierta la válvula es proporcionada mediante pesas colocadas en el pie de la válvula de impulso, su ensamblaje es en la posición vertical.

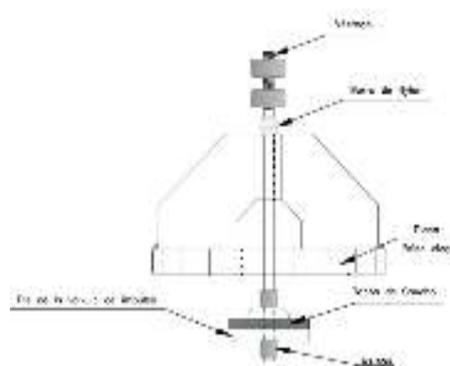


Figura 43. Válvula de impulso con pesas en la parte inferior

Fuente: Chero, 2018.

Alternativa D: Válvula de impulso regulada con pesas en la parte superior

Este modelo es de construcción artesanal, se puede construir en cualquier taller mecánico. La fuerza que mantiene abierta la válvula es proporcionada mediante pesas colocadas en el la parte superior del vástago de la válvula de impulso, su ensamblaje es en la posición vertical.

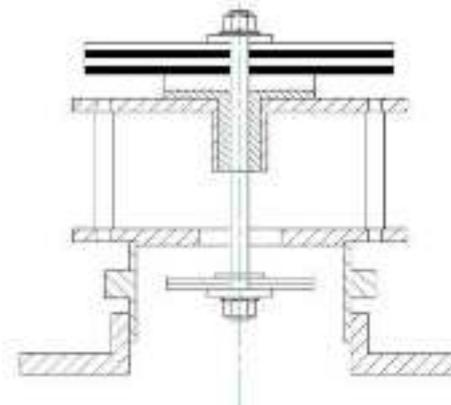


Figura 44. Válvula de impulso con pesas en la parte superior
Fuente: Malca & Quiroz, 2016.

Alternativa E: Válvula de impulso con plato perforado

Este modelo es de construcción industrial o artesanal, no se puede construir en cualquier taller mecánico. La fuerza que mantiene abierta la válvula es proporcionada mediante la propiedad de resistencia a la flexión del componente de goma o caucho, su construcción es complicada ya que solo es utilizado en arietes hidráulicos de producción industrial, su ensamblaje es en la posición vertical o horizontal.



Figura 45. Válvula de impulso con plato perforado

Fuente: análisis de una bomba de ariete en Togo.

Criterios de valoración para la elección del modelo de la válvula de impulso del ariete hidráulico

Sensibilidad: atributo que depende el correcto funcionamiento del ariete hidráulico

Regulación: fácil regulación de la carrera

Fiabilidad: vida útil del modelo

Construcción: complejidad en el proceso de manufactura

Precio: optimización del costo del modelo

Tabla 10

Evaluación del peso específico de cada criterio de valoración para la elección del modelo de la válvula de impulso del ariete hidráulico

Sensibilidad > Regulación > Fiabilidad > Construcción = Precio							
Criterio	Sensibilidad	Regulación	Fiabilidad	Construcción	Precio	Σ	Ponderación
Sensibilidad	0.5	1	1	1	1	4.5	0.36
Regulación	0	0.5	1	1	1	3.5	0.28
Fiabilidad	0	0	0.5	1	1	2.5	0.2
Construcción	0	0	0	0.5	0.5	1.0	0.08
Precio	0	0	0	0.5	0.5	1.0	0.08
					suma	12.5	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Evaluación del peso específico del criterio de sensibilidad para la válvula de impulso

Sensibilidad	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Alternativa E	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,36)
Alternativa A	0.5	0.5	1	1	0	3.0	0.24	0.0864
Alternativa B	0.5	0.5	1	1	0	3.0	0.24	0.0864
Alternativa C	0	0	0.5	0.5	0	1.0	0.08	0.0288
Alternativa D	0	0	0.5	0.5	0	1.0	0.08	0.0288
Alternativa E	1	1	1	1	0.5	4.5	0.36	0.1296
					suma	12.5	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Evaluación del peso específico del criterio de regulación para la válvula de impulso

Fuente: Elaboración propia

Regulación	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Alternativa E	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,28)
Alternativa A	0.5	0.5	1	1	1	4.0	0.32	0.0896
Alternativa B	0.5	0.5	1	1	1	4.0	0.32	0.0896
Alternativa C	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0.12	0.0336
Alternativa D	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0.12	0.0336
Alternativa E	0	0	0.5	0.5	0.5	1.5	0.12	0.0336
					suma	12.5	1	

Tabla 13

Evaluación del peso específico del criterio de fiabilidad para la válvula de impulso

Fiabilidad	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Alternativa E	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,2)
Alternativa A	0.5	0.5	0	0	1	2.0	0.16	0.032
Alternativa B	0.5	0.5	0	0	1	2.0	0.16	0.032
Alternativa C	1	1	0.5	0.5	1	4.0	0.32	0.064
Alternativa D	1	1	0.5	0.5	1	4.0	0.32	0.064

Alternativa E	0	0	0	0	0.5	0.5	0.04	0.008
					suma	12.5	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Evaluación del peso específico del criterio de construcción para la válvula de impulso

Construcción	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Alternativa E	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0.08)
Alternativa A	0.5	0	0	0	1	1.5	0.12	0.0096
Alternativa B	1	0.5	0	0	1	2.5	0.2	0.016
Alternativa C	1	1	0.5	0.5	1	4.0	0.32	0.0256
Alternativa D	1	1	0.5	0.5	1	4.0	0.32	0.0256
Alternativa E	0	0	0	0	0.5	0.5	0.04	0.0032
					suma	12.5	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Evaluación del peso específico del criterio de precio para la válvula de impulso

Precio	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Alternativa E	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0.08)
Alternativa A	0.5	0.5	0	0	1	2.0	0.16	0.0128
Alternativa B	0.5	0.5	0	0	1	2.0	0.16	0.0139
Alternativa C	1	1	0.5	0.5	1	4.0	0.32	0.0278
Alternativa D	1	1	0.5	0.5	1	4.0	0.32	0.0278
Alternativa E	0	0	0	0	0.5	0.5	0.04	0.0035
					suma	12.5	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16

Conclusiones para la válvula de impulso del ariete hidráulico

conclusión	Sensibilidad	Regulación	Fiabilidad	Construcción	Precio	Σ	Prioridad
Alternativa A	0.0864	0.0896	0.032	0.0096	0.0128	0.2304	2
Alternativa B	0.0864	0.0896	0.032	0.016	0.0139	0.2379	1
Alternativa C	0.0288	0.0336	0.064	0.0256	0.0278	0.1798	3
Alternativa D	0.0288	0.0336	0.064	0.0256	0.0278	0.1798	3
Alternativa E	0.1296	0.0336	0.008	0.0032	0.0035	0.1779	4

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 13. Se concluye que la Alternativa B, válvula de impulso regulada con resorte helicoidal de compresión, se ubica en el primer lugar como la mejor alternativa, lo cual es el seleccionado, para el presente diseño.

Determinación de la fuerza de acción de la válvula de impulso

Datos requeridos del diseño de la tubería de suministro:

$$d_o = 0,05 \text{ m}$$

$$S = 0,02 \text{ m}$$

$$L_s = 195 \text{ m}$$

$$H_s = 165 \text{ m}$$

$$\rho = 998,29 \text{ kg/m}^3; \text{ temperatura } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\Sigma k_m = 39,325$$

$$d_i = 132 \text{ mm.}$$

$$Q_{fm} = 0,0904 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{ft} = 162,78 \text{ m}$$

$$f = 0.02292$$

Determinación del diámetro del pie de la válvula (d_{pv})

Según, Nekrasov:

$$d_{pv} = 1,25d_o = 1,25 \times 0,05 = 0,0625 \text{ m}$$

Determinación del espesor del pie de la válvula de impulso (e_{pv})

$$e_{pv} = 0,14d_o = 0,14 \times 0,05 = 0,007 \text{ m}$$

Determinación del vástago de la válvula de impulso (d_v)

$$d_v = 0,12d_o + 0,01 = 0,12 \times 0,05 + 0,01 = 0,016 \text{ m}$$

Entonces:

$$d_v = \frac{3}{4} \text{ pulgada} = 0,01905 \text{ m}$$

Determinación de la carrera (S)

$$S = 0,32d_{pv} = 0,32 \times 0,0625 = 0,02 \text{ m}$$

Determinación de la longitud del vástago (L_v)

La longitud del vástago de la válvula de impulso comprenderá el espesor del pie de la válvula, espesores de 3 tuercas, 2 arandelas, altura de soporte guía, longitud de resorte, 3 cm de pasante, estimándose su valor en:

$$L_v = 0,35 \text{ m}$$

Determinación del peso de la válvula de impulso (W_{Tv})

$$W_{Tv} = W_{\text{pie de la válvula}} + W_{\text{vástago}} + W_{\text{tuercas y arandelas}}$$

$$W_{Tv} = \frac{\gamma_a \pi (d_{pv}^2 - d_v^2) e}{4} + \frac{\gamma_a \pi d_n^2 L_v}{4} + 5xP_{\text{tuercas}} + 3xP_{\text{arandelas}}$$

$$W_{Tv} = \frac{7755 \times \pi (0,0625^2 - 0,01905^2) \times 0,007}{4} + \frac{7755 \times \pi \times 0,01905^2 \times 0,35}{4} + 5 \times 0,08 + 3 \times 0,28$$

$$W_{Tv} = 2,16 \text{ kg} = 21,19 \text{ N}$$

Determinación de la fuerza hidráulica sobre la válvula de impulso

$$W_{max} \leq \frac{2A_{pv} H_s \rho g \Phi_{(s)}}{M}$$

$$\Phi(s) = \frac{0.345 - 0.275 \times s + 10^{(0.52-6.85 \times s)}}{s}$$

$$M = 1 + f \frac{L_s}{d_i} + \Sigma K$$

$$A_{pv} = \frac{\pi d_{pv}^2}{4}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{W_0}{A_{pv} \rho \Phi(s)}}$$

Remplazando:

$$\Phi(s) = \frac{0.345 - 0.275 \times 0,02 + 10^{(0.52-6.85 \times 0,02)}}{0,02} = 137,74804$$

$$M = 1 + 0,0229157 \frac{195}{0,132} + 39,325 = 74,17775$$

$$A_{pv} = \frac{\pi d_{pv}^2}{4} = \frac{\pi \times 0,0625^2}{4} = 0,003068 \text{ m}^2$$

$$W_{max} \leq \frac{2 \times 0,003068 \times 165 \times 998,29 \times 9,81 \times 137,74804}{74,17775} = 18412 \text{ N}$$

