



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN RECURSOS
HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE**

TESIS

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL
FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE EN EL SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA VILCANOTA DE LA CIUDAD DE
CUSCO”**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN RECURSOS HÍDRICOS Y
MEDIO AMBIENTE**

PRESENTADO POR:

BACH. FABRICIO RUBÉN OLIVERA TAPIA

ASESOR :

MGT. ING. ÁLVARO H. FLORES BOZA

CUSCO – PERÚ

2023

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	XII
AGRADECIMIENTOS	XIII
RESUMEN	XIV
SUMMARY	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	2
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	2
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
2.1 BASES TEÓRICAS.	5
2.1.1 GENERALIDADES.	5
2.1.2 PARTES CONSTITUTIVAS DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.	6
2.1.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA POBLACIONES URBANAS.	7
2.2.3 SISTEMAS DE BOMBEO.	8
2.2.3.1 EQUIPO DE BOMBEO CARACTERÍSTICAS DE SU SELECCIÓN.	9
2.2.3.1.1 Número de unidades	9
2.2.3.1.2 Gasto de bombeo	10
2.2.3.1.3 Curvas de Solicitación de las bombas y curvas del sistema de bombeo	11
2.2.3.1.4 Características de rendimiento de una bomba	12
2.2.3.1.5 Potencia de una bomba	12

2.2.3.1.6 Rendimiento de una bomba	13
2.2.3.1.7 Cavitación en las bombas	13
2.2.3.1.8 NPSH (Altura Neta De Succión Positiva).	14
2.2.4 LÍNEA DE CONDUCCIÓN.	15
2.2.5 CONDUCCIÓN POR PRESIÓN.	16
2.2.6 SISTEMAS A CONSIDERAR EN LÍNEA DE CONDUCCIÓN.	16
2.2.6.1 SIN RESERVORIO.	17
2.2.6.2 CON RESERVORIO.	17
2.2.6.3 CON RESERVORIO Y PLANTA DE TRATAMIENTO.	18
2.2.6.4 CON RESERVORIO, PLANTA DE TRATAMIENTO Y PLANTA DE BOMBEO.	18
2.2.7 FACTORES QUE DETERMINAN EL TRAZO DE TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN.	18
2.2.8 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE UN CONDUCTO A PRESIÓN.	19
2.2.9 ELECCIÓN DEL TIPO DE TUBERÍA.	19
2.2.9.1 Tubería de concreto	20
2.2.9.2 Tubería de plástico (PVC)	20
2.2.9.3 Tubería de Hierro Fundido	21
2.2.9.3.1 Tipos de tubería hierro dúctil (ISO 2531)	22
2.2.10 CALCULO HIDRÁULICO.	23
2.2.10.1 DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN	23
2.2.10.2 FORMULAS ANALÍTICAS	24
2.2.10.3 FORMULAS EMPÍRICAS	25
2.2.10.4 RUGOSIDAD EN TUBERÍAS	26
2.2.11 CALIDAD DE AGUAS.	27
2.2.11.1 RELACIÓN CALIDAD DE AGUAS VS COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (ÍNDICE DE LANGELIER).	30
2.2.12 ARIETE HIDRÁULICO.	32
2.2.12.1 GOLPE DE ARIETE .	33
2.2.13 TRANSITORIO HIDRÁULICO.	40

2.2.13.1	COLAPSOS DE TUBERÍAS POR EFECTOS DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS.	43
2.2.13.2	MEDIDAS DE CONTROL Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN ANTI ARIETE	44
2.3	ANTECEDENTES EMPÍRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	58
2.3.3	ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	58
2.3.4	ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL	60
	CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	62
3.1	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	62
3.1.1	HIPÓTESIS GENERAL	62
3.1.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	62
3.2	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES	62
3.2.1	VARIABLES DEPENDIENTES	62
3.2.2	VARIABLES INDEPENDIENTES	62
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	62
	CAPITULO IV: METODOLOGÍA	64
4.1	ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA.	64
4.1.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.	64
4.2	TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.	67
4.1.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.	67
4.1.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	67
4.1.3	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.	67
4.3	UNIDAD DE ANÁLISIS – ÁMBITO DE ESTUDIO.	67
4.4	POBLACIÓN DE ESTUDIO.	67
4.5	TAMAÑO DE LA MUESTRA.	67
4.6	TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA.	67
4.7	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	68
4.8	TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	68
4.9	TÉCNICAS PARA DEMOSTRAR LA VERDAD O FALSEDAD DE LAS HIPÓTESIS PLANTEADAS.	69
	CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
5.1	RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO.	70
5.1.1	RECOLECCIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO EN CONDICIONES ACTUALES DE TRABAJO.	70
A)	INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS.	70
B)	INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA.	70
5.1.1.1	PROCEDIMIENTO	70

5.1.1.2	TOMA DE DATOS.	71
5.1.2	RECOLECCIÓN DE CAUDALES DE EXPLOTACIÓN EN CONDICIONES ACTUALES DE TRABAJO.	80
5.1.1.3	PROCEDIMIENTO	80
5.2	PROCESAMIENTO, ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
5.2.1	ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	83
5.2.1.1	DATOS DE ENTRADA.	83
5.2.1.2	DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO INTERIOR DE TUBERÍA.	84
5.2.1.3	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “C” DE HAZZEN Y WILLIAMS – EN CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN.	85
5.2.1.4	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE PRODUCCIÓN EN CONDICIONES ACTUALES Y DE CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO.	91
5.2.2	ESTIMACIÓN DEL FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE	95
5.2.2.1	RESUMEN DE RESULTADOS SOBREPRESIONES Y DEPRESIONES	144
5.2.2.7	VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE RUMICOLCA	145
5.2.2.8	SIMULACIÓN HIDRÁULICA – TRANSITORIO DE PRESIONES.	158
5.2.2.8.1	TRAMO 01 PIÑIPAMPA – RUMICOLCA 2DA ETAPA.	158
5.2.2.8.2	TRAMO 02 RUMICOLCA – COLLANA.	161
5.2.2.8.3	TRAMO 03 ESTACIÓN DE BOMBEO DE COLLANA A RESERVORIO R12 .	164
5.3.1	RESULTADO Y DISCUSIÓN DE LA EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN	167
5.3.2	RESULTADO Y DISCUSIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL TRANSITORIO HIDRÁULICO EN CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN	171
	CONCLUSIONES	176
	RECOMENDACIONES	178
	REFERENCIAS	180
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180
	ANEXO 01: MARCO CONCEPTUAL (PALABRAS CLAVE).	182
	ANEXO 02: MATRIZ DE CONSISTENCIA	189

ANEXO 03: CURVAS DE OPERACIÓN Y SIMULACIÓN

190

ANEXO 04 : PANEL FOTOGRÁFICO

193

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1 : PERIODO DE DISEÑO PARA PROYECTOS DE AGUA POTABLE.....	8
TABLA N° 2 : PRESIONES MÁXIMAS ADMISIBLES CATALOGO PONT-A-MOUSSON.....	23
TABLA N° 3 : COEFICIENTE “C” PARA LA ECUACIÓN DE HAZEN WILLIANS.....	26
TABLA N° 4 : COEFICIENTE “C” PARA TUBERÍAS USADAS POR EL TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO.....	26
TABLA N° 5 : RESUMEN CONSOLIDADO - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA LA CAPTACIÓN SISTEMA VILCANOTA – POZO I.....	28
TABLA N° 6 : RESUMEN CONSOLIDADO - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA LA CAPTACIÓN SISTEMA VILCANOTA – POZO II.....	28
TABLA N° 7 : RESUMEN CONSOLIDADO - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA LA CAPTACIÓN SISTEMA VILCANOTA – POZO III.....	29
TABLA N° 8 : RESUMEN CONSOLIDADO - RESULTADOS DE ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA LA CAPTACIÓN SISTEMA VILCANOTA – POZO IV.....	29
TABLA N° 9 : VALOR DE PROPORCIONALIDAD SEGÚN LA CALIDAD DEL AGUA.....	31
TABLA N° 10 : VALORES TF, HF, AF, PARA CALCULO DE ÍNDICE DE LANGELIER.....	32
TABLA N° 11 : CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	63
TABLA N° 12 : UBICACIÓN EN COORDENADAS UTM – ZONA 19 L DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO VILCANOTA.....	65
TABLA N° 13 : RECOLECCIÓN DE PRESIONES – TRANSITORIO.....	71
TABLA N° 14 : RECOLECCIÓN DE PRESIONES – TRANSITORIO.....	76
TABLA N° 15 : RECOLECCIÓN CAUDAL DE PRODUCCIÓN – ESTACIÓN DE BOMBEO 01 PINIPAMPA.....	81
TABLA N° 16 : RECOLECCIÓN CAUDAL DE PRODUCCIÓN – ESTACIÓN DE BOMBEO 02 RUMICOLCA.....	81
TABLA N° 17 : RECOLECCIÓN CAUDAL DE PRODUCCIÓN – ESTACIÓN DE BOMBEO 03 COLLANA.....	82
TABLA N° 18 : CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS POR DIÁMETRO NOMINAL DE TUBERÍA HIERRO DÚCTIL.....	84
TABLA N° 19 : VALOR PROMEDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO VILCANOTA – ESTACIÓN DE BOMBEO 01.....	85
TABLA N° 20 : VALORES TF, HF, AF, PARA CALCULO DE INDICE DE LANGELIER.....	86
TABLA N° 21 : INTRODUCCIÓN DE DATOS PARA CALCULO DE ÍNDICE DE LANGELIER.....	87

TABLA N° 22 : TABLA 03 RESULTADOS DEL ÍNDICE DE SATURACIÓN LANGELIER.....	87
TABLA N° 23 : CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS CON ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER.....	88
TABLA N° 24 : VALOR DE PROPORCIONALIDAD SEGÚN LA CALIDAD DEL AGUA	89
TABLA N° 25 : RUGOSIDAD INICIAL EQUIVALENTE EN TUBERÍAS SEGÚN LAMONT	90
TABLA N° 26 : MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DE CAUDALES - ESTACIÓN DE BOMBEO 01 – PINIPAMPA.....	91
TABLA N° 27 : MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DE CAUDALES – ESTACIÓN DE BOMBEO 02 – RUMICOLCA	92
TABLA N° 28 : MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DE CAUDALES – ESTACIÓN DE BOMBEO 03 – COLLANA	92
TABLA N° 29 : CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR TRAMOS – ESCENARIO 1 (CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO).....	93
TABLA N° 30 : CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR TRAMOS – ESCENARIO 2 (CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN)	94
TABLA N° 31 : SOBRE-PRESIÓN Y SUPRESIÓN POR GOLPE DE ARIETE EN CONDICIONES ACTUALES DE EXPLOTACIÓN	144
TABLA N° 32 : SOBRE-PRESIÓN Y SUPRESIÓN POR GOLPE DE ARIETE EN CONDICIONES DE MÁXIMA PRODUCCIÓN	144
TABLA N° 33 : RECOLECCIÓN DE PRESIONES – TRANSITORIO	145
TABLA N° 34 : RECOLECCIÓN DE PRESIONES – TRANSITORIO	152
TABLA N° 35 : CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR TRAMOS – ESCENARIO 1 (CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO).....	169
TABLA N° 36 : CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR TRAMOS – ESCENARIO 2 (CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN)	170
TABLA N° 37 : RESUMEN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ANTIARIETE POR TRAMO.....	175
TABLA N° 40 : MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	189

ÍNDICE DE FIGURA

<i>Figura 1 : Tipos de Abastecimiento de agua</i>	5
<i>Figura 2 : Partes de abastecimiento de agua (Vierendel 2018)</i>	7
<i>Figura 3 : Esquema Moto-Bomba de gran Capacidad y accesorios Línea de Succión e Impulsión (Azevedo N., 1975)</i>	9
<i>Figura 4 : Interior de una importante instalación de bombeo Alemania (Azevedo N., 1975)</i>	10
<i>Figura 5 : Esquema general sistema de bombeo (Azevedo N., 1975)</i>	11
<i>Figura 6 : Curva del Sistema Bombeo vs Curva característica de una bomba (Arocha S., 1977)</i> .	12
<i>Figura 7 : Bomba tipo Horizontal de succión negativa (Bombas Novatec)</i>	14
<i>Figura 8 : Diagrama NPSH disponible vs NPSH Requerido (Bombas Novatec)</i>	15
<i>Figura 9 : Conductos a Presión (Ormachea Carrazas J.)</i>	16
<i>Figura 10 : Tipos de conducto a presión (Ormachea Carrazas J.)</i>	16
<i>Figura 11 : Conducción sin Reservorio (Ormachea Carrazas J.)</i>	17
<i>Figura 12 : Conducción con Reservorio (Ormachea Carrazas J.)</i>	17
<i>Figura 13 : Conducción con Reservorio y P.T.A.P (Ormachea Carrazas J.)</i>	18
<i>Figura 14 : Tubería Hierro Dúctil recubierto PONT-A- MOUSSON (Catalogo Fumosac)</i>	21
<i>Figura 15 : Tubería Hierro Dúctil Tipo T (Norma ISO 2531, 2015)</i>	22
<i>Figura 16 : Tubería Hierro Dúctil Tipo K (Norma ISO 2531, 2015)</i>	22
<i>Figura 17 : Modificación Brusca de Velocidad de un Fluido (Azevedo N., 1975)</i>	33
<i>Figura 18 : Mecanismo del fenómeno por cierre de válvula (Azevedo N., 1975)</i>	34
<i>Figura 19 : Sobrepresiones y subpresiones producidas en una tubería (Azevedo N., 1975)</i>	35
<i>Figura 20 : Sobrepresiones y subpresiones producidas en una tubería (Azevedo N., 1975)</i>	36
<i>Figura 21 : Valores de Celeridad en Materiales diferentes de tubería de conducción de _____ agua potable (Gandarilla I., 2017)</i>	41
<i>Figura 22 : Transitorio Hidráulico Producido en una línea de Conducción (Gandarilla I., _____ 2017)</i>	42
<i>Figura 23 : Colapso de Tuberías producido por Sobrepresiones (Gandarilla I., 2017)</i>	43
<i>Figura 24 : Colapso de Tuberías producido por Sub presiones (Gandarilla I., 2017)</i>	44
<i>Figura 25 : Válvulas de alivio rápido – VAR (Rec. de https://www.lagua.es , 2022)</i>	45
<i>Figura 26 : Esquema general de instalación de válvula de alivio rápido (Rec. de https://www.lagua.es , 2022)</i>	45
<i>Figura 27 : Vista General de una estación de bombeo con valvula de alivio ross de cuerpo en ángulo de la tubería de impulsión(Rec. de https://www.lagua.es , 2022)</i>	46

Figura 28 : Válvula anticipadora de onda (Rec. de https://www.bermad.com/es/ , 2022)	46
Figura 29 : Partes constitutivas de Válvula de apertura anticipada (Gandarilla I., 2017).....	47
Figura 30 : Rango de operación de válvula anticipador de onda (Gandarilla I., 2017)	48
Figura 31 : Valvulas Trifuncionales Ari – Regaber (Gandarilla I., 2017)	49
Figura 32 : Ubicación de válvulas de aire en línea de Conducción (Rec. de https://www.vcpsa.com/ , 2022)	49
Figura 33 : Válvula de aire de simple efecto con unión tipo brida (Rec. de https://mylnegofersac.com/producto/valvula-de-aire-simple-efecto/ , 2022)	50
Figura 34 : Válvula de aire de doble efecto – unión bridada (Rec. de https://www.vcpsa.com/ , 2022)	50
Figura 35 : Válvula de aire de triple efecto – unión bridada (Rec. de https://www.vcpsa.com/ , 2022)	51
Figura 36 : Válvula de aire anti golpe de ariete – unión bridada (Rec. de https://www.bermad.com/es/ , 2022).....	52
Figura 37 : Válvula antirretorno concéntrica mistral ross para proteger la estación de bombeo de golpes de ariete: al actuar se cierra inmediatamente mediante un tapón elástico que evita el reflujó de agua y la formación de ondas de choque. (Rec. de https://www.lagua.es/ , 2022)	53
Figura 38 : Válvulas antiretorno multidisco “Casa Ibapol Polanco”; protegen las estaciones de bombeo de los golpes de ariete. Cuando funciona, algunos discos se cierran, impidiendo el retorno del agua y la formación de ondas de choque.	54
Figura 39 : Diagrama unifilar bomba-tanque hidroneumática.	55
Figura 40 : Tanque antiarriete tipo vejiga – corte y perfil (Gandarillas I. , 2017).....	55
Figura 41 : Características y ventajas de Tanque Antiarriete (Gandarillas I. , 2017)	56
Figura 42 : Principios de Operación Tanque Antiarriete (Gandarillas I. , 2017)	57
Figura 43 : Ubicación Sistema De Abastecimiento De Agua Vilcanota (Elaboración propia).....	64
Figura 44 : Ubicación Estaciones de bombeo 01,02 y 03 sistema de abastecimiento Vilcanota (Elaboración propia)	66
Figura 45 : Incrustación en tuberías de hierro dúctil recubierto, sistema de bombeo Pinipampa (Elaboración Propia)	88
Figura 46 : Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007).....	101
Figura 47 : Envolvente de presiones tramo Pinipampa –Rumicolca en condiciones actuales de explotación (Elaboración Propia)	103
Figura 48 : Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007).....	109

Figura 49 : <i>Envolvente de presiones tramo Pinipampa –Rumicolca en máxima producción de agua potable (Elaboración Propia)</i>	111
Figura 50 : <i>Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007)</i>	117
Figura 51 : <i>Envolvente de presiones tramo Rumicolca- Collana en condiciones actuales de explotación (Elaboración Propia)</i>	119
Figura 52 : <i>Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007)</i>	125
Figura 53 : <i>Envolvente de presiones tramo Rumicolca- Collana en condiciones máximas de explotación (Elaboración Propia)</i>	127
Figura 54 : <i>Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007)</i>	133
Figura 55 : <i>Envolvente de presiones tramo Collana – R12 en condiciones actuales de explotación (Elaboración Propia)</i>	135
Figura 56 : <i>Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007)</i>	141
Figura 57 : <i>Envolvente de presiones tramo Collana – R12 en condiciones Máximas de explotación (Elaboración Propia)</i>	143
Figura 58 : <i>Curva de presión en condiciones actuales de operación EB. RUMICOLCA del 13/08/2022 (Elaboración Propia)</i>	150
Figura 59 : <i>Ajuste de curva de presiones en condiciones actuales de operación EB RUMICOLCA</i>	151
Figura 60 : <i>Transitorio Hidráulico De Presiones Vs Tiempo De Apagado De Bombas Estación De Bombeo De Collana Del 20/08/2022 (Elaboración Propia)</i>	156
Figura 61 : <i>Ajuste De Curva De Presiones En Condiciones Actuales De Operación Eb Collana Del 20/08/2022</i>	157
Figura 62 : <i>Línea de Gradiente Hidráulica tramo Pinipampa -Rumicolca</i>	158
Figura 63 : <i>Transitorios Hidráulicos tramo Piñipamp Rumicolca sin protección- condición máxima de producción de agua (Elaboración Propia)</i>	159
Figura 64 : <i>Transitorios Hidráulicos tramo Piñipamp Rumicolca con protección- condición máxima de producción de agua (Elaboración Propia)</i>	160
Figura 65 : <i>Línea de Gradiente Hidráulica Tramo Rumicolca Collana – máxima de producción de agua (Elaboración Propia)</i>	161
Figura 66 : <i>Línea de Gradiente Hidráulica Tramo Rumicolca Collana – sin sistema de protección (Elaboración Propia)</i>	162

Figura 67 : <i>Transitorio Hidraulico – Tramo Rumicolca Collana con Proteccion (Elaboración Propia)</i>	163
Figura 68 : <i>Línea de gradiente hidráulica Tramo Collana a R12, condición de máxima explotación hidráulica (Elaboración Propia)</i>	164
Figura 69 : <i>Transitorio Hidraulico Tramo Collana a R12, sin sistema de protección (Elaboración Propia)</i>	165
Figura 70 : <i>Transitorio Hidraulico Tramo Collana a R12, con sistema de protección (Elaboración Propia)</i>	166

DEDICATORIA

La presente Investigación se la dedico dedico a Dios todo Poderoso, que todos los días de mi vida me ha cuidado y acompañado en cada dificultad, alegría y reto que me he puesto, y siempre estare agradecido por todo el apoyo y salud que me ha bendecido a mi y mi familia.

Se la dedico a mis amados padres Ruben Dario Olivera Hinojosa y Avelina Tapia Quispe, que a pesar de las dificultades nunca claudicaron y siempre me dieron palabras de fe y esperanza, a mis hermanas Michelle Almendra Olivera Tapia y Paola Alexandra Olivera Tapia que del mismo modo me ayudan a ser mejor cada dia, a mi hermano Gonzalo Florez Mejia que he visto su crecimiento como persona y profesional del cual me siento muy orgulloso, a mi Mama Maria Mejia de la O que me cuido desde pequeño y tengo todo el amor y aprecio personal hacia ella, a mi tio Silverio Florez Coello que nos acompaña gran parte de nuestras vidas y siempre nos dio lecciones de vida.

Por ultimo, dedico esta tesis a mi amada Jennifer Chacon Pumacahua, quien con sus palabras de aliento, consejos siempre me ha acompañado en cada momento importante en mi vida.

Siempre me van a faltar palabras, para describir todo el amor, cariño y aprecio que siento por cada persona que forma parte de mi vida, a todos ustedes muchísimas gracias.

Bch. Fabricio Rubén Olivera Tapia

“Estoy agradecido por todos los que me dijeron NO. Es gracias a ellos que estoy siendo yo mismo” **Albert Einsten**

AGRADECIMIENTOS

El Presente Trabajo de Investigación desarrollado en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco es un esfuerzo conjunto en el cual, se ha recopilado las experiencias directa o indirectamente, participaron distintas personas opinando, corrigiendo, teniéndonos paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos difíciles y en los momentos de felicidad. Este trabajo nos ha permitido aprovechar la competencia y la experiencia de muchas personas que deseamos agradecer en este apartado.

En primer lugar, a mi Asesor de Tesis, Mgt. Ing. Alvaro Horacio Flores Boza, del cual tengo mucho aprecio y gran admiración por su forma de ver el mundo , por su confianza y amistad ; por haberme recibido con las manos abiertas en la Empresa Prestadora de Servicio Seda Cusco, por sus consejos y gran Sabiduría .

En segundo lugar a la oficina de Proyectos Especiales de la E.P.S Seda Cusco del cual formo parte, conformado por el Staff de Ingenieros : Alvaro Horacio Flores Boza, Gorky Flores Arredondo, Franz del Carpio Jimenez, Gonzalo Aragon Paz, Emerson Quispe Rosello, Cristiam Amau Cusicuna; que con el trabajo conjunto y colegiado hemos logrado concretizar el Proyecto Vilcanota II, en beneficio para la Ciudad del Cusco, incrementando la producción de agua potable en los próximos 20 años; bonitos recuerdos y experiencias.

Muchas Gracias por Todo.

Bach. Fabricio Rubén Olivera Tapia

RESUMEN

El presente trabajo de Investigación, previo un extenso trabajo de recopilación de información, realiza el Análisis del Comportamiento Hidráulico del Fenómeno del Golpe de Ariete en el Sistema de Abastecimiento de agua Vilcanota de la Ciudad del Cusco, la cual ha cumplido su periodo diseño y vida útil, por lo tanto los equipos y/o dispositivos de protección antiariete de cada estación de bombeo no protegerían adecuadamente cada estación de bombeo(apagado de bombas y/o corte de energía) cuando estos operen al 100% de su capacidad de producción de agua dejando a la ciudad del cusco desabastecida de este recurso hídrico.

Para tal motivo, se ha planteado realizar el análisis descriptivo de los parámetros hidráulicos que gobiernan el comportamiento hidráulico del golpe de ariete en condiciones máximas y actuales de explotación mediante la simulación hidráulica con los software Bentley OpenFlows WaterGEMS - Water Distribution Analysis and Design Y Bentley HAMMER Connect Edition, y mediciones del transitorio hidráulico en las estaciones de bombeo de Rumicolca y Collana.

Los resultados y análisis de cada uno de estos parámetros en resumen resaltan la importancia de la incorporación de los dispositivos de protección antiariete (válvula anticipadora de onda, calderin antieriete, válvulas de aire, válvula check) los cuales mejoran considerablemente las condiciones y comportamiento hidráulicos del sistema al producirse el transitorio del paso de flujo permanente a flujo no permanente [sobrepresión máxima, supresión mínima]; este análisis ha sido también comparado con las recomendaciones realizadas por los fabricantes de tubería de Hierro dúctil respecto al análisis del Golpe de Ariete [Metodología de Allievi].

Palabras clave

- ✓ **Transitorio Hidraulico.**
- ✓ **Sobrepresion Hidraulica.**
- ✓ **Subpresión Hidraulica.**

SUMMARY

The present research work, After an extensive work of information gathering, he performs the Analysis of the Hydraulic Behavior of the Water Hammer Phenomenon in the Vilcanota Water Supply System of the City of Cusco under current conditions of Operation and Maintenance, through parameters of Flow, Pressure , Topographic Heights, Pipe Length, Types of Protection Devices, Water Quality.

These indicators were used to analyze the hydraulic behavior of the water hammer phenomenon and the hydraulic transient associated with the shutdown of the hydraulic pumps in each pumping station.

As a result of the Procedure described above, and with the purpose of guaranteeing the drinking water service for the city of Cusco, prevention and intervention actions are proposed for the Vilcanota water supply system, in terms of increasing anti-water hammer protection devices, against an eventual emergency and/or corrective maintenance of it, given that there is a lack of providers in the market that offer this service, and a significant percentage of the population of Cusco could be left without this resource

Keywords

- ✓ **Hydraulic Transient.**
- ✓ **Hydraulic overpressure and underpressure.**
- ✓ **Water Production Costs.**

INTRODUCCIÓN

El agua potable es un elemento vital para el ser humano y su supervivencia, por ello es de gran importancia que llegue a todo lugar donde el ser humano habite, ya sea por medio de la fuerza de la gravedad o por bombeo.

La Empresa Prestadora de Servicio de Agua Potable SEDA CUSCO, para lograr que el agua llegue al consumidor utiliza 4 Sistemas de Abastecimiento de agua potable: Sistema de Abastecimiento Vilcanota, Sistema de Abastecimiento Piuray, Sistema de Abastecimiento Korkor y Sistema de Abastecimiento Salkantay.

El Sistema Vilcanota actualmente abastece a más del 60% de la población del Cusco; el cual se capta por medio de bombas verticales del acuífero de Pinipampa en la provincia de Quispicanchis.

El Sistema de Abastecimiento Vilcanota cuenta con Estaciones de Bombeo que en la actualidad son tres: Piñipampa, Rumicolca y Collana, con un aporte de más del 60% a la población de la ciudad del Cusco, según estudios realizados por E.P.S Seda Cusco.

Actualmente, se viene desarrollando la proyección de un segundo sistema de abastecimiento de agua denominado VILCANOTA II paralelo al existente, para incrementar la producción de agua potable para los próximos 50 años en la ciudad del Cusco, por lo tanto el sistema de abastecimiento de agua VILCANOTA I EXISTENTE, trabajará a su capacidad máxima de producción para satisfacer la demanda debido a que se tiene un crecimiento de la población cusqueña y la incorporación de nuevos distritos y poblaciones de la ciudad del cusco(Alto Qosqo).

De lo expuesto, el sistema de abastecimiento VILCANOTA I, ha cumplido su periodo de diseño y vida útil, y la falta de mantenimiento preventivo a los sistemas de protección frente al transitorio hidráulico producido durante el apagado de bombas cuando se trabaje al 100% de producción hace incierto el comportamiento hidráulico frente al corte de energía, pudiendo producir daños a los equipos de bombeo y dejando desabastecido de recurso hídrico a la ciudad del Cusco.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal el Análisis del fenómeno de golpe de ariete producido por apagado de las bombas hidráulicas en el sistema de abastecimiento de agua Vilcanota para la ciudad del cusco en el periodo 2021, con la finalidad de evitar sobrecostos de mantenimiento correctivo.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la influencia del golpe de ariete producido por el apagado de bombas hidráulicas en el sistema de abastecimiento Vilcanota, en la producción de agua potable para la ciudad del Cusco 2021?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- I ¿Cuál es la sobre presión máxima de trabajo que puede producirse en los sistemas de impulsión a su capacidad máxima de producción?
- II. ¿Cuál es la sub presión mínima de trabajo que puede producirse en los sistemas de impulsión a su capacidad máxima de producción?
- III. Como es el comportamiento Hidráulico del Sistema de Abastecimiento Vilcanota en Condiciones de Máxima Producción de Agua Potable

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Debido a que actualmente no se realizan mantenimiento preventivos rutinarios ni periódicos a los equipos de protección antiarriete, ni tampoco estudios y/o análisis del transitorio hidráulico producido durante la producción de agua, que nos permita determinar el comportamiento hidráulico durante el apagado de las bombas verticales, se ve la necesidad de realizar la presente investigación con la finalidad de reducir los costos de operación y mantenimiento que puedan producirse durante un eventual colapso de la tubería de impulsión, cuando este trabaje a su capacidad máxima de producción, por lo tanto la presente investigación se justifica desde el punto de vista.

- **Técnico:** porque se analizará parámetros hidráulicos, que permitirán estimar el comportamiento del transitorio hidráulico en las 3 líneas de impulsión.
- **Social:** porque permitirá reducir los costos de operación y mantenimiento de la producción de agua potable y así poder optimizar el recurso para proporcionar del derecho a mas cusqueños que se incorporen al Sistema Vilcanota.
- **Viabilidad:** porque se tiene instrumentación necesaria para realizar la medición de parámetros hidráulicos, así como la data histórica de la producción de agua.

- **Relevancia:** porque no se cuentan con muchos estudios, ni información correspondiente a los transitorios hidráulicos en líneas de impulsión, para evitar colapso en las tuberías de conducción por comportante el agua como un fluido no permanente, lo que vuelve a la presente investigación en única y trascendente.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el fenómeno de golpe de ariete producido por apagado de bombas hidráulicas en el sistema de abastecimiento de agua Vilcanota para la ciudad del Cusco 2021.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Analizar las sobrepresiones máximas producidas en los sistemas de impulsión, trabajando a capacidad máxima de producción.
- II. Analizar la sub- presiones mínimas producidas en los sistemas de impulsión, trabajando a capacidad máxima de producción.
- III. Analizar el Comportamiento Hidraulico del Sistema de Abastecimiento Vilcanota en Condiciones de Maxima Producción de Agua Potable

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación contemplo las siguientes limitaciones:

- La recolección de datos de campo correspondientes a las presiones en régimen no permanente del agua (flujo transitorio), solo se pudo realizar en cortes programados de la EPS SEDA CUSCO, por aspectos de mantenimiento, limpieza y desinfección del sistema, esto debido a que el sistema de abastecimiento Vilcanota al ser la principal fuente y suministro de agua potable para la ciudad del cusco, y contar con un registro de flujo no permanente produciría en un corto plazo un conflicto social por la falta de agua.
- Falta de puntos de medición a lo largo de todo el recorrido de las líneas de impulsión, esto debido a que casi toda la tubería de impulsión se encuentra enterrada, y la medición de caudales de producción y presiones de trabajo solo pudo ser realizado a la salida de cada árbol de descarga y puntos intermedios expuestos en superficie.

- Disponibilidad de los equipos , instrumentación y personal técnico para la medición de parámetros hidráulicos , por parte de la EPS SEDA CUSCO, esta limitante ajusto el número de mediciones en campo y acompañamiento INSITU.
- Acceso a la infraestructura Hidraulica, solamente en periodos laborales por parte del personal técnico, dado que toda visita insitu e inspección es previa autorización por parte del área de operaciones de la EPS SEDA CUSCO.
- La falta de información técnica relacionada al tema de investigación por parte de la E.P.S SEDA CUSCO, dado que no se tiene personal capacitado en sistemas de protección antiariete.
- Debido a que el fenómeno del Golpe de ariete es un evento destructivo y peligroso que pondría en riesgo no solamente el desabastecimiento de agua para la ciudad del cusco, sino también para la integridad física del investigador, se hizo indispensable el acompañamiento y asesoramiento técnico de personal de la EPS SEDA CUSCO, para tomar las medidas de seguridad necesarias y los datos recolectados sean los más representativos a la realidad.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 BASES TEÓRICAS.