Para garantizar el correcto funcionamiento del ariete hidráulico, se asume que el peso sobre la válvula de impulso es el 90% W_{max}

$$W_0 = 90\% W_{max} = 0,9 \times 18412 = 16570,8 \text{ N}$$

Selección del muelle para la válvula de impulso

Calculo de carga para comprimir 1mm del muelle:

$$R_{max} = \frac{W_0 - W_{T_v}}{S} = \frac{16570,8 \text{ N} - 21.19 \text{ N}}{20 \text{ mm}} = 827,48 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Buscando el valor de Rmax en la figura 46, encontramos que el valor inferior más cercano a Rmax es $R = 819 \frac{N}{mm}$

Entonces el tipo de muelle para la válvula de impulso, que satisface las necesidades es: muelle rectangular extrafuerte XM200 + 63x89

Determinación de la fuerza de acción de la válvula de impulso

$$W = RS + W_{Tv} = 819 \frac{N}{mm} \times 20 \text{ mm} + 21,19 = 16401,19 \text{ N}$$

Determinación de la velocidad del agua que cierra la válvula de impulso:

$$V_2 = \sqrt{\frac{W}{A_{pv} \rho \Phi(s)}} = \sqrt{\frac{16401,19}{0,003068 \times 998,29 \times 137,74804}} = 6,23 \text{ m/s}$$

		XM194 carga LEVE		XM196 carga MEDIA		XM198 carga FUERTE		XM200 carga EXTRA FUERTE		
Di mm	Di mm	R/mm	sección	R/mm	sección	R/mm	sección	R/mm	sección	
50	25	64	130.0	7.25	208.0	7.94	413.0	8.73	708.0	11.33
		70	125.0	8.30	208.0	8.86	328.0	11.36	572.0	13.86
		80	108.0	9.36	148.0	10.39	208.0	12.75	475.0	16.39
		100	84.0	10.59	118.0	11.78	248.0	16.30	405.0	17.30
		115	81.0	11.80	108.0	13.80	215.0	18.80	352.0	18.71
		127	71.0	13.17	82.0	14.80	192.0	18.71	348.0	21.12
		138	66.5	14.17	82.0	15.83	168.0	18.89	289.0	23.44
		152	60.0	14.87	80.0	16.82	164.0	20.88	239.0	25.38
		178	52.0	16.87	69.5	18.88	134.0	23.89	213.0	27.72
		200	44.0	18.88	59.6	21.88	117.0	26.87	182.0	31.80
254	36.0	24.23	43.9	30.37	89.0	34.24	153.0	41.89		
306	28.5	33.43	38.6	40.39	73.0	44.80	127.0	54.43		
63	39	76	168.0	10.89	312.0	12.85	618.0	14.81	852.0	13.37
		80	158.0	12.35	260.0	14.84	514.0	16.30	819.0	16.42
		100	131.0	22.82	221.0	22.89	438.0	20.33	700.0	46.83
		113	118.0	24.33	187.0	24.48	379.0	22.35	609.0	43.37
		127	103.0	25.38	168.0	25.89	330.0	24.70	505.0	46.17
		152	84.0	27.32	136.0	29.81	269.0	28.21	408.0	52.89
		178	71.5	33.89	114.0	34.88	239.0	40.27	364.0	62.81
		200	61.7	36.37	108.0	38.78	198.0	41.25	297.0	66.81
		254	47.0	46.82	78.4	48.88	155.0	48.42	263.0	88.24
		306	38.2	66.39	64.7	61.89	128.0	60.53	218.0	130.64

Figura 46. Muelles de compresión sección rectangular extrafuertes

Fuente: Elementos de matricera, información de muelles de compresión MAFASA.

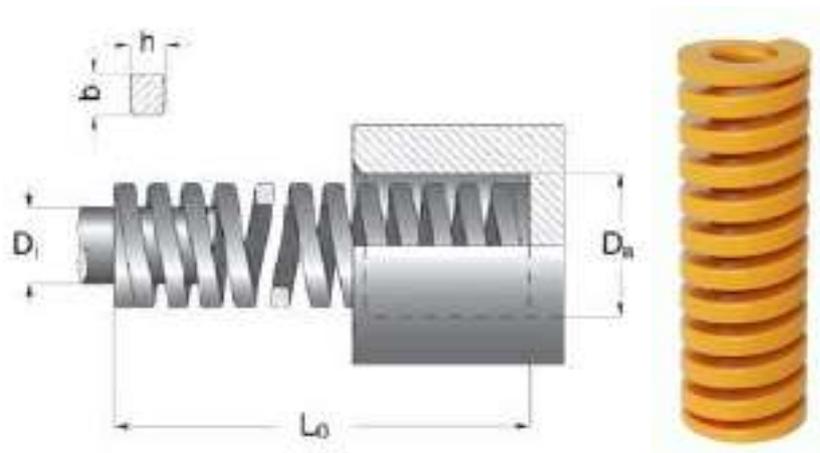


Figura 47. Muelles de compresión de sección rectangular extrafuertes

Fuente: Elementos de matricera, información de muelles de compresión MAFASA.

D_a : Diámetro alojamiento

D_i : Diámetro guía

L_0 : Longitud libre

R : Carga para comprimir 1mm (N/mm)

Apéndice M. Determinación del espesor de la tubería de suministro

Para determinar el espesor de la tubería de suministro, se calcula la presión total de carga.

Determinación de la presión total de carga:

$$H_t = H_s + \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{V_2}{g} c$$

$$c = \sqrt{\frac{\frac{E_a}{\rho}}{1 + \frac{E_a d_i}{E_{mt} e}}}$$

$$P_t = \rho g H_t$$

Para:

$$E_a = 2,225 \times 10^9 \frac{N}{m^2}, \text{ agua a temperatura } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho = 998,29 \text{ kg/m}^3; \text{ agua a temperatura } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E_{mt} = 160 \times 10^9 \frac{N}{m^2}, \text{ (hierro dúctil)}$$

Remplazando, tenemos.

$$c = \sqrt{\frac{\frac{E_a}{\rho}}{1 + \frac{E_a d_i}{E_{mt} e}}} = \sqrt{\frac{\frac{2,225 \times 10^9}{998,29}}{1 + \frac{2,225 \times 10^9 \times 0,132}{160 \times 10^9 \times 0,006}}} = 1306,4 \text{ m/s}$$

$$\Delta h = \frac{V_2}{g} c = \frac{6,235}{9,81} \times 1306,4 = 830,32 \text{ m}$$

$$H_t = H_s + \Delta h = 165 + 830,32 = 995,32 \text{ m}$$

$$P_t = \rho g H_t = 998,29 \times 9,81 \times 995,32 = 9747441,09 \text{ N/m}^2$$

Determinación del espesor mínimo de la tubería de suministro

Según la normativa DIM, apartado 6 de la UNE-EN 13480-3, el espesor mínimo de la tubería de impulso se calcula con la siguiente expresión:

Para $\frac{D_e}{D_i} \leq 1,7$:

$$e = \frac{P_c D_e}{2f_d z + P_c}$$

$$f_d = \min \left[\frac{R_{eht}}{1,5} \text{ ó } \frac{R_{p0,2t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right]$$

Para:

$$D_e = 144 \text{ mm}$$

$$D_i = 132 \text{ mm}$$

$$P_t = 9,74744109 \text{ N/mm}^2$$

z : coeficiente de unión, se toma 1 ya que no hay soldaduras

Para el tipo de material de fundición de hierro dúctil:

$$R_{eht} = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 420 \text{ N/mm}^2$$

Remplazando tenemos:

$$\frac{D_e}{D_i} = \frac{144}{132} = 1,09 \leq 1,7 \text{ ; cumple con la condición}$$

$$f_d = \min \left[\frac{R_{eht}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right] = \min \left[\frac{300}{1,5}; \frac{420}{2,4} \right] = \min[200; 175] = 175 \text{ N/mm}^2$$

$$e = \frac{P_c D_e}{2f_d z + P_c} = \frac{9,74744109 \times 144}{2 \times 175 \times 1 + 9,74744109} = 3,9 \text{ mm}$$

El espesor mínimo de la tubería de suministro es de 3,9 mm, las tuberías de fundición de hierro dúctil tienen un espesor de fabricación de 6 mm, por lo que se considera como óptimo para soportar las presiones del funcionamiento del ariete hidráulico.

Apéndice N. Determinación del diseño de la válvula anti retorno del ariete hidráulico

Determinación del modelo de la válvula anti retorno

Planteamiento de las alternativas para la determinación del modelo de la válvula anti retorno del ariete hidráulico

Alternativa A: Válvula de retención clapeta oscilante GAER con asiento metal-metal doble brida

Este modelo posee un disco abisagrado que se abre con la presión en la tubería y se cierra con la disminución de la presión, generalmente es empleada cuando se requiere una mínima resistencia a la circulación, en tuberías en posición vertical con circulación ascendente.

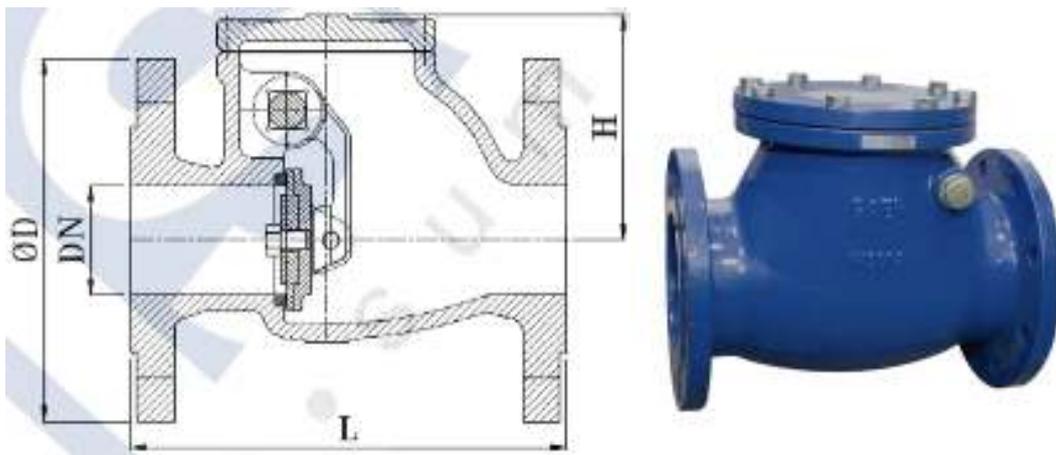


Figura 48. Válvula de retención a clapeta

Fuente: válvulas. Suministros Valsum, catalogo 2017/2018.

Alternativa B: Válvula de retención de asiento a piston con bridas

Este modelo de válvula de retención tipo elevador Econ, de hierro fundido con disco y asiento de acero inoxidable, disco con resorte, patrón recto con bonete atornillado, conexión bridada acc. según DIN PN16, decuada para instalación horizontal y vertical (flujo ascendente).

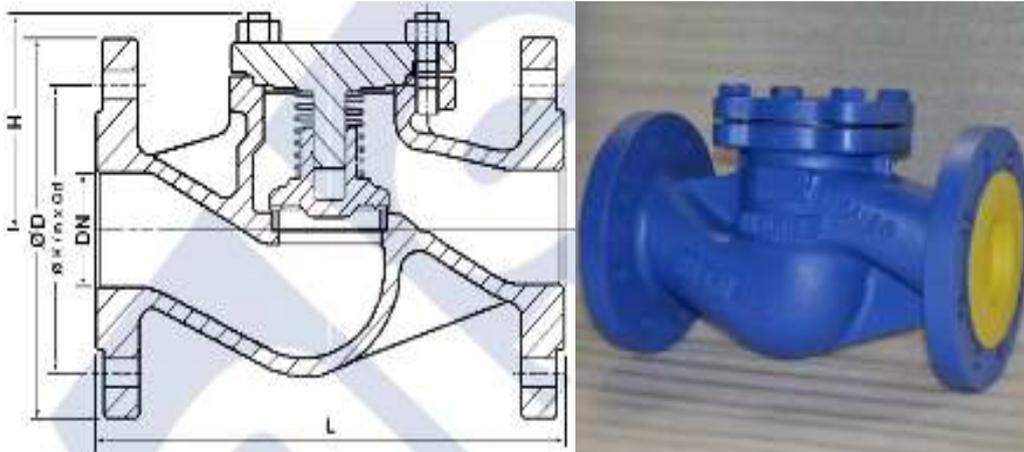


Figura 49. Válvula de retención de asiento a pistón

Fuente: válvulas. Suministros Valsum, catalogo 2017/2018.

Alternativa C: Válvula de retención ICORET VR

Este modelo está especialmente diseñado para el paso de fluidos líquidos, preparadas para el montaje de bridas, asiento de acero inoxidable, disco con resorte, patrón recto con bonete atornillado; el área de paso del flujo del fluido alrededor del disco es más grande que en anteriores diseños, por lo que la pérdida de carga es mínima. Todas las componentes de la válvula incluido su parte exterior, pueden ser remplazados rápida y fácilmente en el mismo sitio del montaje.

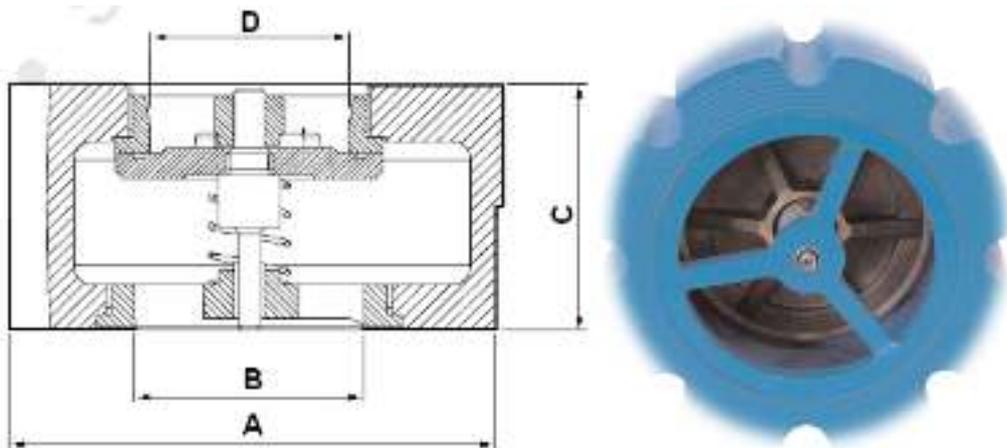


Figura 50. Válvula de retención ICORET VR

Fuente: válvulas. Suministros Valsum, catalogo 2017/2018.

Alternativa D: Válvula de retención Roll Seal Modelo 100-42 de Cla-Val

Este modelo es una válvula operada hidráulicamente, controla el flujo del líquido por medio de un elemento de control flexible: un émbolo. Consiste en 2 partes: cuerpo de una pieza fabricado en acero por el proceso de cera perdida y el liner elastomérico. El cuerpo de la válvula es construido con costillas internas y ranuras formando una parrilla que rodea al liner para darle soporte. Esta válvula cerrada esta forma por el liner cubriendo totalmente la parrilla y asentando contra las superficies realzadas del cuerpo de la válvula. Este modelo es de diseño compacto, material de peso ligero apta para trabajar a presiones altas.

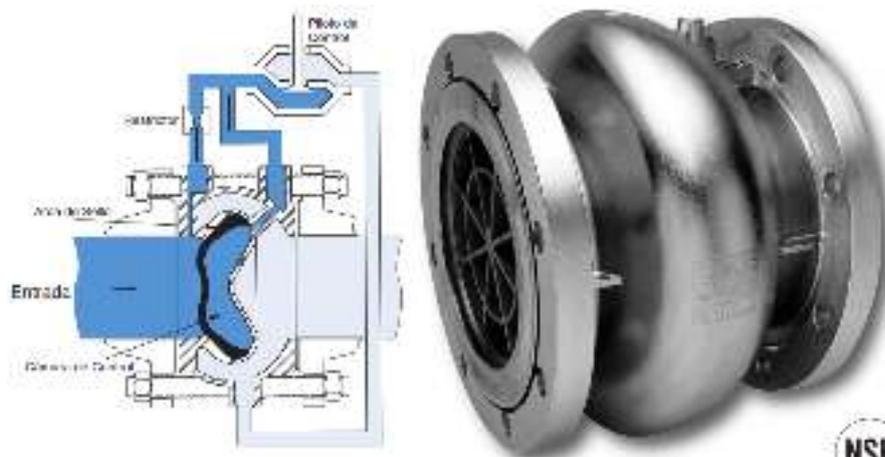


Figura 51. Válvula de retención Roll Seal Modelo 100-42 de Cla-Val

Fuente: Soluciones integrales con válvulas de control automáticos CLA-VAL.

Criterios de valoración para la elección del modelo de la válvula anti retorno del ariete hidráulico.

Sensibilidad: atributo que garantiza la mayor tasa de bombeo del ariete hidráulico

Robustez: calidad del modelo

Fiabilidad: vida útil del modelo

Precio: optimización del costo del modelo

Tabla 17

Evaluación del peso específico de cada criterio de valoración para la elección del modelo de la válvula anti retorno del ariete hidráulico

Sensibilidad > Robustez > Fiabilidad > Precio						
Criterio	Sensibilidad	Robustez	Fiabilidad	Precio	Σ	Ponderación
Sensibilidad	0.5	1	1	1	3.5	0.4375
Robustez	0	0.5	1	1	2.5	0.3125
Fiabilidad	0	0	0.5	1	1.5	0.1875
Precio	0	0	0	0.5	0.5	0.0625
				suma	8	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

Evaluación del peso específico del criterio de sensibilidad para la válvula anti retorno

sensibilidad	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,4375)
Alternativa A	0.5	0.5	0	0	1.0	0.125	0.0547
Alternativa B	0.5	0.5	0	0	1.0	0.125	0.0547
Alternativa C	1	1	0.5	0	2.5	0.3125	0.1367
Alternativa D	1	1	1	0.5	3.5	0.4375	0.1914
				suma	8	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Evaluación del peso específico del criterio de robustez para la válvula anti retorno

Robustez	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,3125)
Alternativa A	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	0.25	0.0781
Alternativa B	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	0.25	0.0781
Alternativa C	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	0.25	0.0781
Alternativa D	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	0.25	0.0781
				suma	8	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Evaluación del peso específico del criterio de fiabilidad para la válvula anti retorno

Fiabilidad	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,1875)
Alternativa A	0.5	1	1	1	3.5	0.4375	0.082
Alternativa B	0	0.5	0.5	1	2.0	0.25	0.0469
Alternativa C	0	0.5	0.5	1	2.0	0.25	0.0469
Alternativa D	0	0	0	0.5	0.5	0.0625	0.0117
				suma	8	1	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Evaluación del peso específico del criterio de precio para la válvula anti retorno

Precio	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D	Σ	Ponderación	Ponderación x peso específico (0,0625)
Alternativa A	0.5	0.5	0	1	2.0	0.25	0.0156
Alternativa B	0.5	0.5	0	1	2.0	0.25	0.0156
Alternativa C	1	1	0.5	1	3.5	0.4375	0.0273
Alternativa D	0	0	0	0.5	0.5	0.0625	0.0039
				suma	8	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Conclusiones para la válvula anti retorno del ariete hidráulico

conclusión	Sensibilidad	Robustez	Fiabilidad	Precio	Σ	Prioridad
Alternativa A	0.0547	0.0781	0.082	0.0156	0.2304	3
Alternativa B	0.0547	0.0781	0.0469	0.0156	0.1953	4
Alternativa C	0.1367	0.0781	0.0469	0.0273	0.2890	1
Alternativa D	0.1914	0.0781	0.0117	0.0039	0.2851	2

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 19. Se concluye que la Alternativa C, Válvula de retención ICORET VR, se ubica en el primer lugar como la mejor alternativa, lo cual es el seleccionado en este diseño.

Apéndice O. Determinación del caudal de descarga durante un ciclo completo del ariete hidráulico.