2.1.1 GENERALIDADES.

El agua potable es un elemento vital para el ser humano y su supervivencia, por ello es de gran importancia que llegue a todo lugar donde el ser humano habite ya sea por medio de la fuerza de la gravedad o por bombeo.

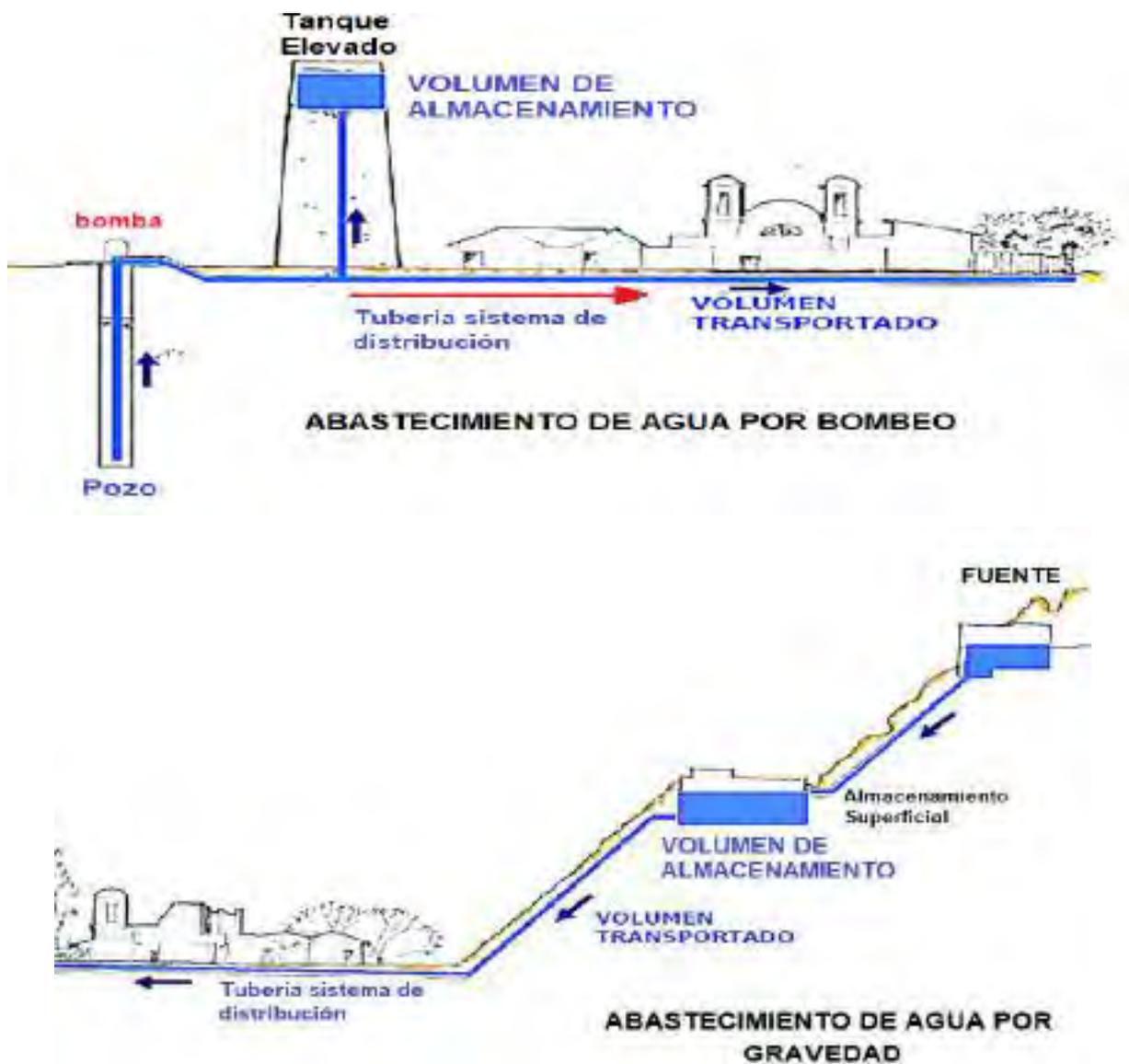


Figura 1 : Tipos de Abastecimiento de agua

En un sistema de abastecimiento de agua, puede requerirse estaciones de bombeo para llevar este recurso fundamental desde un punto “A” a un punto “B”, pues las instalaciones de bombeo se emplean en el funcionamiento de los diversos componentes de un sistema de agua potable y/o aguas residuales.

2.1.2 PARTES CONSTITUTIVAS DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.

a) Obras de captación

La fuente de abastecimiento en forma directa o con obras de regulación deberá asegurar el caudal máximo diario (QMD).

b) Obras de conducción

Se denomina obras de conducción, a las estructuras que transportan el recurso hídrico o agua desde la captación hasta la planta de tratamiento o a un reservorio.

La capacidad de esta estructura deberá permitir conducir el caudal correspondiente al máximo anual de la demanda diaria.

c) Obras de regulación

La capacidad del tanque de regulación o reservorio deberá fijarse de acuerdo al estudio de diagrama de masas correspondiente a las variaciones horarias de la demanda.

d) Obras de distribución

- Línea de alimentación

Según Arocha S. (1985) Están constituidas por las tuberías que van de la fuente, del reservorio o de la planta de tratamiento a la zona de servicio.

- Tuberías troncales

Según Arocha S. (1985) Conforman la Red principal d distribución debiendo formar en lo posible circuitos cerrados. Deberán instalarse a distancia de 400 a 600 metros entre ellos.

- Tuberías de servicio

Según Arocha S. (1985) Son las tuberías que están conectadas a las troncales y dan servicio local a los predios conformando la malla del sistema de distribución .el diámetro mínimo de la tubería de servicio será de 3”.

En caso de condiciones socio-económicas precarias y de acuerdo al tipo de servicio se podrá admitir hasta 2” de diámetro mínimo.

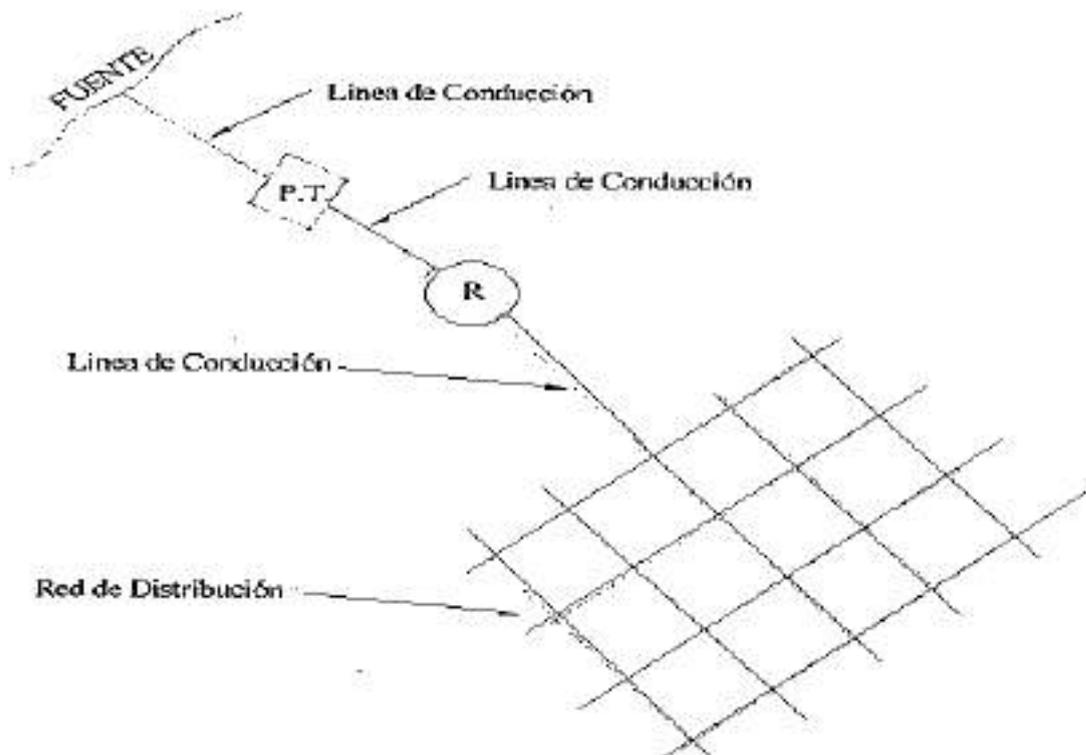


Figura 2 : Partes de abastecimiento de agua (Vierendel 2018)

2.1.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA POBLACIONES URBANAS.

a) Periodo de diseño.

Según Sanz P. E. (2006) Es el lapso de tiempo que se asume en el diseño de una obra de abastecimiento de agua, y durante el cual ésta deberá prestar servicio sin mayores problemas. El periodo de diseño se determinará para cada componente de un sistema.

Según Ormachea C. J. (2004) Se recomiendan periodos de diseño de 15 años para poblaciones de 2000 hasta 20000 habitantes, y de 10 años para poblaciones de más de 20000 habitantes.

En una obra de ingeniería civil, es el número de años durante los cuales una obra determinada prestará el servicio para la cual fue diseñada

El período de diseño puede definirse como el tiempo para el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por la capacidad en la conducción del caudal deseado o por la existencia física de las instalaciones.

Es el tiempo dentro del cual se priorizan las inversiones y se minimizan las capacidades ociosas instaladas (no genera tasa de retorno) de los elementos del sistema.

Los factores que influyen en la determinación del periodo de diseño son los siguientes:

- Vida útil de las estructuras, instalaciones y equipos electromecánicos, considerándose el desgaste daños y obsolescencia.
- Ampliaciones o sustituciones futuras y planificación de las etapas de construcción del proyecto.
- Tendencias de crecimiento de la población, en función de factores económicos, sociales y de desarrollo industrial.
- Comportamiento hidráulico del sistema, cuando éste no funcione a plena capacidad.
- Posibilidades de financiamiento.

Se tomara en cuenta los siguientes valores:

TABLA N° 1 : PERIODO DE DISEÑO PARA PROYECTOS DE AGUA POTABLE

a. Obras de captación	=	20 a 30 años
b. Pozos	=	20 a 30 años
c. Plantas de tratamiento, reservorios	=	20 a 30 años
d. Tuberías de conducción y de distribución	=	20 a 30 años
e. Equipo de bombeo	=	5 a 10 años

*Fuente: Normas y requisitos para los proyectos de agua potable y alcantarillado destinados a localidades urbanas
"Ministerio De Vivienda Construcción y Saneamiento"*

2.2.3 SISTEMAS DE BOMBEO.

En los sistemas de abastecimientos de agua puede requerirse del diseño de estaciones de bombeo, lo cual precisa del conocimiento de ciertos datos específicos para la mejor selección de los equipos necesarios.

Para el diseño de la estación de bombeo debemos considerar los siguientes aspectos:

- El equipo de Bombeo
- Los accesorios complementarios
- Las edificaciones y las fundaciones

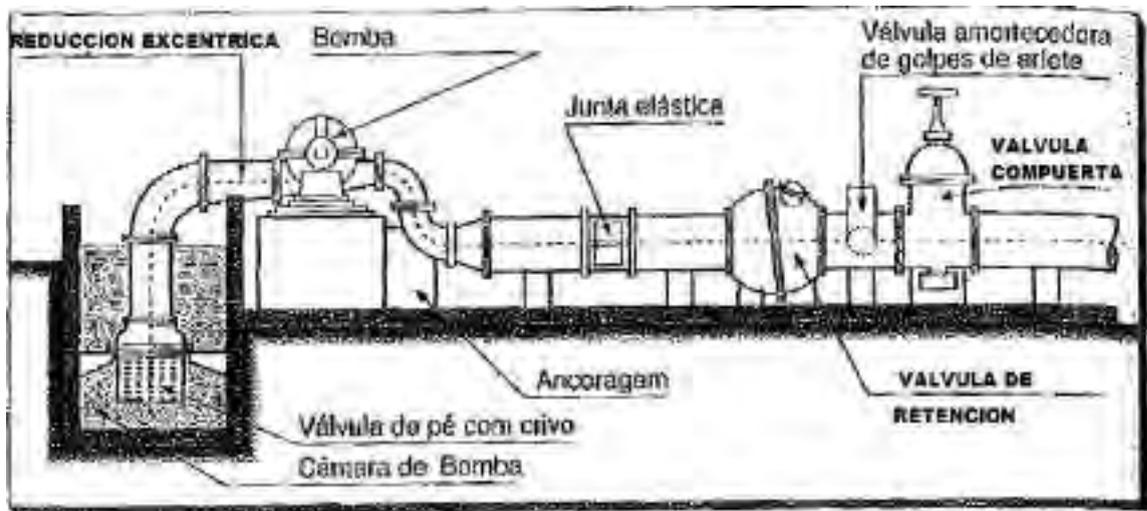


Figura 3 : Esquema Moto-Bomba de gran Capacidad y accesorios Línea de Succión e Impulsión (Azevedo N., 1975)

2.2.3.1 EQUIPO DE BOMBEO CARACTERÍSTICAS DE SU SELECCIÓN.

2.2.3.1.1 Número de unidades:

Según el RNE (2013) El número de unidades dependerá fundamentalmente del gasto de bombeo y de sus variaciones, debiendo además, suponerse un margen de seguridad, previendo equipos de reserva para atender *situaciones de emergencia*.

En ocasiones puede resultar más ventajoso aumentar el número de unidades, disminuyendo la capacidad individual, pero dando mayor seguridad en atención de reparaciones.

Cuando amerite de un solo equipo de bombeo; debe proveerse otro similar para atender situaciones de emergencia, lo cual representa el 200 por 100 como coeficiente de seguridad; pero si el tamaño de los equipos resulta muy grande ,es preferible aumentar el número de ellos, lo cual hace factible también tener coeficientes de seguridad menores, pero mayores probabilidades de alternativas y costos también menores .

En tales casos puede admitirse hasta 150 por 100 como coeficiente de seguridad de los equipos.

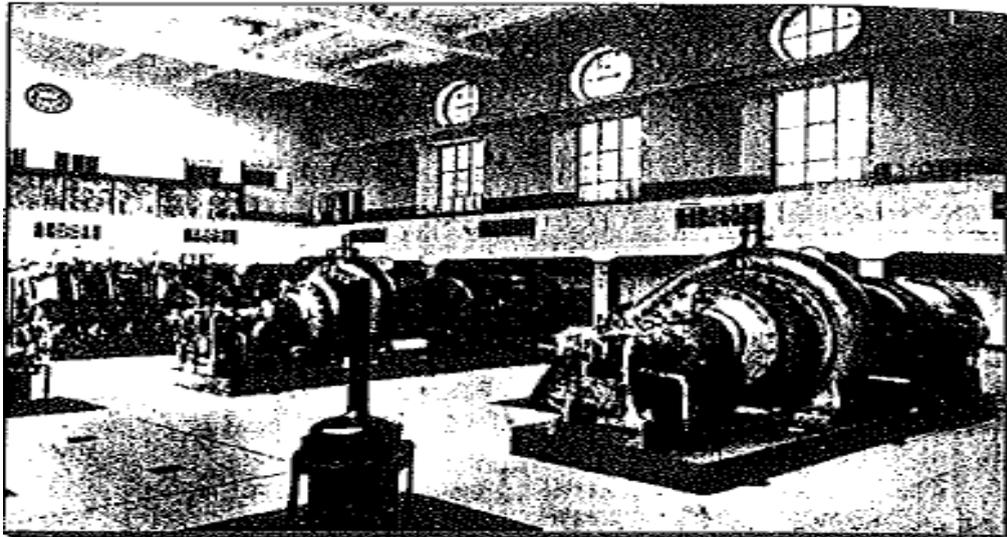


Figura 4 : Interior de una importante instalación de bombeo Alemania (Azevedo N., 1975)

2.2.3.1.2 Gasto de bombeo.

Según Arocha S, (1985) Para una estación de bombeo, el caudal a considerar debe corresponder al consumo máximo diario, pero ahora estamos ante una nueva variable, el tiempo de bombeo, por lo que el análisis considerando el caudal máximo y mínimo.