El caudal de descarga durante la duración del periodo 5 de krol es:

$$Q_d = \frac{q_d}{t_T}$$

Cantidad de agua bombeado por ciclo, se determina mediante la expresión:

$$q_d = \left(\frac{\pi d_i^2 L_s}{8} \right) \frac{\left[\frac{W}{A_{pv} \Phi(s)} - g^2 \rho \frac{(h + hr)^2}{c^2} \right]}{[(h + hr)(g\rho)]}$$

$$hr = \frac{V_2^2}{2g} \left[f \frac{2h}{d_i} + \sum j (\text{tub. impulso}) \right] \left(1 - \frac{h}{h_{max}} \right)$$

La duración del tiempo para el volumen de descarga es:

$$t_T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7$$

$$t_1 + t_2 = \frac{L_s}{\sqrt{2gMH}} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{\frac{2H\Phi(s)A_{pv}\gamma}{WM}}}{1 - \sqrt{\frac{2H\Phi(s)A_{pv}\gamma}{WM}}} \right]$$

$$t_3 = \sqrt[3]{\frac{3SL \sqrt{\frac{Wg}{\Phi(s)A_{pv}\gamma}}}{Hg^2 \left(1 - \frac{WM}{2\Phi(s)A_{pv}H\gamma} \right)}}$$

$$t_4 = \frac{2L_s}{c}$$

$$t_5 = \frac{L_s}{g(h + hr)} \left[\sqrt{\frac{W}{A_{pv}\rho\Phi(s)}} - \frac{g(h + hr)}{c} \right]$$

$$t_6 = \frac{2L_s}{c}$$

$$t_7 = \frac{L_s}{Hc} (h + hr)$$

Para:

$$h = H_d - H_s = 535 - 165 = 370 \text{ m}$$

$$E_a = 2,225 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}, \text{ agua temperatura } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E_{mt} = 160 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}, \text{ (hierro dúctil)}$$

Remplazando:

$$hr = \frac{V_2^2}{2g} \left[f \frac{2h}{d_i} + \sum j (\text{tub. impulso}) \right] \left(1 - \frac{h}{h_{max}} \right)$$

$$hr = \frac{6,23^2}{2 \times 9,81} \left[0,0229157 \frac{2 \times 370}{0,132} + 39,325 \right] \left(1 - \frac{370}{829,79} \right) = 183,99 \text{ m}$$

$$q_d = \left(\frac{\pi d_i^2 L_s}{8} \right) \frac{\left[\frac{W}{A_{pv} \Phi(s)} - g^2 \rho \frac{(h + hr)^2}{c^2} \right]}{[(h + hr)(g\rho)]}$$

$$q_d = \left(\frac{\pi \times 0,132^2 \times 195}{8} \right) \frac{\left[\frac{16401,19}{0,003068 \times 137,74804} - 9,81^2 \times 998,29 \times \frac{(370 + 184,32)^2}{1306,4^2} \right]}{[(370 + 184,32)(9,81 \times 998,29)]} = 0,00529 \text{ m}^3$$

$$t_1 + t_2 = \frac{L_s}{\sqrt{2gMH_s}} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{\frac{2H_s \Phi(s) A_{pv} \gamma}{WM}}}{1 - \sqrt{\frac{2H_s \Phi(s) A_{pv} \gamma}{WM}}} \right]$$

$$t_1 + t_2 = \frac{195}{\sqrt{2 \times 9,81 \times 74,17775 \times 165}} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{\frac{2 \times 165 \times 137,74804 \times 0,003068 \times 9,81 \times 998,29}{16401,19 \times 74,17775}}}{1 - \sqrt{\frac{2 \times 165 \times 137,74804 \times 0,003068 \times 9,81 \times 998,29}{16401,19 \times 74,17775}}} \right] = 0,00068 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{\sqrt[3]{3SL_s \sqrt{\frac{Wg}{\Phi(s)A_{pv}\gamma}}}}{\sqrt{H_s g^2 \left(1 - \frac{WM}{2H_s \Phi(s) A_{pv} \gamma} \right)}}$$

$$t_3 = \frac{\sqrt[3]{3 \times 0,02 \times 195 \sqrt{\frac{16401,19 \times 9,81}{137,74804 \times 0,003068 \times 9,81 \times 998,29}}}}{\sqrt{165 \times 9,81^2 \left(1 - \frac{16401,19 \times 74,17775}{2 \times 165 \times 137,74804 \times 0,003068 \times 9,81 \times 998,29} \right)}} = 0,34778 \text{ s}$$

$$t_4 = \frac{2L_s}{c}$$

$$t_4 = \frac{2 \times 195}{1306,4} = 0,29853 \text{ s}$$

$$t_5 = \frac{L_s}{g(h + hr)} \left[\sqrt{\frac{W}{A_{pv} \rho \Phi(s)}} - \frac{g(h + hr)}{c} \right]$$

$$t_5 = \frac{195}{9,81 \times (370 + 184,31)} \left[\sqrt{\frac{16401,19}{0,003068 \times 998,29 \times 137,74804}} - \frac{9,81 \times (370 + 184,31)}{1306,4} \right] = 0,07432 \text{ s}$$

$$t_6 = \frac{2L_s}{c}$$

$$t_6 = \frac{2 \times 195}{1306,4} = 0,29853 \text{ s}$$

$$t_7 = \frac{L_s}{H_{sc}} (h + hr)$$

$$t_7 = \frac{195}{165 \times 1306,4} (370 + 184,31369) = 0,50145 \text{ s}$$

$$t_T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7$$

$$t_T = 0,00068 + 0,34778 + 0,29853 + 0,07432 + 0,29853 + 0,50145$$

$$t_T = 1,5213 \text{ s}$$

$$Q_d = \frac{q_d}{t_T}$$

$$Q_d = \frac{0,00529}{1,5213} = 0,00348 \text{ m}^3/\text{s} \cong 3,5 \text{ lts/s}$$

Apéndice P. Determinación del diseño de la tubería de descarga del ariete hidráulico

Determinación del diámetro de la tubería de descarga

Aplicando la ecuación de energía entre el ariete hidráulico y el punto de descarga, tenemos:

$$H_{td} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{ftd-2}$$

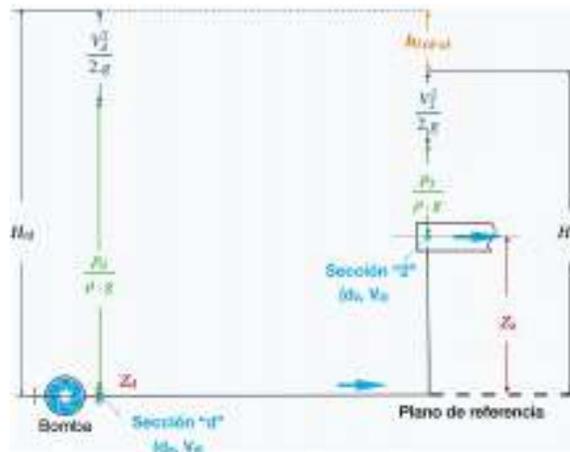


Figura 52. Ecuación de energía entre el ariete hidráulico y el punto de descarga

Fuente: Elaboración propia.

Simplificando, tenemos:

Para:

$$P_2 = 0$$

$$H_{td} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{ftd-2}$$

$$H_{td} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_{ftd-2}$$

$$H_{td} - Z_2 - \frac{Q_{dmax}^2}{2gA_d^2} - h_{ftd-2} = 0$$

$$H_{td} - Z_2 - \frac{8Q_{dmax}^2}{g\pi^2 d_d^4} - h_{ftd-2} = 0 \quad \text{EC.5}$$

De la ecuación EG.1 de apéndice A, para $\Sigma k_m = 0$

$$Q_{dmax} + \sqrt{\frac{g\pi^2 d_d^5}{2L_d}} (h_{ftd-2}) \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d_d} + \frac{2.523\mu\sqrt{L_d}}{\sqrt{2g\rho^2 d_d^3 (h_{ftd-2})}} \right) = 0 \quad \text{EC.6}$$

Para:

$$H_{td} = H_s + \Delta h = 165 + 830,32 = 995,32 \text{ m}$$

$$H_d = 535 \text{ m}$$

$$Q_{dmax} = 2 \times 0,00348 = 0,00696 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L_d = 1270 \text{ m}$$

$k_s = 0,00006 \text{ m}$, Material de tubería acero galvanizado

$\mu = 0,001003 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$; temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Resolviendo las ecuaciones EC.5 y EC.6, obtenemos:

$$h_{ftd-2} = 459,34 \text{ m}$$

$$d_d = 0.045 \text{ m}$$

Por lo tanto, el diámetro nominal de la tubería de descarga es de 2 pulgadas, Material de tubería acero galvanizado.

Determinación del espesor mínimo de la tubería de descarga

Según la normativa DIM, apartado 6 de la UNE-EN 13480-3, el espesor mínimo de la tubería de impulso se calcula con la siguiente expresión:

Para $\frac{D_e}{D_i} \leq 1,7$:

$$e = \frac{P_c D_e}{2f_d z + P_c}$$

$$f_d = \min \left[\frac{R_{eht}}{1,5} \text{ ó } \frac{R_{p0,2t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right]$$

$$P_c = \rho g H_d$$

Para:

$$D_e = 0,0622 \text{ mm}$$

$$D_i = 0,045 \text{ mm}$$

$$P_c = 9,74744109 \text{ N/mm}^2$$

z : coeficiente de unión, se toma 1 ya que no hay soldaduras

Para el tipo de material acero galvanizado serie II (tubos livianos):

$$R_{eht} = 140 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 270 \text{ N/mm}^2$$

Remplazando tenemos:

$$\frac{D_e}{D_i} = \frac{0,0596}{0,0532} = 1,12 \leq 1,7 \text{ ; cumple con la condición}$$

$$P_c = \rho g H_d = 998,29 \times 9,81 \times 535 = 5239375,32 \text{ N/m}^2 \cong 5,23937532 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d = \min \left[\frac{R_{eht}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right] = \min \left[\frac{140}{1,5}; \frac{270}{2,4} \right] = \min[93,33; 112,5] = 93,33 \text{ N/mm}^2$$

$$e = \frac{P_c D_e}{2 f_d z + P_c} = \frac{5,23937532 \times 59,6}{2 \times 93,33 \times 1 + 5,23937532} = 1,63 \text{ mm}$$

El espesor mínimo de la tubería de descarga es de 1,63 mm, las tuberías de acero galvanizado serie II (tubos livianos), tienen un espesor de fabricación de 2,9 mm, por lo que se considera como óptimo para soportar las presiones del funcionamiento del ariete hidráulico.

Determinación de la altura para cambiar el material de la tubería de descarga a HDPE-PN 25-SDR 7,4. Para una tubería de 2 pulgadas, diámetro exterior es 60,2 mm y el espesor de pared es $e=6,9$ mm.

$$R_{eht} = 18 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 20 \text{ N/mm}^2$$

Remplazando en las ecuaciones, tenemos:

$$f_d = \min \left[\frac{R_{eht}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right] = \min \left[\frac{18}{1,5}; \frac{20}{2,4} \right] = \min[12; 8,33] = 8,33 \text{ N/mm}^2$$

$$e = \frac{P_c D_e}{2f_d z + P_c}$$

$$6,9 = \frac{P_c \times 60,2}{2 \times 8,33 \times 1 + P_c}$$

$$P_c = 2,157688844 \text{ N/mm}^2 \cong 2157688,844 \text{ N/m}^2$$

$$P_c = \rho g H_d$$

$$2157688,844 = 998,29 \times 9,81 \times H_d$$

$$H_d = 220,32 \text{ m}$$

Por lo tanto, para los primeros 315 m de la altura de descarga, se determina que el material de la tubería es de acero galvanizado serie II (tubos livianos) de diámetro nominal de 2 pulgadas, con espesor de pared de fabricación de 2,9 mm. Para los 220 m de altura restante se determina que el material de la tubería es HDPE-PN 25-SDR 7,4 de un diámetro nominal de 2 pulgadas, con un espesor de pared de fabricación de 6,9 mm.

Apéndice Q. Determinación del caudal desechado por ciclo del ariete hidráulico

El caudal desechado por ciclo se determina de la siguiente expresión:

$$Q_p = \frac{Volp_2 + Volp_3}{t_T}$$

$$Volp_2 = \frac{\pi d_i^2 L_s}{8M} \ln \left[\frac{\frac{2gH_s}{M} - \frac{2gH_s y}{L_s}}{\frac{2gH_s}{M} - \frac{W}{A_{pv}\rho\Phi(s)}} \right]$$

$$y = \frac{gL_s(h + hr)^2}{2H_s c^2}$$

$$Volp_3 = \frac{\pi d_i^2 t_3}{4} \left(\sqrt{\frac{W}{A_{pv}\rho\Phi(s)}} \right)$$

Remplazando, tenemos:

$$y = \frac{gL_s(h + hr)^2}{2H_s c^2} = \frac{9,81 \times 195 \times (370 + 184,31)^2}{2 \times 165 \times 1306,4^2} = 1,04366 \text{ m}$$

$$Volp_2 = \frac{\pi d_i^2 L_s}{8M} \ln \left[\frac{\frac{2gH_s}{M} - \frac{2gH_s y}{L_s}}{\frac{2gH_s}{M} - \frac{W}{A_{pv}\rho\Phi(s)}} \right] = \frac{\pi \times 0,132^2 \times 195}{8 \times 74,17775} \ln \left[\frac{\frac{2 \times 9,81 \times 165}{74,17775} - \frac{2 \times 9,81 \times 165 \times 1,04366}{195}}{\frac{2 \times 9,81 \times 165}{74,17775} - \frac{16401,19}{0,003068 \times 998,29 \times 137,74804}} \right] =$$

$$0,03073 \text{ m}^3$$

$$Volp_3 = \frac{\pi d_i^2 t_3}{4} \left(\sqrt{\frac{W}{A_{pv}\rho\Phi(s)}} \right) = \frac{\pi \times 0,132^2 \times 0,34778}{4} \left(\sqrt{\frac{16401,19}{0,003068 \times 998,29 \times 137,74804}} \right) =$$

$$0,02968 \text{ m}^3$$

$$Q_p = \frac{Volp_2 + Volp_3}{t_T} = \frac{0,03073 + 0,02968}{1,5213} = 0,03971 \text{ m}^3/\text{s}$$

Apéndice R. Determinación del volumen de la cámara de aire del ariete hidráulico.

El volumen de la cámara de aire, viene dado por la siguiente ecuación

$$Vol_C = \frac{(1 + X)q_d(H_s + hr)}{Patm}$$

$$X = \frac{H_s}{H_s + hr}$$

Remplazando:

$$X = \frac{H_s}{H_s + hr} = \frac{165}{165 + 184,32} = 0,47235$$

$$Vol_C = \frac{(1+X)q_d(H_s+hr)}{Patm} = \frac{(1+0,47235) \times 0,00529 \times (165+184,32)}{10,33} = 0,26326 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, para:

$$d_{camara} = 0,5 \text{ m}$$

$$H_{camara} = 1,35 \text{ m}$$

$$Vol_C = 0,26507 \text{ m}^3$$

Espesor de las paredes es 6 mm, igual que la tubería de suministro, por lo que tendrá que ser capaz de soportar la misma presión.

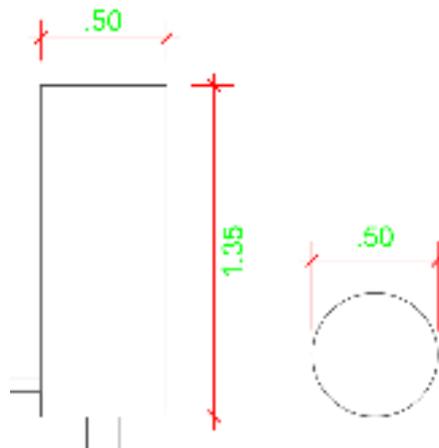


Figura 53. Dimensiones de la cámara de aire

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice S. Determinación del diseño del reservorio de descarga.

Bajo el aperebimiento que las personas de la comunidad Cory Aylluyoc, dedican 12 horas diarias a suministrar el recurso hídrico a sus diversos cultivos, la capacidad del reservorio de descarga será la cantidad de agua que eleva el ariete hidráulico en las 12 horas restantes, para completar las 24 horas.

$$Vol_{RD} = 43200q_d$$

Remplazando, tenemos:

$$Vol_{RD} = 43200q_d = 43200 \times 0,00529 = 228,53 \text{ m}^3$$

Asumiendo:

Ancho del reservorio de suministro: 8

Largo del reservorio de suministro: 10

Alto del reservorio de suministro: 3

La capacidad del reservorio de descarga es: 240 m³

Apéndice T. Determinación del módulo de riego máximo para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito Coris.

Tabla 23

Evapotranspiración referencial de la comunidad Cory Aylluyoc

Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
4	4.5	4.5	4	3.5	3.5	3	4	4.5	5	4.5	4

Fuente: Elaboración propia, basado en atrás evapotranspiración referencial (2013), MINAM, MINAGRI Y SENAMHI

Tabla 24

Coefficiente del cultivo (Kc) de los principales cultivos de la comunidad campesina Cory Aylluyoc, con proyecto

Kc del cultivo	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Cultivos Base												
Maíz		0.22	0.59	0.85	0.97	1.15	0.94	0.72	0.27	0.27		0.2
Palpa		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Kc máx.		0.9	0.9	0.9	0.97	1.15	0.94	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Fuente: Elaboración propia, basado en cedula de cultivo proyectado.

Tabla 25

Calculo de la precipitación efectiva (método servicio de suelos de los estados unidos USSCS)

AÑO	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	TOTAL
2017	96.6	149.5	237	31.7	0	0	0	0	19.3	51.5	16.4	20.8	622.8
2018	109.9	84.4	177.2	64.8	15.6	0	0	0	0	25	21.6	50.9	549.4
2019	79.4	71.7	98.7	14.7	0	0	0	0	0	22.6	9	62.3	358.4
PROMEDIO	95.3	101.9	171	37.07	5.2	0	0	0	6.433	33.03	15.67	44.67	510.2
Calculo de la precipitación confiable al 90% de probabilidad													
Para la precipitación promedio anual 510.2												Tp= 0.674	
Ppt (90%)	64.24	68.67	115.2	24.99	3.505	0	0	0	4.337	22.27	10.56	30.11	
Pe	57.64	61.12	93.99	23.99	3.486	0	0	0	4.306	21.47	10.38	28.66	

Fuente: Elaboración propia, basada en estación meteorológica Aija.

Tabla 26*Determinación del módulo de riego para la comunidad campesina Cory Aylluyoc*

VARIABLE	Unidad	Ene	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
N° de días	días	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
Et0	mm/mes	124.00	126.00	139.50	120.00	108.50	105.00	93.00	124.00	135.00	155.00	135.00	124.00
K pond.		0.90	0.90	0.90	0.97	1.15	0.94	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
1. UC	mm/mes	111.60	113.40	125.55	116.40	124.78	98.70	83.70	111.60	121.50	139.50	121.50	111.60
2. P. Efec.	mm/mes	57.64	61.12	93.99	23.99	3.49	0.00	0.00	0.00	4.31	21.47	10.38	28.66
3. Req. De agua	mm/mes	53.96	52.28	31.56	92.41	121.29	98.70	83.70	111.60	117.19	118.03	111.12	82.94
4. Req. Vol. Bruto	(m3/ha)/mes	539.63	522.78	315.55	924.13	1212.89	987.00	837.00	1116.00	1171.94	1180.26	1111.18	829.42
5. Ef. Riego		0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
6. Req. Vol. Neto	(m3/ha)/mes	568.03	550.29	332.16	972.77	1276.73	1038.95	881.05	1174.74	1233.62	1242.38	1169.66	873.07
7. N° horas	hrs	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
8. MR	(l/s)/ha	0.42	0.45	0.25	0.75	0.95	0.80	0.66	0.88	0.95	0.93	0.90	0.65
MR max=		0.95											

Fuente: Elaboración propia, basado en cálculo de demanda de agua agrícola.

De la tabla 26 se determina que el módulo de riego máximo es el del mes de septiembre de $MR_{max} = 0,95 \text{ lts}/(s \times ha)$, con una eficiencia del 95%, correspondiente al riego por goteo.

Apéndice U. Determinación de la cantidad de área de terreno agrícola, que será abastecida por el caudal descargado

La cantidad de área de terreno agrícola, abastecida por el caudal de descarga, se determina con la siguiente ecuación:

$$A_{TAA} = \frac{Q_{d12}}{MR_{max}}$$

De acuerdo al criterio del diseño del volumen del reservorio de descarga, y en concordancia con el número de horas de riego establecidos para el cálculo del módulo de riego

$$Q_{d12} = 2Q_d$$

$$Q_{d12} = 2 \times 3,5 = 7 \text{ lts/s}$$

$$MR_{max} = 0,95 \text{ lts/(s x ha)}$$

Reemplazando:

$$A_{TAA} = \frac{Q_{d12}}{MR_{max}} = \frac{7}{0,95} = 7,3684 \text{ ha}$$

Por lo tanto, el efecto del diseño del ariete hidráulico en el abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc del distrito Coris, es que proveerá de agua agrícola a 7,3684 hectáreas de terrenos cultivables.

Apéndice V. Determinación de la eficiencia y potencia desarrollada por el ariete hidráulico.

La eficiencia del ariete hidráulico se determina mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Q_d H_d}{Q_s H_s}$$

La potencia teórica desarrollada del ariete hidráulico se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P_d = g\rho H_d Q_d$$

La potencia real, está definida por:

$$P_R = \frac{P_d}{n}$$

Remplazando:

$$n = \frac{Q_d H_d}{Q_s H_s} = \frac{0,00348 \times 535}{0,04638 \times 165} = 24,32867 \%$$

$$P_d = g\rho H_d Q_d = 9,81 \times 998,29 \times 535 \times 0,00348 = 18233,03 \text{ watts} \cong 24,5 \text{ HP}$$

$$P_R = \frac{P_d}{n} = \frac{18233,03}{0,2432867} = 74944,6 \text{ watts} \cong 100,6 \text{ HP}$$

Apéndice W. Determinación del costo beneficio del ariete hidráulica diseñado.