También se debe tener en cuenta la vida útil de los equipos, pero generalmente es menor que la vida útil del resto de los componentes del sistema de suministro de agua, por lo que se pueden seleccionar equipos con una capacidad correspondiente a la vida útil real.

En la mayoría de los casos es más ventajoso elegir un dispositivo de bombeo para el caudal correspondiente:

$$Q_b = Q_m * \frac{24}{N}$$

Además, aumentando el tiempo de bombeo ($n =$ Tiempo de Bombeo en Horas), dependiendo de la demanda, para satisfacer las necesidades del día de máximo consumo.

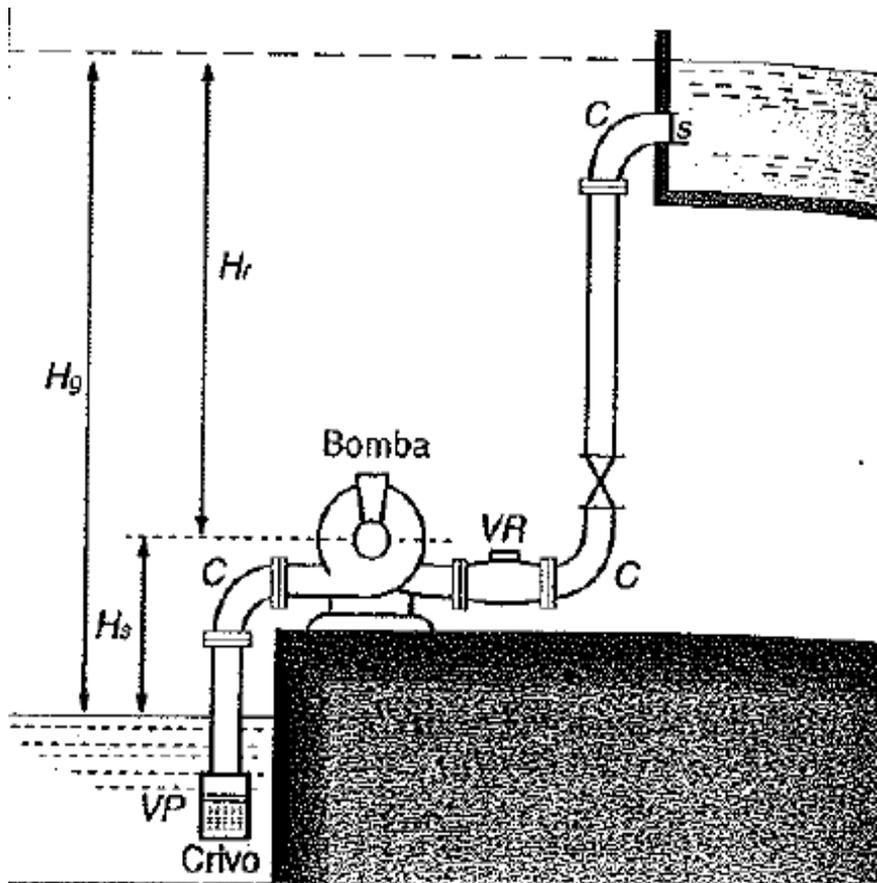


Figura 5 : Esquema general sistema de bombeo (Azevedo N., 1975)

2.2.3.1.3 Curvas de Solicitación de las bombas y curvas del sistema de bombeo.

Según Arocha S, (1985) El catálogo de bombas representa un conjunto de Figuras y/o Curvas que permiten la selección de equipos de bombeo para condiciones específicas dentro del rango de potencia de trabajo, pero el proveedor selecciona los equipos de acuerdo a las solicitudes de altura de carga a bombear.

Si la velocidad a la que se dibuja la curva de la bomba es igual a la velocidad de operación deseada, el punto de operación está determinado por el punto de intersección entre la curva de solicitud y la curva del sistema, donde además el caudal y la carga dinámica total son constantes.

En el siguiente diagrama, el punto A muestra el punto de operación para la velocidad V en la curva de la bomba y corresponde al caudal “ Q_a ” bombeado relativo a la altura hidráulica total H_a .

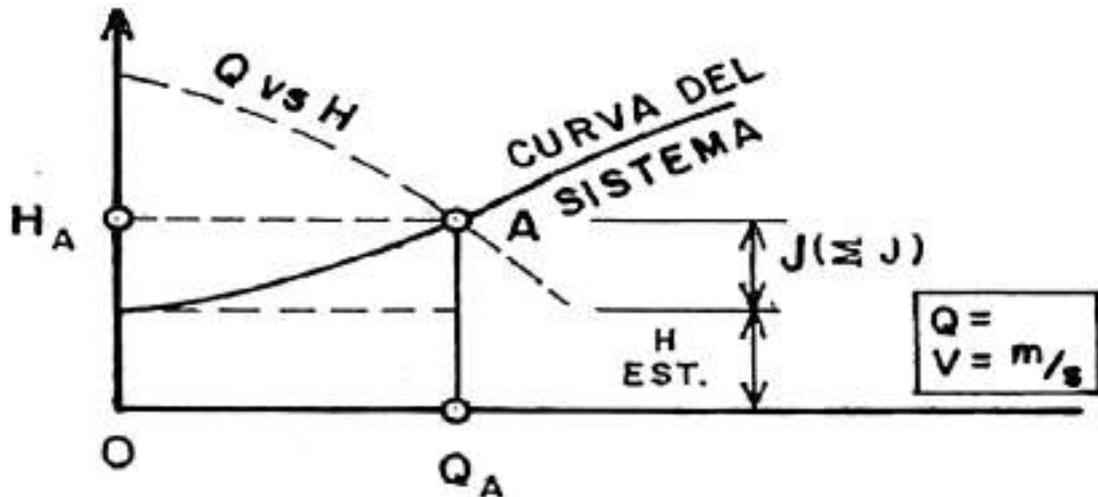


Figura 6 : Curva del Sistema Bombeo vs Curva característica de una bomba (Arocha S., 1977)

2.2.3.1.4 Características de rendimiento de una bomba.

Según Arocha S, (1985) Las características de rendimiento para una determinada velocidad constante se aplican a bombas de tamaño y tipo definidos que bombean agua con una velocidad y densidad especificadas. Una bomba puede funcionar con cualquier desplazamiento desde cero hasta el máximo, pero cuando se instala en un sistema en particular, la bomba solo funcionará en la intersección de la curva de solicitud versus la curva de caracterización del sistema de bombeo.

2.2.3.1.5 Potencia de una bomba.

La potencia de salida de una bomba es la energía requerida para superar cualquier pérdida de carga presente en el sistema y proporcionar suficiente presión y flujo al sistema. Se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$HP = \frac{Q * Hb * \gamma}{\eta}$$

Dónde:

HP: Potencia en bomba. (Watts)

Q: Caudal (m³/s)

Hb: Altura dinámica Total de la bomba (m)

η : Eficiencia de la bomba, teóricamente estimada en 75%

γ : Peso específico del líquido (N/m³)

2.2.3.1.6 Rendimiento de una bomba.

Según Vierendel J. (2014) A medida que el fluido fluye a través de la bomba, solo una parte de la energía se transfiere desde el eje del impulsor al fluido. Los cojinetes y las juntas tienen fricción, no todo el fluido que pasa a través de la bomba recibe la acción efectiva del impulsor, y hay pérdidas de energía significativas debido a la fricción del fluido.

Esta pérdida se compone de varias partes: pérdida por colisión en la entrada del impulsor, fricción cuando el líquido pasa a través del espacio entre las paletas y pérdida de presión cuando el líquido sale del impulsor. El rendimiento de la bomba es muy sensible a las condiciones de funcionamiento. La eficiencia (η) de la bomba se expresa como:

$$\eta = \frac{\text{potencia suministrada al fluido}}{\text{potencia de accionamiento}}$$

2.2.3.1.7 Cavitación en las bombas.

Según Netto G. (1975) Un factor clave en el funcionamiento exitoso de la bomba es evitar el fenómeno de cavitación, para un buen rendimiento y evitar daños en el impulsor. A medida que el fluido atraviesa el impulsor de la bomba, se produce un cambio de presión. La cavitación ocurre cuando la presión absoluta de un líquido cae por debajo de su presión de vapor.

La zona de evaporación dificulta el flujo produciendo limitación en la capacidad de funcionamiento de la bomba. A medida que el líquido avanza hacia zonas de mayor presión, las burbujas colapsan y su implosión puede provocar golpes en el impulsor. La cavitación suele ser más frecuente cerca de la salida (perímetro) del impulsor, donde alcanza su velocidad más alta. También puede ocurrir en la entrada del impulsor donde la presión es baja.

Las puntas de las aspas son las áreas más propensas a la cavitación de algunas bombas.

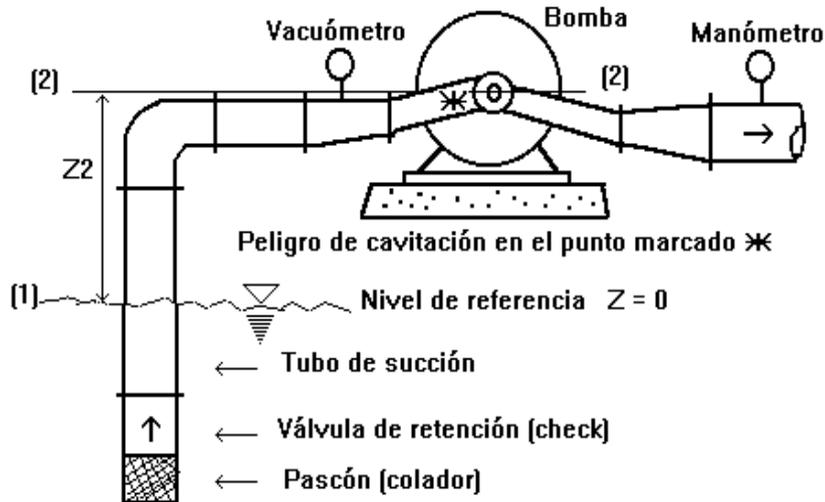


Figura 7 : Bomba tipo Horizontal de succión negativa (Bombas Novatec)

2.2.3.1.8 NPSH (Altura Neta De Succión Positiva).

Según Mott R. (2006) Este es sin duda alguna el parámetro más importante al operar la bomba. Esto afecta el fenómeno de la cavitación ya que está relacionado con la presión del fluido en la entrada de la bomba.

NPSH requerido, es un parámetro de la bomba y debe ser especificado por el fabricante. Esto se puede interpretar como la fuerza de succión producida por la bomba para permitirle manejar el caudal y el cabezal seleccionados.

El NPSH disponible es un parámetro del sistema de bombeo y se calcula. Indica cuánta succión se puede tolerar antes de que la presión llegue a Punto de sat. Por lo tanto, se requiere el valor predeterminado:

$$NPSH \text{ que requiere la bomba} < NPSH \text{ que dispone el sistema de bombeo}$$

Se calcula como:

$$NPSH \text{ que dispone el sistema de bombeo} = hsp \pm hs - hf - hvap$$

- **hsp:** cantidad de presión estática aplicada al líquido (escala absoluta), en metros de altura de columna de líquido.
- **hs:** Desnivel entre el nivel del líquido en el depósito y la entrada a la bomba. Positivo si la bomba está por debajo del depósito (recomendado), negativo si está por encima del depósito.
- **hf:** Pérdida por fricción en la línea de aspiración, expresada en metros. •
- **h_{vap}:** Presión de vapor líquido a temperatura de bombeo. Expresado en metros de altura

de columna de líquido.

- A medida que aumenta el flujo del sistema, aumenta la caída de presión en el área de entrada y el NPSH disponible disminuye gradualmente. •
- De manera similar, a medida que aumenta el caudal, aumenta el NPSH requerido para la bomba, como se muestra en el siguiente gráfico.

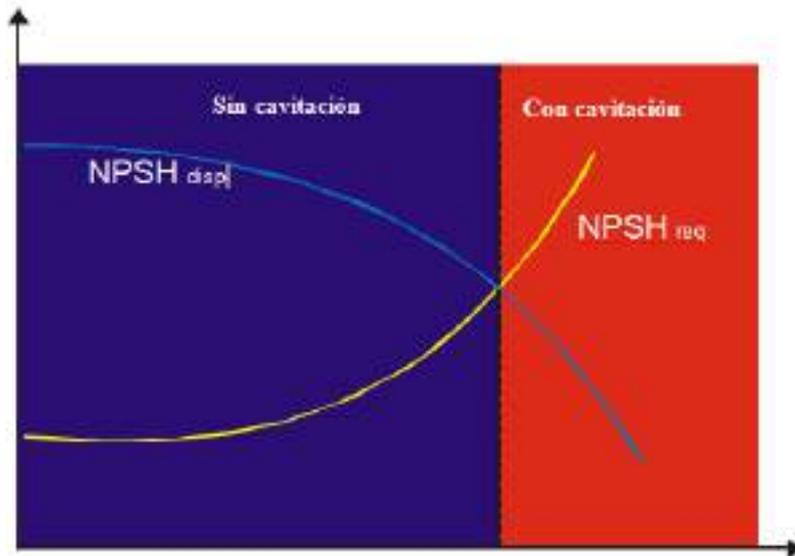


Figura 8 : Diagrama NPSH disponible vs NPSH Requerido (Bombas Novatec)

2.2.4 LÍNEA DE CONDUCCIÓN.

Según Netto G. (1975). Corresponde a una tubería de agua desde un punto de captación hasta un depósito o reservorio de almacenamiento.

No es necesario colocar válvulas rompe presiones, por tener una longitud por lo general pequeña, no tiene grande diferencia de nivel, no cruza la línea de presión hidrostática o línea de gradiente, asegurando un buen funcionamiento.

No es necesario válvulas de aire ni purga, en tramos de pequeña longitud de la tubería y no pasar presiones de servicio.

. El transporte de agua se puede realizar a través de diferentes tipos de tuberías pertenecientes a dos grupos.

- *Conductos Abiertos.*
- *Conductos Cerrados: Estos se conducen a presión.*

2.2.5 CONDUCCIÓN POR PRESIÓN.

Según Netto G. (1975) Son aquellos que tienen toda su sección transversal ocupada por las aguas y permite seguir cualquier ondulación del terreno siempre y cuando no se sobrepase la gradiente hidráulica del sistema.

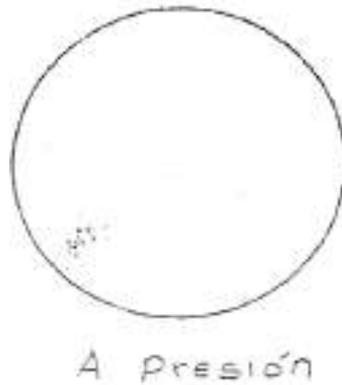


Figura 9 : Conductos a Presión (Ormachea Carrazas J.)

Para su estudio se consideran dos elementos importantes:

- *Tuberías A Presión.*
- *Túneles A Presión.*

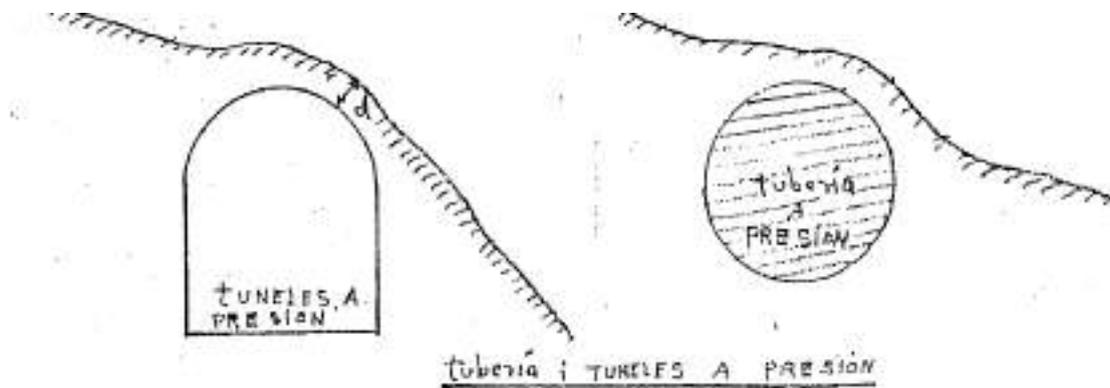


Figura 10 : Tipos de conducto a presión (Ormachea Carrazas J.)