Tabla 27

Determinación de la planilla de metrado del sistema de abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico

Sistemas RW7pro

PLANILLA DE METRADO

Proyecto : Diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory
 Ubicación: Huaraz 2020

PARTIDA	Uml	PARCIAL	TOTAL
01 Sistema de Abastecimiento de Ariete Hidráulico			
01.01 Tubería de Abastecimiento P. Captación-R. Suministro			
01.01.01 Trabajos Preliminares			
01.01.01.01 Limpieza del terreno manual	m	1270.00	1270.00
01.01.01.02 Trazo, nivelación y replanteo de zanjas	m	1270.00	1270.00
01.01.01.03 Refine y nivelación de trazo	m	1270.00	1270.00
01.01.02 Suministro e Instalación de Tuberías			
01.01.02.01 Tubería de polietileno - HDPE SDR26 (S12.5) DN=6"	m	1270.00	1270.00
01.01.02.02 Válvula de control tipo compuesta de hierro dúctil DN=6"	pza	1.00	1.00
01.02 Reservoirio de Suministro			
01.02.01 Trabajos Preliminares			
01.02.01.01 Limpieza del terreno manual en reservoirio	m2	8.16	8.16
01.02.01.02 Trazo, nivelación y replanteo en reservoirio	m2	8.16	8.16
01.02.02 Movimiento de Tierras			
01.02.02.01 Excavación manual en roca suelta	m3	16.32	16.32
01.02.02.02 Relleno compactado manual- con material de préstamo	m3	6.80	6.80
01.02.02.03 Eliminación de material excedente, D=30 m	m3	6.72	6.72
01.02.03 Obras de Concreto			
01.02.03.01 Concreto fc=120 kg/cm2 para solados, e=2"	m2	1.10	1.10
01.02.03.02 Concreto fc=175 kg/cm2	m3	0.20	0.20
01.02.03.03 Concreto fc=210 kg/cm2	m3	14.13	14.13
01.02.03.04 Acero corrugado fy=4200 kg/cm2 grado 60	kg	1760.00	1760.00
01.02.03.05 Trazaje con impermeabilizante de muros	m2	16.24	16.24
01.02.03.06 Curado de concreto	m2	16.24	16.24
01.02.03.07 Encofrado y desencofrado para muros rectos	m2	27.20	27.20
01.02.04 Juntas			
01.02.04.01 Junta de contracción sellado con elastomérico de poliuretano	m	7.00	7.00
01.02.04.02 Junta de dilatación sellado con elastomérico de poliuretano	m	18.00	18.00
01.02.05 Estructuras Metálicas			
01.02.05.01 Escalera metálica tipo gato y malla protectora	pza	1.00	1.00
01.03 Tubería de Suministro			
01.03.01 Trabajos Preliminares			
01.03.01.01 Limpieza del terreno manual	m	195.00	195.00
01.03.01.02 Trazo, nivelación y replanteo de zanjas	m	195.00	195.00
01.03.02 Movimiento de Tierras			
01.03.02.01 Excavación manual para zanja para tubería de suministro, H=0.60 m	m	195.00	195.00
01.03.02.02 Preparación y colocación de cama de apoyo e=0.10 m	m	195.00	195.00
01.03.02.03 Relleno con material seleccionado	m	195.00	195.00
01.03.02.04 Relleno con material propio	m	195.00	195.00
01.03.03 Suministro e Instalación de Tuberías			
01.03.03.01 Tubería de fundición de hierro dúctil DN=5", e=6 mm	m	195.00	195.00
01.03.03.02 Válvula de control tipo compuesta de hierro dúctil DN=5"	pza	1.00	1.00

PLANILLA DE METRADO

Proyecto : Diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory
 Ubicación: Huaraz 2020

PARTIDA	Und.	PARCIAL	TOTAL
01.04 Ariete Hidráulico			
01.04.01 Cuerpo del Ariete Hidráulico			
01.04.01.01 Cuerpo fabricado con accesorios unidas mediante bridas	pza	1.00	1.00
01.04.02 Válvula de Aire			
01.04.02.01 Válvula de aire	pza	1.00	1.00
01.04.03 Válvula de Impulso			
01.04.03.01 Válvula de impulso regulada con resorte helicoidal de compresión	pza	1.00	1.00
01.04.04 Válvula Anti Retorno			
01.04.04.01 Válvula de retención ICORET VR	pza	1.00	1.00
01.04.05 Camara de Aire			
01.04.05.01 Camara de aire	pza	1.00	1.00
01.05 Tubería de Descarga			
01.05.01 Trabajos Preliminares			
01.05.01.01 Limpieza del terreno manual	m	1270.00	1270.00
01.05.01.02 Trazo, nivelación y replanteo de zanjas	m	1270.00	1270.00
01.05.01.03 Refine y nivelación de trazo	m	1270.00	1270.00
01.05.02 Suministro e Instalación de Tuberías			
01.05.02.01 Tubería de polietileno - HDPE SDR7,4 DN=2"	m	745.00	745.00
01.05.02.02 Tubería de acero galvanizada DN=2" serie liviana	m	525.00	525.00
01.06 Reservorio de Descarga			
01.06.01 Trabajos Preliminares			
01.06.01.01 Limpieza del terreno manual en reservorio	m2	168.00	168.00
01.06.01.02 Trazo, nivelación y replanteo en reservorio	m2	168.00	168.00
01.06.02 Movimiento de Tierras			
01.06.02.01 Excavación manual en roca suelta	m3	504.00	504.00
01.06.02.02 Relleno compactado manual- con material de préstamo	m3	54.00	54.00
01.06.02.03 Eliminación de material excedente, D=30 m	m3	260.00	260.00
01.06.03 Obras de Concreto			
01.06.03.01 Concreto fc=120 kg/cm2 para solados, e=2"	m2	168.00	168.00
01.06.03.02 Concreto fc=175 kg/cm2	m3	13.60	13.60
01.06.03.03 Concreto fc=210 kg/cm2	m3	149.50	149.50
01.06.03.04 Acero corrugado fy=4200 kg/cm2 grado 60	kg	8815.00	8815.00
01.06.03.05 Tarrajeo con impermeabilizante de muros	m2	164.00	164.00
01.06.03.06 Curado de concreto	m2	164.00	164.00
01.06.03.07 Encofrado y desencofrado para muros rectos	m2	168.00	168.00
01.06.04 Juntas			
01.06.04.01 Junta de contracción sellado con elastomérico de poliuretano	m	33.00	33.00
01.06.04.02 Junta de dilatación sellado con elastomérico de poliuretano	m	132.50	132.50

Fuente. Elaboración propia, basado en el diseño del ariete hidráulico.

Tabla 28

Determinación del presupuesto del sistema de abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico

PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO				Sistemas RW/Pro
Proyecto:	Diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito coris. Aija-2020			
Lugar:	Huanaz 2020			
Elab. Por:	Méndez Silva Jorge Yordi			
Fecha:				
PARTIDAS	UND	METRADO	C.U.	PARCIAL
01 Sistema de Abastecimiento de Ariete Hidráulico				324 276.47
01.01 Tubería de Abastecimiento P. Captación-R. Suministro				66 808.01
01.01.01 Trabajos Preliminares				2 654.30
01.01.01.1 Limpieza del terreno manual	m	1270.00	0.82	1 041.40
01.01.01.2 Trazo, nivelación y replanteo de zanjas	m	1270.00	0.37	480.90
01.01.01.3 Refino y instalación de trazo	m	1270.00	0.80	1 143.00
01.01.02 Suministro e Instalación de Tuberías				64 153.71
01.01.02.1 Tubería de polietileno - HDPE SDR26 (S12.5) DN=16"	m	1270.00	48.53	62 803.10
01.01.02.2 Válvula de control tipo compuesta de hierro dúctil DN=8"	pza	1.00	1 250.61	1 250.61
01.02 Reservoirio de Suministro				19 155.83
01.02.01 Trabajos Preliminares				11.10
01.02.01.1 Limpieza del terreno manual en reservorio	m2	8.16	0.45	4.00
01.02.01.2 Trazo, nivelación y replanteo en reservorio	m2	8.16	0.87	7.10
01.02.02 Movimiento de Tierras				1 143.58
01.02.02.1 Excavación manual en roca suelta	m3	16.32	43.47	708.45
01.02.02.2 Relleno compactado manual con material de préstamo	m3	6.90	23.31	362.51
01.02.02.3 Eliminación de material excedente, D=30 m	m3	6.72	10.66	71.64
01.02.03 Obras de Concreto				16 274.57
01.02.03.1 Concreto f _c =120 kg/cm ² para solados, e=2"	m2	1.10	85.88	94.47
01.02.03.2 Concreto f _c =175 kg/cm ²	m3	0.20	422.23	84.45
01.02.03.3 Concreto f _c =210 kg/cm ²	m3	14.13	488.18	6 895.64
01.02.03.4 Acero corrugado fy=4200 kg/cm ² grado 60	kg	1760.00	4.77	8 305.20
01.02.03.5 Trazo con impermeabilizante de muros	m2	16.24	33.23	539.69
01.02.03.6 Curado de concreto	m2	16.24	4.47	72.58
01.02.03.7 Encofrado y desencofrado para muros rectos	m2	27.20	27.30	742.56
01.02.04 Juntas				635.50
01.02.04.1 Junta de contracción sellada con elastomérico de poluretano	m	7.00	25.42	177.94
01.02.04.2 Junta de dilatación sellada con elastomérico de poliolefina	m	18.00	25.42	457.56
01.02.05 Estructuras Metálicas				1 091.08
01.02.05.1 Escalera metálica tipo gazo y malla protectora	pza	1.00	1 091.08	1 091.08
01.03 Tubería de Suministro				35 912.61
01.03.01 Trabajos Preliminares				232.05
01.03.01.1 Limpieza del terreno manual	m	195.00	0.82	158.90
01.03.01.2 Trazo, nivelación y replanteo de zanjas	m	195.00	0.37	72.15
01.03.02 Movimiento de Tierras				5 682.80
01.03.02.1 Excavación manual para zanjas para tubería de suministro, H=0.60 m	m	195.00	3.59	701.05
01.03.02.2 Preparación y colocación de cama de apoyo e=0.10 m	m	195.00	4.21	820.95
01.03.02.3 Relleno con material seleccionado	m	195.00	13.07	2 548.65
01.03.02.4 Relleno con material propio	m	195.00	8.17	1 583.15
01.03.03 Suministro e Instalación de Tuberías				30 017.78
01.03.03.1 Tubería de hierro de hierro dúctil DN=5", ø=61 mm	m	195.00	151.37	29 517.15
01.03.03.2 Válvula de control tipo compuesta de hierro dúctil DN=6"	pza	1.00	500.61	500.61

PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO

Proyecto: Diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aykuyoc, distrito cono, Aja-2020.
Lugar: Huacra 2020
Elab. Por: Mendez Gha Jorge Yardi
Fecha:

PARTIDAS	UND	METRADO	C.U.	PARCIAL
01.04 Ariete Hidráulico				11 895.88
01.04.01 Cuerpo del Ariete Hidráulico				2 398.79
01.04.01.1 Cuerpo fabricado con accesorios unicas mediante bridas	pza	1.00	2 398.79	2 398.79
01.04.02 Válvula de Aire				86.28
01.04.02.1 Válvula de aire	pza	1.00	86.28	86.28
01.04.03 Válvula de Impulso				3 912.78
01.04.03.1 Válvula de Impulso regulada con resorte helicoidal de compresión	pza	1.00	3 912.78	3 912.78
01.04.04 Válvula Anti Retorno				1 904.91
01.04.04.1 Válvula de retención KORET VR	pza	1.00	1 904.91	1 904.91
01.04.05 Camara de Aire				3 593.12
01.04.05.1 Camara de aire	pza	1.00	3 593.12	3 593.12
01.05 Tubería de Descarga				18 383.55
01.05.01 Trabajos Preliminares				2 654.30
01.05.01.1 Limpieza del terreno manual	m	1270.00	0.62	1 041.40
01.05.01.1 Trazo, nivelación y replanteo de zonas	m	1270.00	0.37	469.90
01.05.01.1 Refine y nivelación de trazo	m	1270.00	0.90	1 143.00
01.05.02 Suministro e Instalación de Tuberías				15 729.25
01.05.02.1 Tubería de polietileno - HDPE SDR17.4 DN=2"	m	745.00	12.10	9 014.50
01.05.02.1 Tubería de acero galvanizado DN=2" sans flange	m	525.00	12.79	6 714.75
01.06 Reservorio de Descarga				172 120.59
01.06.01 Trabajos Preliminares				228.43
01.06.01.1 Limpieza del terreno manual en reservorio	m2	165.00	0.40	62.32
01.06.01.1 Trazo, nivelación y replanteo en reservorio	m2	165.00	0.67	146.15
01.06.02 Movimiento de Tierras				27 559.22
01.06.02.1 Excavación manual en roca suelta	m3	504.00	43.47	21 908.88
01.06.02.1 Relleno compactado manual con material de préstamo	m3	54.00	53.51	2 878.74
01.06.02.1 Eliminación de material excedente D=90 m	m3	260.00	10.68	2 771.60
01.06.03 Obras de Concreto				140 125.88
01.06.03.1 Concreto f _c =120 kg/cm ² para soleras, e=2"	m2	165.00	85.88	14 127.84
01.06.03.1 Concreto f _c =175 kg/cm ²	m3	10.60	422.23	5 742.33
01.06.03.1 Concreto f _c =210 kg/cm ²	m3	148.50	408.09	67 138.96
01.06.03.1 Acero corrugado f _y =4200 kg/cm ² grado 60	kg	8515.00	4.77	42 047.56
01.06.03.1 Terraje con impermeabilizante de mallas	m2	164.00	33.23	5 440.72
01.06.03.1 Curado de concreto	m2	164.00	4.47	733.05
01.06.03.1 Encofrado y desencofrado para muros rectos	m2	165.00	27.30	4 500.40
01.06.04 Juntas				4 207.01
01.06.04.1 Junta de contracción sellada con elastomero de polifluoreno	m	33.00	25.42	838.86
01.06.04.1 Junta de dilatación sellada con elastomero de polifluoreno	m	132.50	25.42	3 368.15
COSTO DIRECTO				324 276.47
GASTOS GENERALES (12% CD)				38 913.18
UTILIDAD (10% CD)				32 427.65
SUB TOTAL				395 617.30
IMPUESTO (IGV 18%)				71 211.11
MONTO REFERENCIAL DE OBRA (VR)				466 828.41
GASTOS DE SUPERVISION (4% VR)				18 673.14
MONTO TOTAL DEL PROYECTO				485 501.55

NOTA: El presupuesto fue procesado para la ejecución por contrato en Soles

Fuente. Elaboración propia, basado en el diseño del ariete hidráulico.

Tabla 29

Determinación de la relación de insumos del sistema de abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico

Sistemas RW/ro				
RELACION DE INSUMOS DEL PROYECTO				
Proyecto	Diseño del ariete hidráulico para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, distrito cora, Aju 2020			
Lugar	Fueros 2020			
Elab. Por	Mendez Silva Jorge Yardi			
Fecha				
Código	Descripción	Unidad	P.U.	Cantidad Parcial
MANO DE OBRA				93 790.94
1001	OFICIAL	HH	11.43	1 325.71
1002	OPERARIO	HH	14.22	1 295.88
1004	PEON	HH	10.35	5 646.43
1005	TIPOCRAFTO	HH	14.22	24.70
MATERIALES				212 230.98
1247	ACCESORIOS PARA TUBERIA DE ACERO GALVANIZADA DN=2"	M	0.30	525.00
1245	ACCESORIOS PARA TUBERIA DE POLIETILENO DN=2"	M	1.03	745.00
1235	ACCESORIOS PARA TUBERIA FUNDICION DE HIERRO DUCTIL DN=8"	M	3.00	195.00
1213	ACCESORIOS PARA TUBERIA HOFF DN=4"	M	3.78	1 270.00
1201	ACERO DE REFUERZO FY-4200	KG	3.35	11 188.74
1225	ACERO LISO DE 14"	kg	4.20	109.35
1221	ADITIVO CURADOR ANTI BOL	ff	35.00	9.01
1224	ADITIVO DESMOLDADOR DE ENCOFRADO	gal	35.00	6.83
1220	ADITIVO IMPERMEABILIZANTE MORTERO CONCRETO EN POLVO	kg	8.00	54.61
1219	AGUA	m3	1.00	49.14
1203	ALAMBRE NEGRO # 16	KG	4.55	524.75
1202	ALAMBRE NEGRO # 8	KG	4.55	19.52
1204	ARENA FINA	M3	120.00	4.33
1218	ARENA GRUESA	m3	80.00	149.59
1243	BALON DE CAMARA DE AIRE D=0.50M Y h=1.30 M	pcu	3 200.00	1.00
1205	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	MIS	20.00	1 711.69
1223	CLAVO PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	KG	4.50	29.25
1227	CORDON DE 5"x45" BRIDADO FUNDICION DE HIERRO DUCTIL	pcu	430.00	1.00
1236	CORDON DE 6"x90" BRIDADO FUNDICION DE HIERRO DUCTIL	pcu	430.00	1.00
1211	ESTACAS DE MADERA	pc	1.50	20.87
1208	HORMIGON	M3	70.00	16.22
1200	IMPRIMANTE APLICACION ELASTOMERICA POLI UTRAND	gal	155.00	0.75
1226	MADERA TORNILLO	pc	4.30	546.38
1214	MATERIAL DE PRETAMO SELECCIONADO EN OBRA	M3	10.00	127.79
1238	PATAS DE ANCLAJE FUNDICION DE HIERRO DUCTIL	pcu	580.00	1.00
1217	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3	80.00	129.32
1227	BOX ESPUMA POLIURETANO TIPO DYNADRED	M	1.00	186.32
1228	SELLO ELASTOM. POLIURETANO TIPO DYNADRED	gal	185.00	8.85
1229	TECNOPORT	m2	13.00	100.01
1239	TEE DE 5" BRIDADO FUNDICION DE HIERRO DUCTIL	pcu	430.00	1.00
1246	TUB. DE ACERO GALVANIZADA DN=2" SERIE L/M/W/A	M	5.00	525.00
1234	TUB. FUNDICION DE HIERRO DUCTIL DN=6", ESPESOR 8MM	m	122.50	195.00
1244	TUB. POLIETILENO NORMA ISO 4422 DN=2" SDR7.4	M	3.30	745.00
1212	TUB. POLIETILENO NORMA ISO 4422 DN=4" SDR7.6 (512.5)	M	47.00	1 270.00
1240	VALVULA DE AIRE CHECK 1/2"	pcu	45.00	1.00
1248	VALVULA DE CONTROL TIPO COMUESTA DE DN=5"	pcu	450.00	1.00
1242	VALVULA DE CONTROL TIPO COMUESTA DE DN=5"	pcu	1 200.00	1.00
1241	VALVULA DE IMPULSO DE 6", REGULADA CON RESORTE ELICOIDAL	pcu	3 500.00	1.00
1249	VALVULA DE RETENCION CONEY VALV DE 5"	pcu	1 500.00	1.00
1210	YESO BOLSA 25 Kg	lbq	4.50	29.11
OTROS BIENES Y SERVICIOS				14 368.85
1215	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 7HP	hm	15.00	265.80
1231	ESCALERA TIPO GATO DE FIERRO GALVANIZADO 1.1/2"	pcu	450.00	1.00
1222	FUMIGADOR MANUAL	hm	5.00	90.12
1232	MALLA METALICA PROTECTORA DE RESIDUOS	pcu	580.00	1.00
1216	MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 11 P3	hm	20.00	346.53
1233	ZARANDA METALICA	hm	1.00	195.00
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS				3 885.70
3904	ESTACION TOTAL	HM	12.00	24.70
3900	HERRAMIENTAS MANUALES	TAUO	3 519.30	1.00
			TOTAL	324 276.47

Fuente. Elaboración propia, basado en el diseño del ariete hidráulico.

Tabla 30

Determinación de los beneficios agrícolas, con Proyecto a precios privados

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Número de hectáreas	22.11	14.74	14.74	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37
Cultivo Base	14.74	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37
Palta Hass	7.37	0.00	0.00	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37
Maiz Amarillo duro	7.37	7.37	7.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos de Rotación	7.37	7.37	7.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maiz Amarillo duro	7.37	7.37	7.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo de prod./ha (S./ha)										
Palta Hass	2,800.00	0.00	0.00	1,883.70	1,883.70	1,883.70	1,883.70	1,883.70	1,883.70	1,883.70
Maiz Amarillo duro	1,800.00	1,800.00	1,800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos de Rotación										
Maiz Amarillo duro	1,800.00	1,800.00	1,800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rendimiento (kg/ha)										
Cultivo Base										
Palta Hass	0.00	0.00	0.00	11,700.00	18,720.00	23,400.00	23,400.00	23,400.00	23,400.00	23,400.00
Maiz Amarillo duro	8,500.00	8,500.00	8,500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos de Rotación										
Maiz Amarillo duro	8,500.00	8,500.00	8,500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio de venta (S./ kg)										
Cultivo Base										
Palta Hass	0.00	0.00	0.00	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55
Maiz Amarillo duro	0.95	0.95	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos de Rotación										
Maiz Amarillo duro	0.95	0.95	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Porcentaje destinado a mercado										
Cultivo Base										
Palta Hass	0.00	0.00	0.00	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
Maiz Amarillo duro	0.95	0.95	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos de Rotación										
Maiz Amarillo duro	0.95	0.95	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor bruto de la producción										
Cultivo Base	113,049.68	113,049.68	113,049.68	384,411.64	615,058.62	768,823.28	768,823.28	768,823.28	768,823.28	768,823.28
Palta Hass	0.00	0.00	0.00	384,411.64	615,058.62	768,823.28	768,823.28	768,823.28	768,823.28	768,823.28
Maiz Amarillo duro	56,524.84	56,524.84	56,524.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos de Rotación										
Maiz Amarillo duro	56,524.84	56,524.84	56,524.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo total S/.										
Cultivo Base	47,157.76	26,526.24	26,526.24	13,879.86	13,879.86	13,879.86	13,879.86	13,879.86	13,879.86	13,879.86
Palta Hass	20,631.52	0.00	0.00	13,879.86	13,879.86	13,879.86	13,879.86	13,879.86	13,879.86	13,879.86
Maiz Amarillo duro	13,263.12	13,263.12	13,263.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Durazno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alfalfa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos de Rotación										
Maiz Amarillo duro	13,263.12	13,263.12	13,263.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor neto de la producción										
Cultivo Base	65,891.92	86,523.44	86,523.44	370,531.78	601,178.77	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42
Palta Hass	-20,631.52	0.00	0.00	370,531.78	601,178.77	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42
Maiz Amarillo duro	43,261.72	43,261.72	43,261.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos de Rotación										
Maiz Amarillo duro	43,261.72	43,261.72	43,261.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente. Elaboración propia, basado en el diseño del ariete hidráulico.

Tabla 31

Determinación de los ingresos incrementales por venta de agua, con proyecto a precios privados

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos por venta de agua con proyecto										
(a) área a irrigar (ha)	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37	7.37
(b) tarifa por ha	407.14	407.14	407.14	407.14	407.14	407.14	407.14	407.14	407.14	407.14
Total S/. ((a) x (b))	3,000.00									
Ingresos por venta de agua sin proyecto										
(c) área a incorporar (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(d) tarifa por ha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total S/. ((c) + (d)) + (e)	0.00									
FLUJO NETO = ((1)-(2))	3,000.00									

Fuente. Elaboración propia, basado en el diseño del ariete hidráulico.

Tabla 32

Determinación del beneficio/costo del sistema de abastecimiento de agua agrícola para la comunidad Cory Aylluyoc, mediante el ariete hidráulico diseñado, a precios privados

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Valor Actual
BENEFICIOS												
1. Ingresos incrementales del proyecto (1)	-	68,891.92	89,523.44	89,523.44	373,531.78	601,178.77	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	5,015,366.45
Venta de agua para riego con proyecto	-	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	30,000.00
Venta de agua para riego sin proyecto	-	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	-
2. Incremento en el valor neto de la producción (2)	-	65,891.92	86,523.44	86,523.44	370,531.78	601,178.77	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	4,985,366.45
VNP Agrícola	-	65,891.92	86,523.44	86,523.44	370,531.78	601,178.77	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	4,985,366.45
3. Costos incrementales del proyecto (3)	485,501.54	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	515,501.54
COSTOS DIRECTOS	324,276.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	324,276.47
Infraestructura de Abastecimiento de agua agrícola	324,276.47											324,276.47
COSTOS INDIRECTOS	161,225.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	161,225.07
Gastos Generales 12% CD	38,913.18											38,913.18
Utilidad 10% CD	32,427.65											32,427.65
Impuesto General a las Ventas 1.8% ST	71,211.11											71,211.11
Supervisión de Obras 4% VR	18,673.14											18,673.14
Costos de Operación y Mantenimiento												
Operación												
Mantenimiento		3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	30,000.00
VP, CO&M	-	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	29,997.66
FLUJO NETO = (1)-(2)-(3)	-	65,891.92	86,523.44	86,523.44	370,531.78	601,178.77	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	4,499,864.90
FACTOR DE ACTUALIZACIÓN (4)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VALOR ACTUAL NETO (4 x 5)	(485,501.55)	65,891.92	86,523.44	86,523.44	370,531.78	601,178.77	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	754,943.42	4,499,864.42
TASA INTERNA DE RETORNO (6)												
RELACION BENEFICIO/COSTO (8)	9.67											

VAN	2,114,247.39
IRR	0.47
RATIO BENEFICIO/COSTO	5.20

Fuente. Elaboración propia, basado en el diseño del ariete hidráulico.

De acuerdo a lo determinado en la tabla 32, para el valor del valor actual neto $VAN=2\ 114\ 247,39$; indica que el sistema diseñado para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, crea valor por lo que es rentable. Para el valor de la tasa interna de retorno o rentabilidad $TIR=0,47$; indica que el sistema diseñado para el abastecimiento de agua agrícola, para la comunidad Cory Aylluyoc, es rentable y crea un valor de retorno de la inversión directamente en los agricultores de la comunidad. Para el valor de la ratio de beneficio/costo $B/C=5,20$; indica que los beneficios son mayores a los costos en la relación de 5,2.

Apéndice X. Simbología

$\frac{P_1}{\gamma}$ y $\frac{P_2}{\gamma}$: Cargas o energía de presión

$\frac{V_1^2}{2g}$ y $\frac{V_2^2}{2g}$: Cargas o energías de velocidad

$\sum k_m$: Coeficiente global (sumados) de perdidas menores

A_{pv} : Sección del pie de la válvula de impulso (m^2)

d_d : Diámetro nominal de la tubería de descarga (m)

h_f : Perdidas de carga debido a la fricción

h_{ft} : Perdidas de carga total en la tubería

h_{ft1-2} : Perdidas de carga o energía de la sección 1 a la sección 2.

h_{ftd-2} : Pérdidas totales desde el ariete hidráulico hasta el punto de descarga

h_m : Perdidas menores

h_r : Pérdida de carga durante el periodo de retardación (m)

Q_{dmax} : Caudal de descarga bombeado por ciclo

A_C : Sección del cuerpo de ariete, (m^2)

A_P : Sección de paso de la válvula de impulso, (m^2)

A_{TAA} : Área de terreno agrícola abastecida (m^2)

E_a : Modulo de elasticidad del fluido ($\frac{N}{m^2}$)

E_{mt} : Modulo de elasticidad del material constitutivo de la tubería ($\frac{N}{m^2}$)

H_d : Altura se descarga (m)

H_s : Altura disponible (m)

H_t : Presión total de carga (m)

H_{td} : Altura total desarrollado por el ariete hidráulico (m)

K_1 : Modulo elástico equivalente para la tubería y el fluido ($\frac{N}{m^2}$)

L_d : Longitud de descarga (m)

L_s : Longitud de suministro (m)

MR_{max} : Módulo de riego máximo $lts/(s \times ha)$

P_R : Potencia real desarrollada por el ariete hidráulico (watts)

P_c : Presión de diseño a la que operará la tubería (N/mm^2)
 P_d : Potencia desarrollada (kg-m/s)
 Q_d : Caudal de descarga bombeado por ciclo (m^3/s)
 Q_{d12} : Caudal descargado en 12 horas (m^3/s)
 Q_s : Caudal de descarga (m^3/s)
 R_{eht} : Límite elástico propio del material (N/mm^2)
 R_m : Resistencia a la tracción propio del material (N/mm^2)
 $R_{p0,2t}$: Límite de fluencia propio del material (N/mm^2)
 V_2 : Velocidad del fluido al iniciarse el cierre de la válvula de impulso (m/s)
 Vol_C : Volumen de la cámara de aire (m^3)
 Vol_{RD} : Volumen del reservorio de descarga (m^3)
 W_0 : Fuerza hidráulica sobre la válvula de impulso (N)
 W_{max} : Fuerza hidráulica de arrastre máximo sobre la válvula de impulso (N)
 Z_1 y Z_2 : Cargas o energía de posición
 d_c : Diámetro del cuerpo del ariete hidráulico (m)
 d_i : Diámetro interior de la tubería de suministro (m)
 d_o : Diámetro del orificio del asiento de la válvula de impulso (m)
 f_d : Tensión de diseño (N/mm^2)
 $\sum j$: Sumatoria de coeficientes de pérdida de los accesorios y válvula de impulso
 k_s : Rugosidad absoluta de la tubería (m)
 q_d : Cantidad de agua bombeado por ciclo (m^3)
 t_1 : Tiempo de duración del periodo 1 de un ciclo (s)
 t_2 : Tiempo de duración del periodo 2 de un ciclo (s)
 t_3 : Tiempo de duración del periodo 3 de un ciclo (s)
 t_4 : Tiempo de duración del periodo 4 de un ciclo (s)
 t_5 : Tiempo de duración del periodo 5 de un ciclo (s)
 t_6 : Tiempo de duración del periodo 6 de un ciclo (s)
 t_7 : Tiempo de duración del periodo 7 de un ciclo (s)
 t_T : Tiempo de duración de un ciclo completo (s)
 Δh : Sobrepresión por el golpe de ariete (m)

μ : Viscosidad cinemática del agua

h_{max} : Altura de descarga máxima desarrollada por el ariete (m)

h : Altura de descarga medida desde el nivel de suministro (m)

$\Phi(s)$: Coeficiente de arrastre

R_s : coeficiente de pérdida de carga en la válvula de impulso

L : Longitud de la tubería

M : Coeficiente total de pérdidas

Q : Caudal del flujo

S : Carrera de la válvula de impulso (m)

V : Velocidad del fluido

v_p : velocidad de la pared

$v_{rel} = v - v_p$, velocidad relativa

W : Fuerza de acción para la válvula de impulso (N)

c : Velocidad de la onda de presión en la tubería (m/s)

e : Espesor de la pared de la tubería de suministro (m)

f : Factor de fricción de Darcy

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

n : Eficiencia del ariete hidráulico (%)

ν : Coeficiente de viscosidad cinemática

z : Coeficiente de unión

ρ : Densidad del agua a 20° C (kg/m^3)