2.2.6 SISTEMAS A CONSIDERAR EN LÍNEA DE CONDUCCIÓN.

Entre los posibles sistemas a usarse en una línea de conducción tenemos:

2.2.6.1 SIN RESERVORIO.

La línea debe proyectarse para trabajar debajo de la línea de gradiente hidráulica, con presión estática y con densidad igual ala de la hora máxima más un coeficiente de incidencia que en poblaciones pequeñas no se toma.

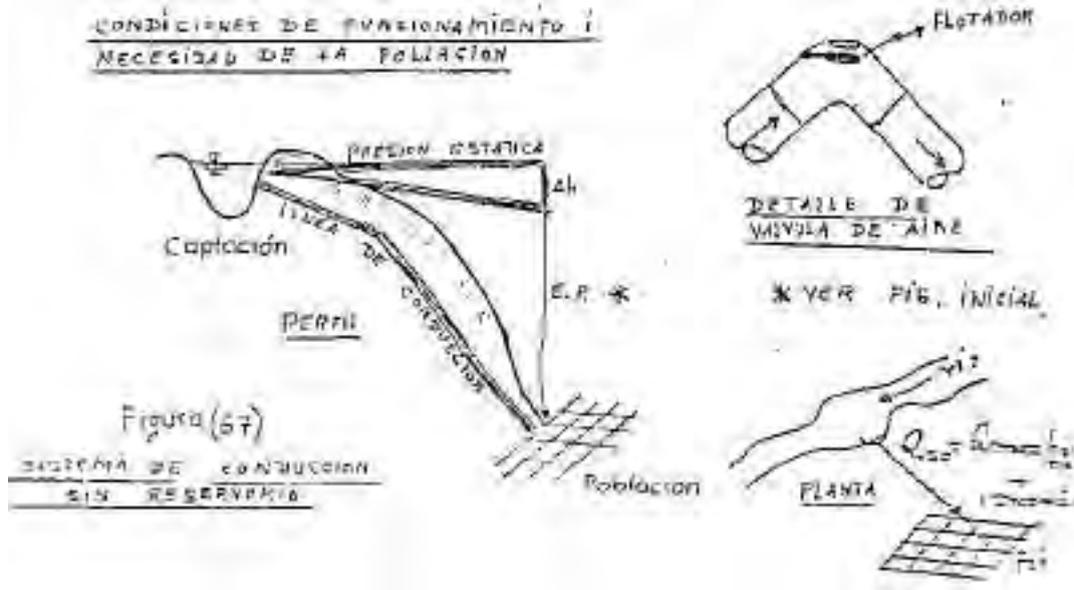


Figura 11 : Conducción sin Reservoirio (Ormachea Carrazas J.)

2.2.6.2 CON RESERVORIO.

En este caso la capacidad de la línea se calcula por el día máximo que $k=1.3$ del valor promedio (PDA)



Figura 12 : Conducción con Reservoirio (Ormachea Carrazas J.)

2.2.6.3 CON RESERVORIO Y PLANTA DE TRATAMIENTO.

Este sistema trabaja con:

- Captación
- Planta de Tratamiento
- Línea de Conducción
- Línea de Aducción
- Reservorio
- Población (Distribución)

Como la planta de tratamiento consume agua, entonces la línea de conducción tendrá una capacidad de 10% mayor que el reservorio de la población.

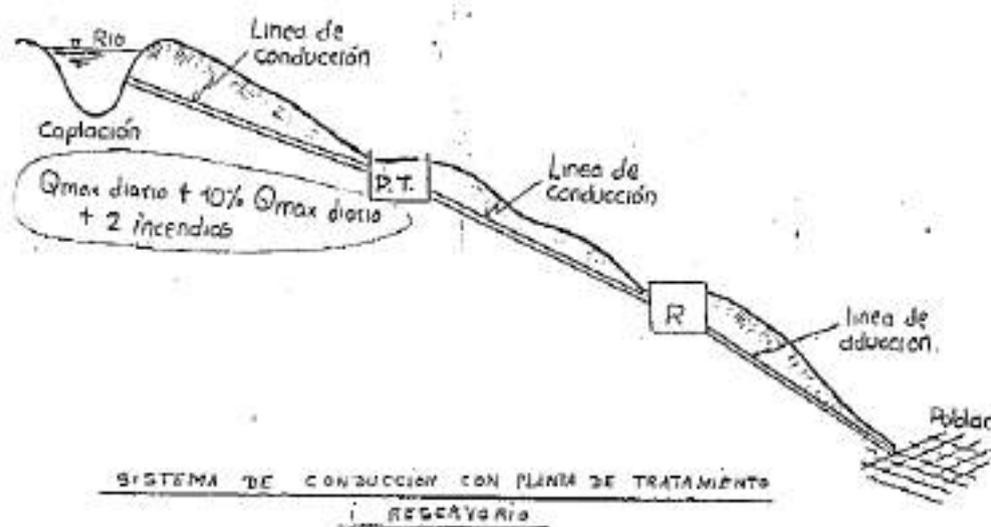


Figura 13 : Conducción con Reservorio y P.T.A.P (Ormachea Carrazas J.)

2.2.6.4 CON RESERVORIO, PLANTA DE TRATAMIENTO Y PLANTA DE BOMBEO.

Si se intercala una planta de bombeo, esta debe tener mayor capacidad, generalmente un 40% mayor ya que no tiene elasticidad.

2.2.7 FACTORES QUE DETERMINAN EL TRAZO DE TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN.

En poblaciones grandes la línea de conducción es el problema numero 1 pues tenemos que considerar los siguientes factores:

- **Topografía, longitud y presión:** (15 m.c.a a 50 m.c.a)
- **Cantidad de agua:** (Q en litros/segundo) que se necesitan para la población, ya que hay que tener en cuenta los años que ha de ser diseñado el servicio a fin de determinar su capacidad futura.

También se debe tener presente si la construcción se va hacer por etapas o de un solo golpe, esto es importante porque tenemos que determinar el interés del capital necesario.

En poblaciones pequeñas este problema no representa mayor dificultad, pues hasta escoger entre los diámetros que existe en el mercado.

- **Pendientes:** Este factor influye notablemente en el estudio de línea de conducción, de existir fuertes pendientes será necesario incrementar el diámetro de la tubería:

2.2.8 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE UN CONDUCTO A PRESIÓN.

Las tuberías están sujetas a 2 tipos de fuerzas:

- **Fuerzas interiores:** Son aquellas que debido a la presión del líquido, la presión se distribuye en toda la tubería y va a depender de la diferencia de cotas.
- **Fuerzas exteriores:** Se refiere a las cargas exteriores debido a cargas de tierra.

2.2.9 ELECCIÓN DEL TIPO DE TUBERÍA.

Una tubería se elige según cumpla o reúna las condiciones de prueba sometida en ese tramo, así como la existencia en el mercado y lo económico.

Además tendrá como requisitos lo siguiente:

- Material durable: ante la acción química, la oxidación, etc.
- Resistencia: capacitados para resistir cargas externas como internas.
- Económico: que sea al alcance de las posibilidades de los pobladores de la localidad.
- Rugosidad: es la superficie para evitar pérdidas de carga por fricción.
- Disponibilidad en el mercado.

- Facilidad de transporte: Las tuberías de mayor uso son las de Fierro Fundido y PVC ya no se utiliza mucho asbesto cemento por temas cancerígenos en el momento de su fabricación; que a continuación detallaremos sus virtudes características.

2.2.9.1 Tubería de concreto.

i) Ventajas:

- Alta resistencia a cargas externas.
- De fabricación simple
- No se requiere mano de obra especializada.
- No es atado por agentes corrosivos

ii) Desventajas:

- Mayor posibilidad de fuga comparada con el hierro fundido.
- Ofrece poca flexibilidad
- Es susceptible a rajaduras(falla tipo frágil del concreto)
- Son utilizadas en líneas de conducción que soportan generalmente presiones bajas.
- Resistencias: 10,25,50,75 psi.

2.2.9.2 Tubería de plástico (PVC).

Existen 2 tipos de este material:

- Termoplástico
- Termoestable

El primero se utiliza con más frecuencia, como característica principal que tiene, es el de ablandarse o endurecerse por efectos de temperatura .su utilización es casi normal en líneas de conducción y como en redes de distribución.

El segundo se utiliza en instalaciones domiciliarias.

i) Ventajas:

- Superficie interior lisa; entonces con un coeficiente de rugosidad alto.
- De poco peso: entonces su transporte es ventajoso y de fácil manipulación.
- Es inmune ante la corrosión electrolítica y la corrosión por reacciones químicas.
- Recomendable su uso en terrenos deslizables por su flexibilidad.
- Los empalmes no son difíciles.

ii) Desventajas:

- Se dilata bastante ante temperaturas altas de ahí la colocación de juntas
- Baja resistencia mecánica
- No existe resultados serios de este tipo de tuberías.

2.2.9.3 Tubería de Hierro Fundido.

i) Ventajas:

- Alta resistencia a la corrosión
- Gran capacidad de carga externa e interna
- Durabilidad

ii) Desventajas:

- Gran peso
- Transporte costoso y pesado
- Manipuleo difícil
- Poca resistencia a la tracción
- Aumenta la rugosidad; debido al ataque de sustancias químicas que contiene el agua.

iii) Características:

- Estos tubos son fabricados hasta 30” de diámetro, longitudes de 12 a 16 pies hasta 18 a 20 pies.
- Resistencia: 85, 130, 150, 200 psi.
- Vida útil: aproximado de 50 años.
- Uniones: tipo espiga o campana.



Figura 14 : Tubería Hierro Dúctil recubierto PONT-A- MOUSSON (Catalogo Fumosac)

2.2.9.3.1 Tipos de tubería hierro dúctil (ISO 2531).

- **TUBERÍA TIPO "T"**

El diseño tipo T incorpora una sola arandela de goma que garantiza un sellado hermético y duradero. El tipo de conexión "push-in" es fácil de montar y rápida instalación.

La presión de diseño, elimina la incorporación de sujetadores. La junta de goma se ajusta a los contornos de la campana.



Figura 15 : Tubería Hierro Dúctil Tipo T (Norma ISO 2531, 2015)

- **TUBERÍA TIPO "K"**

La junta mecánica es una junta roscada con glándula de hierro dúctil y una junta mecánica articulada. Las conexiones mecánicas se recomiendan para aplicaciones de agua que requieren muchas conexiones. Todas las partes mecánicas de la junta son reemplazables. El extremo con espiga del tubo de conexión mecánica tiene el mismo diámetro exterior que el accesorio a presión. Esto permite la instalación de campo en tales juntas al biselar el borde exterior. Todos los accesorios (sujetadores) son suministrados con cada junta.



Figura 16 : Tubería Hierro Dúctil Tipo K (Norma ISO 2531, 2015)

Las tuberías Pont a Mousson trabajan con las siguientes presiones máximas admisibles según el servicio en altura que brinda cada tubería.

TABLA N° 2 : PRESIONES MÁXIMAS ADMISIBLES CATALOGO PONT-A-MOUSSON

TUBOS CON ENCHUFE					
PRESIONES MAXIMAS ADMINISBLES (SIN SOBREPRESIONES **)					
DN (mm)	STANDARD TRIDUCT (***)			EXPRESS	STANDARD ACERROJADA TRIDUCT ACERROJADA PAMLOCK ACERROJADA
	K7	K8	K9	K9	K9 (***)
	bar	bar	bar	bar	bar
60	-	-	64	64	-
80	-	-	64	64	64
100	-	-	64	64	64
125	-	-	64	64	64
150	-	-	55	55	55
200	-	-	44	44	44
250	-	-	39	39	39
300	-	-	37	37	37
350	-	-	35	25	30
400	-	-	34	25	30
450	-	-	33	25	30
500	-	-	32	25	30
600	-	24	31	25	27
700	-	24	29	25	25
800	19	24	28	25	22(*)
900	19	24	27	25	22(*)
1000	19	23	27	25	22(*)
1100	19	23	27	25	
1200	19	23	27	25	22(*)
1400	19	23	25		22(*)
1500	19	23	25		20(*)
1600	19	23	25		18(*)
1800	19	23	25		Consultar a Proveedor

Fuente: Especificaciones Técnicas Tubería Pont A Mousson – Manual de Operación y Mantenimiento Sistema de Abastecimiento Vilcanota E.P.S Seda Cusco

2.2.10 CALCULO HIDRÁULICO.

2.2.10.1 DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN.

La norma OS.010 del R.N.E., recomienda el uso de la formulas analíticas y racionales para conducciones a presión, sin embargo para conducciones por bombeo, la

OS.010 recomienda el uso de la formula empírica de HAZEN WILLIAMS (OS.010 INCISO 5.2).

2.2.10.2 FORMULAS ANALÍTICAS.

En la decisión de problemas con corrientes de flujos en conductos cerrados se dispone de varias fórmulas empíricas. Entre las cuales podemos mencionar:

• Ecuación de Darcy Weisbach.

Es la formula básica para el estudio de las pérdidas de presión en las tuberías y conductos cerrados, teniendo como referencia los experimentos, que la perdida de presión resultante de la fricción en tuberías y conductos es diligencia del diámetro y longitud expresada en metros, la perdida de carga se expresa matemáticamente como:

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

Dónde:

H_f = pérdida de presión por fricción del fluido en la tubería [m]

f = coeficiente de fricción (función de la rugosidad de la pared de la tubería)

L = longitud de la tubería [m]

D = diámetro de la tubería [m]

G = gravedad.

Se conoce que el número de Reynolds (adimensional) está dado por el cociente de las fuerzas inerciales y viscosas.

$$N_R = \frac{v * D}{\vartheta}$$

Dónde:

NR= Numero de Reynolds [adimensional]

V = Velocidad [m/ s]

ϑ = Viscosidad Cinematica del Fluido [m² / s]

Hoy en día, también hay una ecuación desarrollada basada en la ecuación de Colebrook-White, desarrollada gracias a las estimaciones de Swamee y Jain, llamada ecuación explícita de Swamee-Jain. Se informa que esta ecuación predice un coeficiente de fricción de menos de 3 diferencias del gráfico de Moody para $4000 < N_R < 100000000$ y rugosidades relativas $10^{-5} < \varepsilon/D < 2 \times 10^{-2}$. Las ecuaciones:

$$f = \frac{0.25}{[\log_{10}(\frac{\varepsilon}{3.7 * D} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}})]^2}$$

Dónde:

F = Factor de Fricción [adimensional]

D = Diametro interior de la tubería [m]

ε = Rugosidad de la Tubería [mm]

N_R = Numero de Reynolds [adimensional]

2.2.10.3 FORMULAS EMPÍRICAS.

- **Ecuación de Hazen Williams.**

Otra fórmula empírica para determinar la pérdida de carga o presión fue desarrollada en 1905 por los investigadores Allan Hazen y Garner S. Williams. Se puede aplicar al agua a 15 °C, pero también se usa para agua a otras temperaturas ya que la viscosidad y la densidad no cambian mucho.

Es una fórmula que puede ser aplicada para cualquier tipo de conducto y material. Sus límites de aplicación son los más amplios: diámetros de 50 a 3500 mm

La ecuación de Hazen-Williams se puede aplicar a problemas de flujo en tuberías. la ecuación es:

$$Q = 0.2785 * C * D^{2.63} * S^{0.54} \text{ y/o}$$

$$V = 0.355 * C * D^{0.63} * S^{0.54}$$

Fórmulas de Hazen Williams en función del diámetro interior de tubería.

Dónde:

V = Velocidad [m/seg]

R = Radio hidráulico [m] (Relación del área de la sección recta a la circunferencia mojada: $D/4$)

S = Gradiente de carga de línea de cabeza piezoeléctrica [m /m]

C= coeficiente de rugosidad “C” relativa de la Tubería de Hazen-Williams [adimensional]

2.2.10.4 RUGOSIDAD EN TUBERÍAS.

Es representado por medio de un parámetro adimensional “C” que indica variaciones, o discontinuidades en las paredes de la tubería, está en función del tipo de material construido y el tiempo de uso.

A continuación podemos apreciar valores típicos del valor “C” según el Reglamento Nacional de Edificaciones y el tiempo de servicio de las tuberías.

TABLA N° 3 : COEFICIENTE “C” PARA LA ECUACIÓN DE HAZEN WILLIANS.

Tipo de Tubería	Coficiente “C” Hazen Willians
Acero sin Costura	120
Acero Soldado en espiral	100
Cobre sin Costura	150
Concreto	110
Fibra de Vidrio	150
Hierro Fundido	100
Hierro Fundido con Revestimiento	140
Hierro Galvanizado	100
Polietileno, Asbesto cemento	140
Poli Cloruro de Vinilo (PVC)	150

Fuente: Norma OS 010 Captación y conducción de agua para consumo humano R.N.E

TABLA N° 4 : COEFICIENTE “C” PARA TUBERÍAS USADAS POR EL TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO.

CUADRO 8.3 - VALOR DE COEFICIENTE "C" SUGERIDO PARA LA FORMULA DE HAZEN WILLIAMS

MATERIAL DE TUBERIA	NUEVO	USADOS ± 10 AÑOS	USADOS ± 20 AÑOS
Acero Corrugado	60	0	0
Acero Galvanizado Roscado	125	100	0
Acero Revitalizado, Nuevo	110	90	80
Acero Soldado (Revestimiento Bituminoso)	125	110	90
Acero Soldado Con Revestimiento Epoxico	140	130	115
Plomo	130	120	120
Fibrocemento	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto Pulido	130	0	0
Concreto Con Acabado Comun	130	120	110
Fierro Fundido , Revestimiento Epoxico	140	130	120
Fierro Fundido, Revestimiento De Argamasa De Cemento	130	120	105
Ceramica Esmaltado	110	110	110
Laton	130	130	130
Madera	120	120	110
Conducto De Ladrillo Bien Ejecutado	100	95	90
Vidrio	140	140	140
Plastico PVC	140	135	130

Fuente: Manual de Hidráulica J.M Azevedo- Sexta Edición (1975)

2.2.11 CALIDAD DE AGUAS.

Las fuentes de agua potencialmente disponibles son aguas superficiales (ríos, arroyos, lagos naturales y artificiales, mares), aguas subterráneas y agua de lluvia.

CEPIS (1992) La calidad del agua cruda depende de su fuente y de las condiciones ambientales en las que se presenta, y está influenciada por fenómenos tanto naturales como antrópicos que son resultado del desarrollo poblacional.

CEPIS (1992) También se observa que las aguas superficiales tienen diferentes características entre los tipos de extracción de agua y muchas veces son afectadas por fenómenos naturales y antrópicos.

Las condiciones del agua subterránea son más uniformes. Estar expuesto a la atmósfera significa que las aguas pluviales ocasionalmente pueden estar contaminadas por las emisiones al aire de las actividades industriales

Por consiguiente, se entiende que la calidad del agua es muy variable y necesita caracterizarse en el tiempo para definir los parámetros que son estudiados, así como el nivel de tratamiento según el uso previsto.

La siguiente tabla muestra ejemplos de caracterización de agua utilizados en E.P.S. Para el sistema de abastecimiento de Vilcanota.

TABLA N° 5 : RESUMEN CONSOLIDADO - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA LA CAPTACIÓN SISTEMA VILCANOTA – POZO I

CONSOLIDADO DE RESULTADOS DE ANALISIS - AÑO 2020 - CAPTACION VILCANOTA POZO I																	
PARAMETRO	UNID.	AÑO 2020												Valor Min.	Valor Max.	Valor Prom.	ECA*
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic				
Alcalinidad Total	mg/l	197.5	206.2	194.5	188.6	185.7	190.4	188.2	187.4	192.77	181.7	198.5	176.9	181.7	206.2	191.9	250
Dureza Total	mg/l	452.00	468.50	435.60	439.50	462.00	476.40	447.50	425.40	484.34	491.80	476.90	483.90	425.40	491.80	460.00	500
Calcio	mg/l	152.5	168.3	145.7	160.0	153.1	156.9	159.3	142.8	179.44	164.1	182.8	163.4	142.8	182.8	160.4	250
Magnesio	mg/l	17.2	11.6	17.3	9.6	19.3	20.5	12.0	16.6	8.68	19.8	4.8	18.3	4.8	20.5	14.3	-
Cloruros	mg/l	133.6	141.6	127.8	144.8	1228	126.2	132.3	102.0	219.67	229.0	228.1	2158	102.0	2290	155.3	250
Turbiedad	NTU	0.3	0.4	0.3	0.2	0.5	0.1	0.6	0.3	0.4	0.0	0.6	0.3	0.0	0.6	0.3	5
Color	U.CV.	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	10	0.0	1.0	0.3	15
Total de Sólidos Disueltos	mg/i	855.0	855.0	837.0	826.0	833.0	834.0	853.0	787.0	1,033.0	1054.0	1039.0	1041.0	787.0	1054.0	891.5	1000
Conductividad	uS/cm	1183.0	1187.0	1162.0	1147.0	1156.0	1159.0	1185.0	1093.0	1,433.0	1464.0	1443.0	1446.0	1093.0	1464.0	1237.5	1500
Salinidad	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.6	-
Temperatura	°C	17.0	16.7	19.7	13.1	12.9	11.2	15.6	12.5	11.8	15.8	15.9	14.6	11.2	19.7	14.7	Δ3
Nitratos	mg/L	2.5	2.5	2.5	2.6	25	2.6	2.5	2.3	2.41	2.6	2.6	2.0	2.3	2.6	2.5	50
Sulfato»	mg/L	196.3	233.0	201.9	193.7	217.2	216.7	209.3	203.4	216.67	228.9	238.1	166.6	193.7	238.1	214.1	250
pH	und	7.5	7.6	7.7	7.8	7.4	7.7	7.6	7.6	7.95	8.0	7.7	7.3	7.4	8.0	7.7	6.5-8.5

Fuente: Gerencia de Operaciones - Resultados de análisis de aguas de sistema de abastecimiento Vilcanota E.P.S Seda Cusco -2020

TABLA N° 6 : RESUMEN CONSOLIDADO - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA LA CAPTACIÓN SISTEMA VILCANOTA – POZO II

CONSOLIDADO DE RESULTADOS DE ANALISIS-AÑO 2020 - CAPTACION VILCANOTA POZO II																	
PARAMETRO	UNID.	AÑO 2020												Valor Min.	Valor Max.	Valor Prom.	ECA*
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic				
Alcalinidad Total	mg/l	207.4	180.5	183.5	182.6	184.7	187.4	185.2	185.4	196.7	189.6	202.5	183.7	180.5	207.4	189.6	**250
Dureza Total	mg/l	455.9	480.4	469.2	455.4	451.1	471.5	480.8	460.1	466.5	467.9	457.0	452.1	451.1	480.8	465.1	500
Calcio	mg/l	161.9	159.6	158.0	172.6	150.3	154.5	168.6	154.7	173.9	154.5	168.5	149.1	150.3	173.9	161.6	** 250
Magnesio	mg/l	12.4	19.8	18.0	5 8	18.3	20.7	14.4	17.8	7.7	19.8	8.7	19.3	5.8	20.7	14.9	—
Cloruros	mg/l	227.7	193.8	199.9	178.5	110.4	111.3	186.0	186.2	177.1	171.5	166.6	1343	110.4	227.7	173.5	250
Turbiedad	NTU	0.4	0.4	0.8	0.3	0.2	0.1	0.9	0.3	0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.9	0.4	5
Color	U.CV.	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.5	15
Total de Sólidos Disueltos	mg/i	1035.0	942.0	992.0	943.0	802.0	805.0	955.0	966.0	954.0	942.0	935.0	867.0	802.0	1035.0	933.7	1000
Conductividad	uS/cm	1450.0	1306.0	1377.0	1310.0	1115.0	1117.0	1326.5	1338.0	1324.0	1308.0	1298.0	1205.0	1115.0	1450.0	1297.2	1500
Salinidad	-	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	-
Temperatura	°C	16.5	17.2	15.6	13.1	13.3	11.9	15.4	12.6	11.0	15.0	162	145	11.0	17.2	14.3	Δ3
Nitratos	mg/L	2.2	2.3	2.2	2.2	2.4	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.5	23	2.2	2.5	2.4	50
Sulfato»	mg/L	186.0	219.7	199.8	208.5	210.0	190.1	205.2	197.8	203.4	243.2	244.2	154.4	186.0	244.2	209.8	250
pH	und	7.5	7.6	7.6	7.8	7.4	7.7	7.6	7.5	7.9	8.0	7.7	73	74	8.0	7.7	6.5 - 8.5

Fuente: Gerencia de Operaciones - Resultados de análisis de aguas de sistema de abastecimiento Vilcanota E.P.S Seda Cusco -2020

TABLA N° 7 : RESUMEN CONSOLIDADO - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA LA CAPTACIÓN SISTEMA VILCANOTA – POZO III

CONSOLIDADO DE RESULTADOS DE ANALISIS-AÑO 2020 - CAPTACION VILCANOTA POZO III																	
PARAMETRO	UNID.	AÑO 2020												Valor Min.	Valor Max.	Valor Prom.	ECA*
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic				
Alcalinidad Total	mg/l	197.5	206.2	194.5	188.6	185.7	190.4	188.2	187.4	192.8	191.6	202.5	184.7	185.7	206.2	193.2	•• 250
Dureza Total	mg/l	452.0	468.5	435.6	439.5	462.0	476.4	447.5	425.4	438.7	440.0	421.2	438.2	421.2	476.4	446.1	500
Calcio	mg/l	1525	168.3	145.7	160.0	153.1	156.9	159.3	142.8	158.8	143.4	159.0	143.6	142.8	168.3	154.5	•• 250
Magnesio	mg/l	17.2	11.6	17.3	9.6	19.3	20.5	12.0	16.6	10.1	19.8	5.8	19.3	53	20.5	14.5	-
Cloruros	mg/l	133.6	141.6	127.8	144.8	122.8	126.2	132.3	102.0	102.9	105.6	104.1	107.4	102.0	144.8	122.2	250
Turbiedad	NTU	0.3	0.4	0.3	0.2	0.5	0.1	0.6	0.3	0.3	0.0	0.4	0.4	0.0	0.6	03	5
Color	U.CV.	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.3	15
Total de Sólidos Disueltos	mg/i	855.0	855.0	837.0	826.0	833.0	834.0	853D	787.0	796.0	799.0	802.0	806.0	787.0	855.0	8252	1000
Conductividad	uS/cm	1183.0	1187.0	1162.0	1147.0	1155.0	1159.0	1185.0	1093.0	1104.0	1110.0	1113.0	1120.0	1093	1187.0	1145.4	1500
Salinidad	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	—
Temperatura	°C	17D	16.7	19.7	13.1	12.9	11.2	15.6	12.5	12.8	15.7	15.7	14.7	11.2	19.7	14.8	Δ3
Nitratos	mg/L	2.5	2.5	2.5	2.6	2.5	2.6	2.5	2.3	2.3	23	2.3	2.2	23	2.6	2.4	50
Sulfato»	mg/L	196.3	233.0	201.9	193.7	217.2	216.7	209.3	203.4	207.5	178.9	214.6	223.3	178.9	233.0	206.6	250
pH	und	7.5	7.6	7.7	7.8	7.4	7.7	7.6	7.6	7.9	81	7.7	73	7.4	8.1	7.7	6.5-8.5

Fuente: Gerencia de Operaciones - Resultados de analisis de aguas de sistema de abastecimiento Vilcanota E.P.S Seda Cusco -2020

TABLA N° 8 : RESUMEN CONSOLIDADO - RESULTADOS DE ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA LA CAPTACIÓN SISTEMA VILCANOTA – POZO IV

CONSOLIDADO DE RESULTADOS DE ANALISIS-AÑO 2020 - CAPTACION VILCANOTA POZO IV																	
PARAMETRO	UNID.	AÑO 2020												Valor Min.	Valor Max.	Valor Prom.	ECA*
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic				
Alcalinidad Total	mg/l	187.6	190.4	194.5	178.7	186.7	1943	187.7	190.4	186.9	191.6	198.5	186.7	178.7	198 S	189.7	**250
Dureza Total	mg/l	410.7	438.7	409.8	392.0	444.2	445.7	444.6	423.4	430.8	433.0	447.1	4363	392.0	447 1	429.1	500
Calcio	mg/l	150.1	146.9	141.8	142.6	146.7	165.6	155.1	130.9	154.8	144.9	1653	144.4	130.9	165.6	1493	•• 250
Magnesio	mg/l	8.6	17.4	13.5	8.7	18.8	7.7	13.8	23.4	10.6	17.2	8.2	183	7.7	23.4	13.4	—
Cloruros	mg/l	123.7	114.0	98.0	164.6	97.5	1113	100.9	101.0	101.9	103.6	99.2	106.4	975	164.6	1105	250
Turbiedad	NTU	03	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	1.0	0.2	0.2	0.0	03	0.5	0.0	1.0	03	5
Color	U.CV.	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	15
Total de Sólidos Disueltos	mg/i	786.0	788.0	779.0	766.0	771.0	771.0	781.5	788.0	787.0	795.0	803.0	807.0	766.0	803,0	783.2	1000
Conductividad	uS/cm	1092.0	1090.0	1082.0	1064 0	1071.0	10710	1085.5	1095.0	10930	1103.0	1114.0	1121.0	1064.0	1114.0	10873	1500
Salinidad	-	0.5	05	0.5	05	0.5	0.5	05	0.5	05	0.5	05	0.5	0.5	0.5	0.5	-
Temperatura	°C	17.2	17.1	19.2	13.2	14.1	12.0	15.0	12.1	13.9	15.9	15.6	143	12.0	19.2	15.0	Δ3
Nitratos	mg/L	2.3	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.3	2.2	23	2.2	23	2.3	2.1	23	2.2	50
Sulfato»	mg/L	202.9	232.5	223.8	216.7	204.4	216.7	213.4	189.1	209.5	191.1	2085	171.2	1891	232S	209.9	250
pH	und	75	7.6	7.6	7.7	7.5	7.7	7.7	7.5	8.0	8.1	7.9	73	7.5	8.1	7.7	6.5 - 8.5

Fuente: Gerencia de Operaciones - Resultados de analisis de aguas de sistema de abastecimiento Vilcanota E.P.S Seda Cusco -2020

Es necesario Caracterizar las aguas pues si su utilización es para abastecimiento de agua para una población la línea de conducción puede sufrir por incrustaciones, pues todas las aguas son corrosivas en cierto grado, la tendencia corrosiva del agua dependerá de sus características químicas y físicas incrementando la rugosidad de la tubería.

2.2.11.1 RELACIÓN CALIDAD DE AGUAS VS COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (ÍNDICE DE LANGELIER).

Segun Colebrook While (1937), Lamont, P.A (1954) , mencionan que la rugosidad aumenta linealmente con el tiempo, por causa de la corrosión, si la tubería es metálica sin un revestimiento interno adecuado, revestimiento desgastado, o también por los crecimientos orgánicos o fangos, y los depósitos calcáreos provocados por las acciones físicas, químicas y bacteriológicas de ciertos tipos de aguas.

Según ese criterio, entonces la rugosidad K (LAMONT) al cabo de T años, puede expresarse como:

$$X = \frac{(Ks_0 + \alpha t)}{D}$$

Dónde:

K_0 = Rugosidad inicial

D = Diámetro de la tubería en mm

α = coeficiente de proporcionalidad

Donde el Coeficiente de Rugosidad de Hazen Williams depende de X en:

COLEBROOK-WHITE

$$C = 18,0 - 37,2 \log X$$

SWAMEE- JAIN

$$C = 33,3 |\log (0,27 X)|^{1,08}$$

Y el factor " α " de proporcionalidad en:

TABLA N° 9 : VALOR DE PROPORCIONALIDAD SEGÚN LA CALIDAD DEL AGUA

GRUPO	CARACTERISTICAS DEL AGUA	Valores de α (mm/año)		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
1	Aguas poco mineralizadas, no agresivas, poco contenido de minerales y de materia organica	0.005	0.025	0.055
2	Aguas poco mineralizadas pero corrosivas (pH reducido) de contenido de hierro y materia organica inferior a 3 mg/l	0.055	0.070	0.180
3	Agua muy corrosiva (pH muy bajo), con contenido de cloruros y sulfatos menores de 150 mg/l y hierro superior a 3mg/l	0.180	0.200	0.400
4	Aguas corrosivas (Ph reducido) con contenido de cloruros y sulfatos entre 500 y 700 mg/l y considerable materia organica	0.400	0.510	0.600
5	Aguas muy mineralizadas, de gran dureza, pH superior a 7, residuo solido superior a 2000 mg/l	0.600	0.700	1.000

Fuente: Tuberías a presión en sistemas de abastecimiento de agua – “Manuel Vicente Mendez” - 1994

El índice de LANGELIER indica el carácter incrustante o agresivo del agua y tiene que ver con los diversos equilibrios en el agua del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total.

Si el índice es 0: el agua está perfectamente equilibrada.

Si el índice es negativo: indica que el agua es corrosiva.

Si el índice es positivo: indica que el agua es incrustante.

TABLA N° 10 : VALORES TF, HF, AF, PARA CALCULO DE ÍNDICE DE LANGELIER.

Temperatura		Dureza		Alcalinidad	
C	TF	ppm	HF	ppm	AF
0	0,0	5	0,7	5	0,7
4	0,1	25	1,4	25	1,4
8	0,2	50	1,7	50	1,7
12	0,3	75	1,9	75	1,9
16	0,4	100	2,0	100	2,0
20	0,5	150	2,2	150	2,2
24	0,6	200	2,3	200	2,3
28	0,7	250	2,4	250	2,4
32	0,7	300	2,5	300	2,5
36	0,8	400	2,6	400	2,6
40	0,9	500	2,7	500	2,7
50	1,0	1000	3,0	1000	3,0

Fuente: LENNTECH - Caracterización de las aguas

2.2.12 ARIETE HIDRÁULICO.

Según Caceres Neira A. (2000) Define este fenómeno hidráulico el cual es producida por la detención brusca de un flujo, depende de la velocidad y calidad de la tubería.

El ruso Jaubousky ha dado la fórmula:

$$v_p = 1,440 \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{K}{E} * \frac{D}{e}}}$$

v_p = velocidad de las ondas de presión en m/seg.

K = módulo de elasticidad del líquido.

E = módulo de elasticidad de la tubería.

D = diámetro de la tubería.

e = espesor de la tubería.

El exceso de presión en kg/cm^2 será:

$$p = 14.7 v \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{K}{E} \times \frac{D}{e}}}$$

Donde: v = velocidad de la corriente.

NOTA.- Esta última fórmula se aplica si el tiempo de cierre de la válvula es: $t < \frac{2L}{v_p}$

si es mayor, el autor dice que se puede calcular de la relación:

$$\frac{p}{p_{\text{máx}}} = \frac{\frac{2L}{v_p}}{t_{\text{cierre}}}$$

- El italiano Allievi ha diseñado una fórmula para tiempos mayores:

$$p = w \left(\frac{N \cdot H}{2} + H \sqrt{\frac{N^2}{4} + N} \right)$$

donde: H = carga estática

w = peso específico

t = tiempo de cierre de la válvula: $N = \left(\frac{L \cdot v}{g \cdot H \cdot t} \right)^2$

v = velocidad de la corriente.

2.2.12.1 GOLPE DE ARIETE .

Según J.M de Azevedo y Acosta A (1975). Definen Golpe de ariete al choque violento que se produce sobre las paredes de un conducto forzado, cuando el movimiento del líquido es modificado bruscamente.

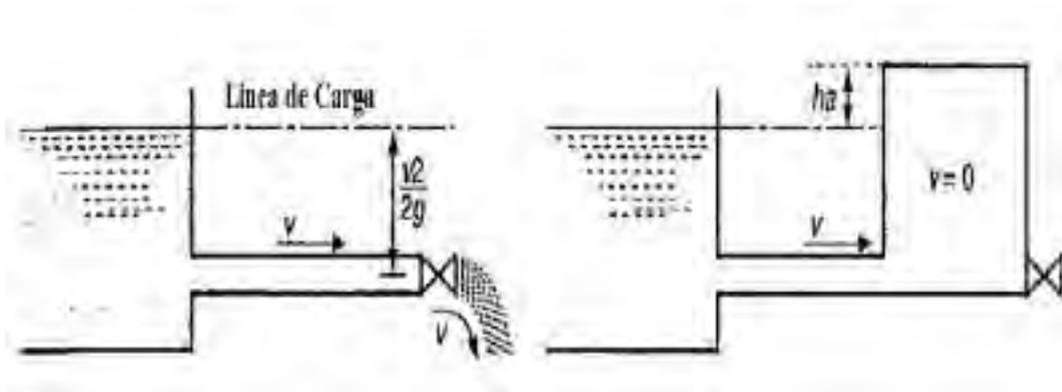


Figura 17 : Modificación Brusca de Velocidad de un Fluido (Azevedo N., 1975)

Cuando se cierra una válvula de control , la energía cinética utilizada para mover el agua se convierte en trabajo, lo que determina la presión de la pared de la tubería por encima de la carga inicial.

$$mV = ft,$$

Cuando $t = 0$, se produce un cierre instantáneo y la sobrepresión es infinita dado que el agua es incompresible y la tubería es inelástica.

En la práctica, el cierre siempre requiere un tiempo muy breve y la energía absorbida se convierte en tensión de compresión en el agua y deformación de la pared de la tubería.

a) Mecanismo del Fenómeno.

La tubería que se muestra grafico 18, transporta agua a una velocidad específica. Considerando varias partes a lo largo del líquido, obtenemos:

1. Cuando la válvula R se cierra, la placa se comprime y su energía de velocidad (velocidad V) se convierte en energía de presión, produciéndose expansión del tubo y esfuerzos de corte (deformación elástica).

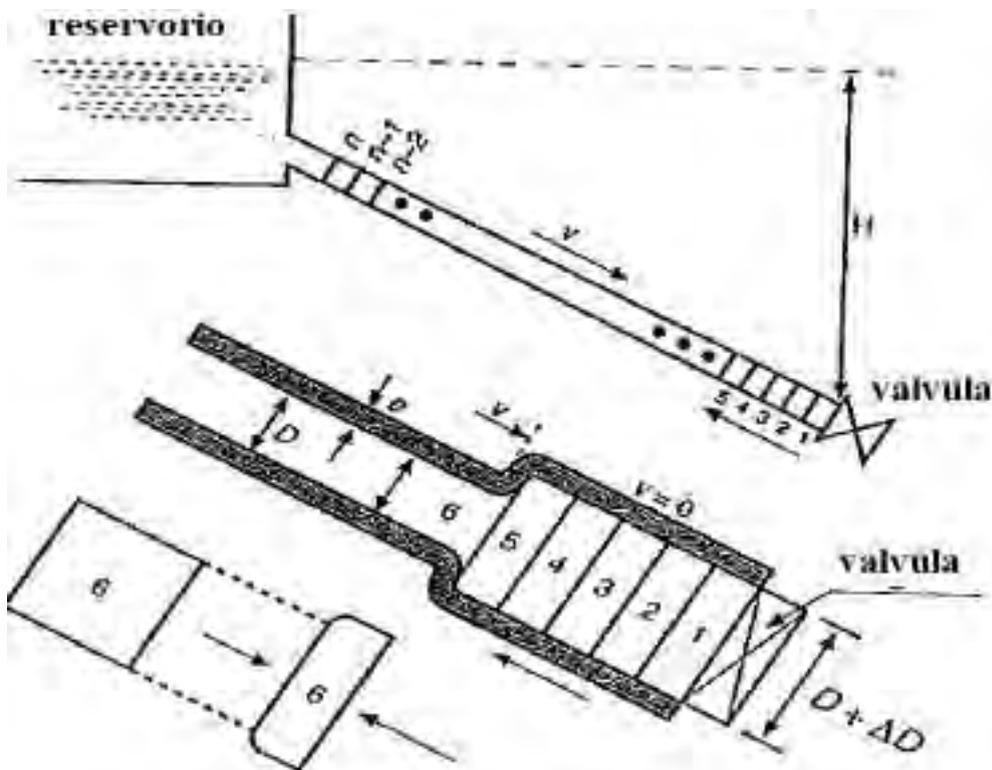


Figura 18 : Mecanismo del fenómeno por cierre de válvula (Azevedo N., 1975)

- La lamina de flujo n tiende a salir rápidamente del tubo hacia el depósito con una velocidad “V” debido a la fuerza interna y la elasticidad del tubo, lo que ocurre secuencialmente para las láminas consecutivas

La Lamina 1, permaneció presurizada por un período de tiempo

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

Donde T es la fase o período del tubo y C es la velocidad de propagación de la onda, comúnmente llamada Celeridad de Onda.

Existe, entonces, esa tendencia del agua a salir de la tubería, por la extremidad superior. Como la extremidad inferior del tubo está cerrada, habrá una depresión interna. En estas condiciones -V es convertida en una onda de depresión.

- Debido a la presión negativa en el tubo, el agua vuelve a ocupar el tubo y ahora trata de empujar la hoja impactada hacia la válvula con una velocidad V.

Las consideraciones anteriores ignoran la fricción a lo largo del tubo, que en realidad contribuye a la atenuación de los impactos sucesivos.

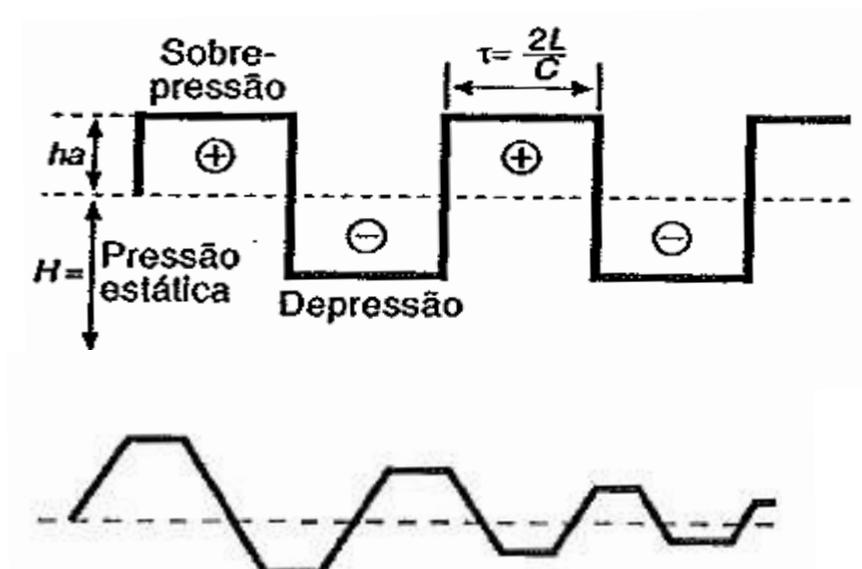


Figura 19 : Sobrepresiones y subpresiones producidas en una tubería (Azevedo N., 1975)

b) Celeridad.

La velocidad de propagación de la onda se puede calcular a partir de la conocida ecuación de Allievi utilizando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{9\,900}{\sqrt{48.3 + k \frac{D}{e}}}$$

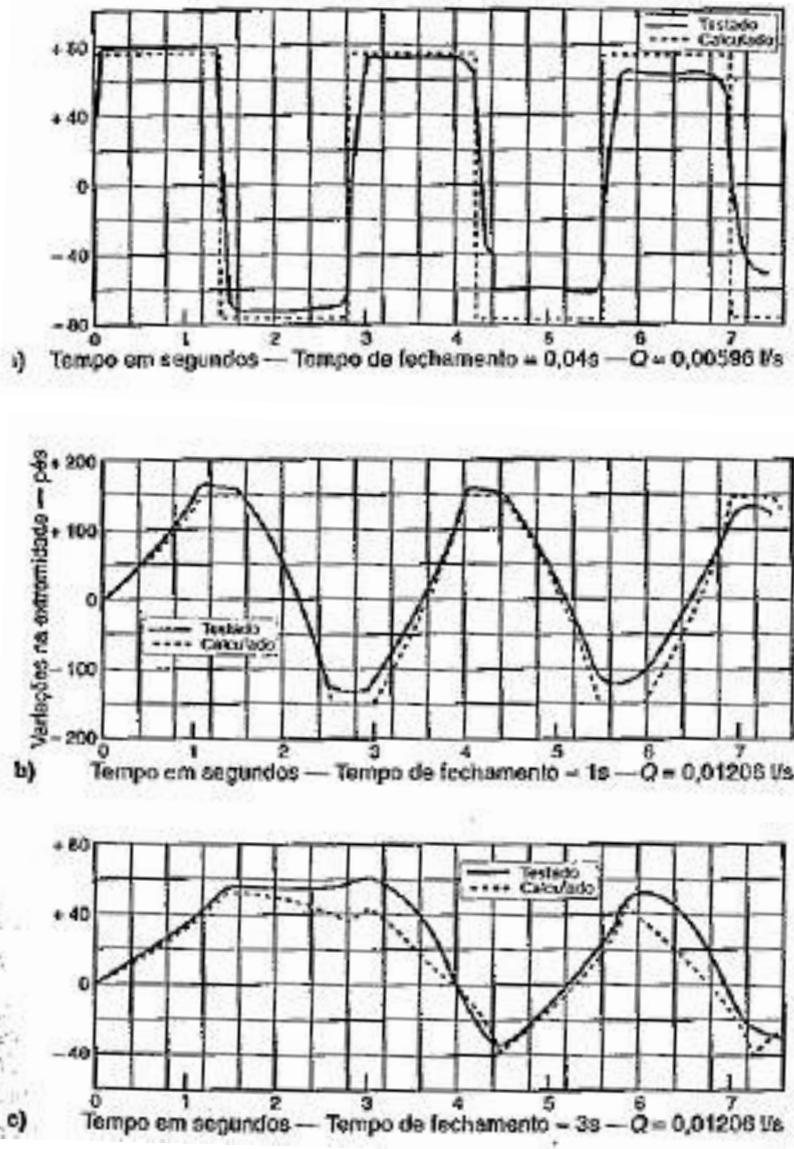


Figura 20 : Sobrepressões e subpressões produzidas em uma tuberia (Azevedo N., 1975)

OBSERVACIÓN: Verificaciones experimentales del golpe de ariete realizadas en la instalación de Big Creek, sur de California, Edison C. Condiciones: H=92m(301,6 pies), L=933m(3 060 pies), D= 52 mm (2,06"), t=1,40 segundos(Applied Fluid Mechanics, M.P. O'Brien y G.H. Hickox)

Donde:

C = celeridad de la onda, m/s;

D = diámetro de los tubos, m;

e = espesor de los tubos, m;

k = coeficiente que tiene en cuenta los modulos de elasticidad.

$$k = \frac{10^{10}}{E}$$

para tubos de acero, $k = 0,5$;

para tubos de fierro fundido, $k = 1,0$;

para tubos de concreto, $k = 5,0$;

para tubos de asbesto-cemento, $k = 4,4$;

para tubos plásticos, $k = 18,0$.

En el caso de tubos de concreto armado, tomándose $k = 0,5$, se considera un espesor representativo para los tubos, obtenido por la expresión:

$$e = e_m \left(1 + \frac{1}{m} \frac{e_b}{e_m} \right)$$

En la que:

e = espesor representativo;

e_m = espesor medio distribuido de los hierros;

e_b = espesor de los tubos;

m = coeficiente practico (valor aproximado =10).

Para tuberías indeformables $E = \infty$, resultando $C = 1 425 \text{ m/s}$, que es la celeridad en el agua.

La celeridad, generalmente del orden de 1 000 m/s, algunas veces llega a ser un tercio de este valor.

TABLA N° 10 : VALORES DE LA CELERIDAD. $c = \frac{9900}{\sqrt{48.3+k_e^D}}$

Tabela 12.1 – Valores da celeridade. C da eq. (1)			
D/e	ACERO k = 0,5	FIERRO FUNDIDO k = 1	Concreto k = 5
500	574,2	425,7	247,5
400	623,7	465,3	277,2
300	702,9	524,7	316,8
250	752,4	574,2	346,8
200	811,8	623,7	386,1
180	841,5	653,4	405,9
160	871,2	683,1	425,7
140	910,8	722,7	455,4
120	950,4	762,3	485,1
100	999,9	811,8	524,7
80	1 049,4	871,2	584,1
60	1 118,7	950,4	653,4
50	1 158,3	999,9	702,9
40	1 197,9	1 049,4	762,3
30	1 247,4	1 118,7	841,5
20	1 296,9	1 197,9	950,4
10	1 356,3	1 296,9	1 118,7

Fuente: Manual de Hidráulica - Golpe de Ariete " J M de Azevedo y Guillermo Acosta A." 1975

c) Periodo de Fase en tuberías, tipos y tiempo de maniobra de cierre de Valvulas

Es el tiempo que tarda la onda de sobrepresión en viajar de un extremo de la tubería al otro y viceversa.

$$T = \frac{2L}{C} = \text{fase o periodo de la tubería,}$$

Siendo L = longitud de la tubería;

C = velocidad de propagación de la onda (celeridad).

Cuando la onda viene, cuando regresa, cambia de dirección, haciendo el mismo viaje de ida y vuelta en el mismo tiempo T, pero de signo contrario, tomando la forma de una onda de subpresión.

El tiempo de cerrado de una válvula es un factor importante. Si el cierre es muy rápido, la válvula se cerrará completamente antes de que pueda actuar la onda de presión. Por otro lado, si la válvula se cierra lentamente, hay tiempo para que la onda de presión surta efecto antes de que se complete la obturación.

Por lo tanto se clasifican las maniobras de cierre como:

τ = tiempo de maniobra.

$$\text{Si } \tau < \frac{2L}{c}$$

Maniobra rápida

$$\text{Si } \tau > \frac{2L}{c}$$

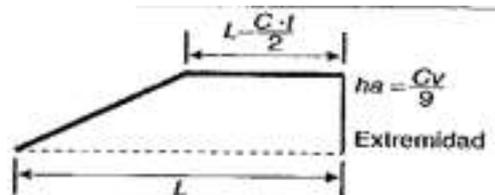
Maniobra lenta

La sobrepresión máxima ocurre cuando la maniobra es rápida, esto es, cuando $\tau < \frac{2L}{c}$ (todavía no actuó la onda de depresión).

d) Cierre rápido. cálculo de la sobrepresión máxima

La sobrepresión máxima al final de la línea se puede calcular con la fórmula:

$$h_a = \frac{CV}{g}$$



Siendo V la velocidad promedio del agua y h_a el incremento de presión en $m H_2O$.

e) Cierre lento . formula de Michaud, Vensano

Para operación lenta con $\tau > \frac{2L}{c}$, se puede utilizar la ecuación de Michaud, que evalúa la relación de velocidad a T/t (válida para operaciones con cambios de velocidad lineales).

$$h_a = \frac{CV}{g} \cdot \frac{\varphi}{t}$$

V = velocidad promedio del agua m/s;

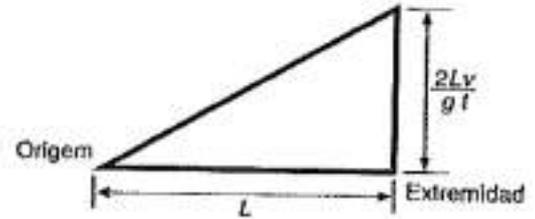
h_a = sobrepresión o aumento de presión , $m H_2O$;

C = celeridad, m/s;

T = periodo $\left(= \frac{2L}{c}\right)$, s;

t = tiempo de maniobra, s.

Pudiéndose escribir



$$h_a = \frac{cV}{g} \frac{2L}{t}$$

$$h_a = \frac{2LV}{gt}$$

La sobrepresión se distribuye sobre la tubería como se muestra.

La ecuación de Michaud también se puede utilizar para determinar el tiempo de cierre a utilizar para que la sobrepresión no supere un cierto límite establecido.

La ecuación de Michaud conduce a valores superiores a los verificados experimentalmente. Sin embargo, todavía se practica hoy porque es más seguro.

2.2.13 TRANSITORIO HIDRÁULICO.

El movimiento oscilatorio de la onda de presión que se propaga a lo largo de toda la línea crea una presión negativa y una presión positiva en períodos de tiempo muy cortos.

La causa de este movimiento oscilatorio es cualquier acción que modifique el flujo (del régimen permanente al régimen no permanente). Ejemplos:

- ✓ Cerrar válvula
- ✓ Abrir válvula
- ✓ Detener bomba (o turbina)
- ✓ Arrancar bomba (o turbina)
- ✓ Aumento de la demanda
- ✓ Disminución de la demanda
- ✓ Manipulación que resulta en un cambio rápido (abrupto) en la velocidad del flujo

$$\Delta h = \left(\frac{c}{g}\right) * \Delta V \rightarrow \text{Ecuación de Joukowsky / Allievi}$$

Donde:

$\Delta h =$ Incremento de la presión (mca)

$C =$ Celeridad de onda

$\Delta V =$ cambio de Velocidad ($\frac{m}{s}$)

$g =$ fuerza de la gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

$C =$ La velocidad de propagación (velocidad) de la onda de presión en una tubería en particular se determina de acuerdo con:

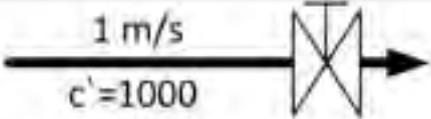
- Material de tubería (flexible). Para tuberías de metal, C está cerca de 1000
- Relación de diámetro a espesor
- Posibles limitaciones en la tubería
- Aire disuelto

TABLA N° 11 : VALORES DE CELERIDAD EN MATERIALES DIFERENTE DE TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

• Tubería de acero	900- 1200 m/s
• Tubería de HA	800- 900 m/s
• Tubería de PVC	220- 400 m/s
• Tubería de Fundición	800- 1000 m/s
• Tubería de PE	150- 250 m/s
• Tubos 100% rígidos	1480 m/s

1 m/s

$c'=1000$



$\Delta V= 1 \text{ m/s}$

$\Delta h= 100 \text{ m}$

- Tubería de acero $c'=1000\text{m/s}$, inicial $V=1\text{m/s}$,
- $\Delta h= \Delta V * a' / g = 1 * 1000 / 9.8 \sim 100 \text{ m}$

Figura 21 : Valores de Celeridad en Materiales diferentes de tubería de conducción de agua potable (Gandarilla I., 2017)

El tiempo crítico (intervalo de tiempo donde se produce cambio de velocidad del fluido) es muy importante.

El efecto de la variación de velocidad respecto de la presión depende de las siguientes relaciones:

- Longitud de tubería
- Tiempo de cambio.

Ecuación del tiempo crítico: $T_{cr} = 2 \times L / a'$

Si, el tiempo de variación es menor que el tiempo crítico del sistema, se considera "instantáneo", provocará el mayor cambio de presión.

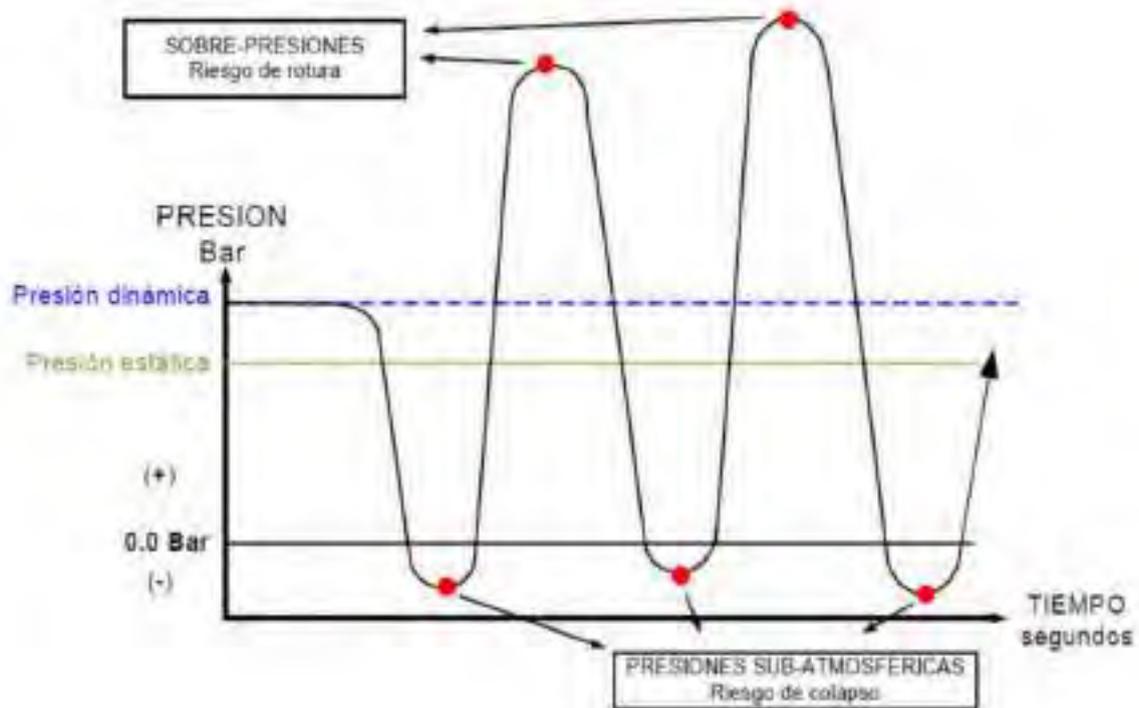


Figura 22 : Transitorio Hidráulico Producido en una línea de Conducción (Gandarilla I., 2017)

Las principales causas del golpe de ariete en los sistemas de distribución de agua son:

- Apertura y cierre de válvulas
- Cambio repentino en la demanda (aumento o disminución).
- Bomba en parada/arranque.

- Puesta en servicio de pozos profundos.
- Cierre dinámico de la válvula de aire.

2.2.13.1 COLAPSOS DE TUBERÍAS POR EFECTOS DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS.

El colapso se puede definir como una fuerza mecánica que deforma una tubería bajo la acción de una presión externa o interna.

Los colapsos de la tubería producido por efecto de transitorios hidráulicos se pueden clasificar por efecto de sobrepresión producida en la tubería o por efecto de subpresiones o presiones negativas

❖ Colapso por sobrepresiones (presiones positivas).



Figura 23 : Colapso de Tuberías producido por Sobrepresiones (Gandarilla I., 2017)

❖ **Colapso por sobrepresiones (presiones negativas).**

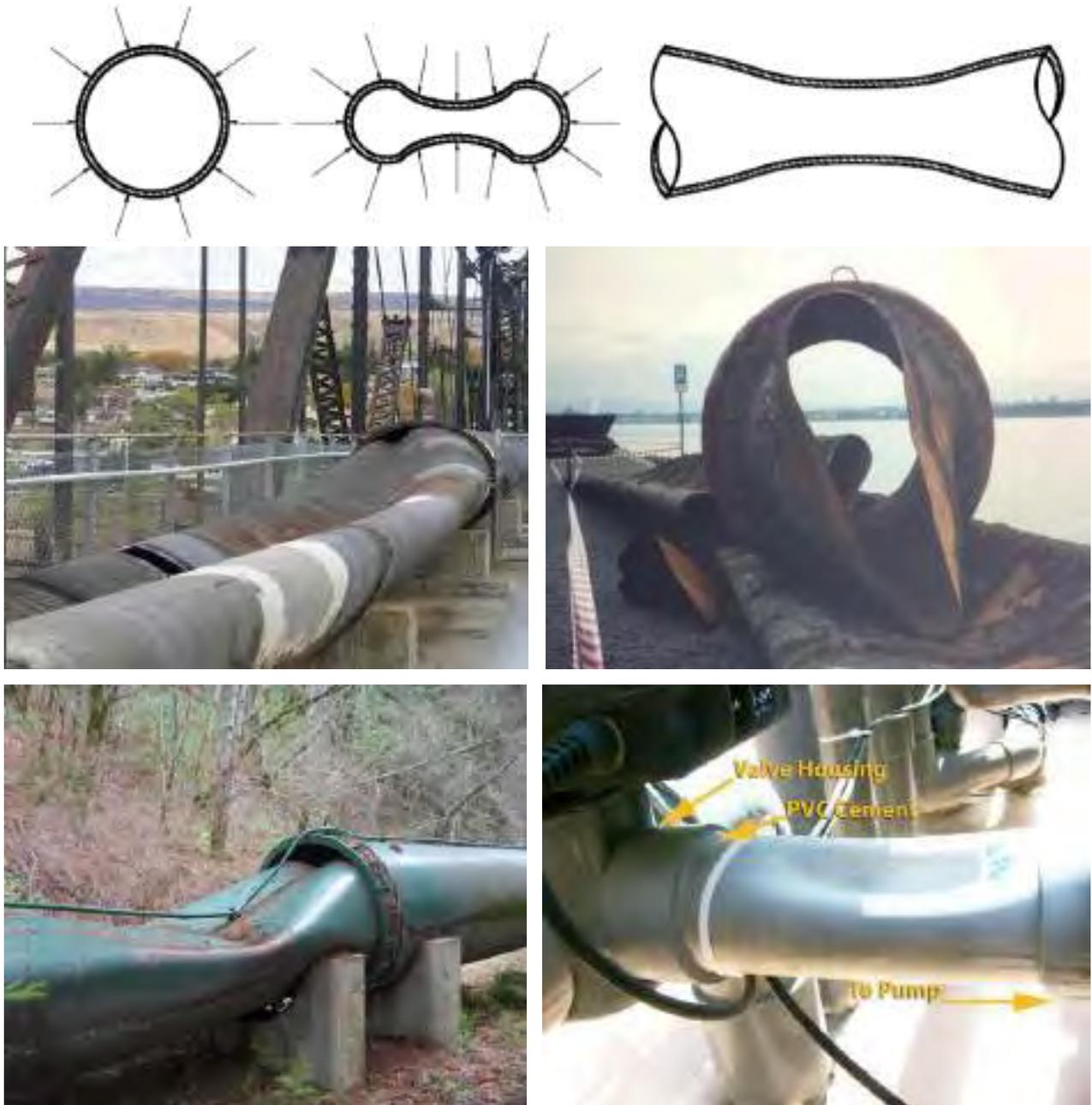


Figura 24 : Colapso de Tuberías producido por Sub presiones (Gandarilla I., 2017)

2.2.13.2 MEDIDAS DE CONTROL Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN ANTI ARIETE

A) Válvulas de rápido alivio

Son dispositivos que permiten la distribución automática y casi instantánea de la cantidad de agua necesaria para que la sobrepresión máxima en la tubería no supere los límites preestablecidos. Se instalan en estaciones de bombeo y derivados (TE) de redes hidráulicas.

Los fabricantes de válvulas suelen proporcionar características operativas para estas , lo que facilita la selección en función de las características de conducción .

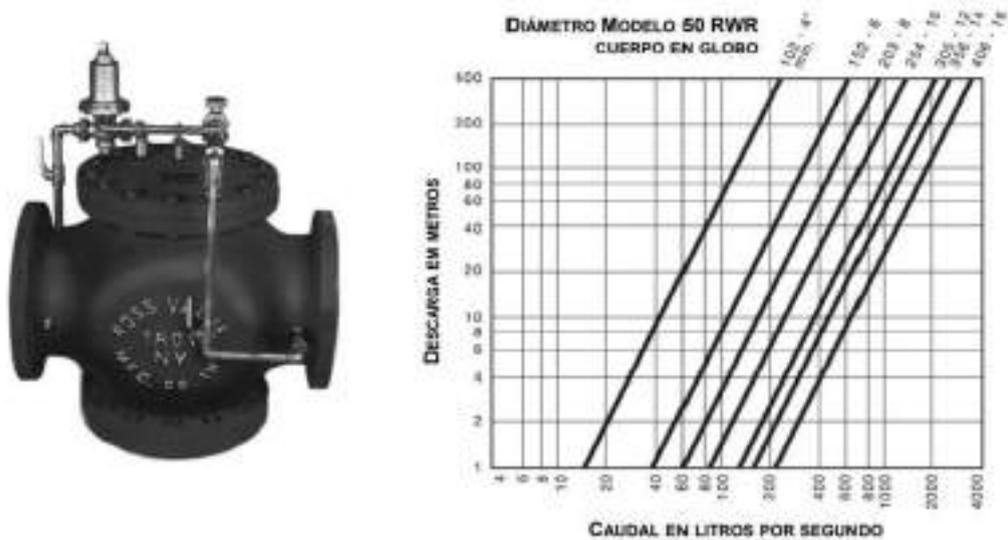


Figura 25 : Válvulas de alivio rápido – VAR (Rec. de <https://www.lagua.es> , 2022)

Dependiendo de si la válvula de alivio está ventilada a la atmósfera o no, el método de conexión a la bomba puede ser:

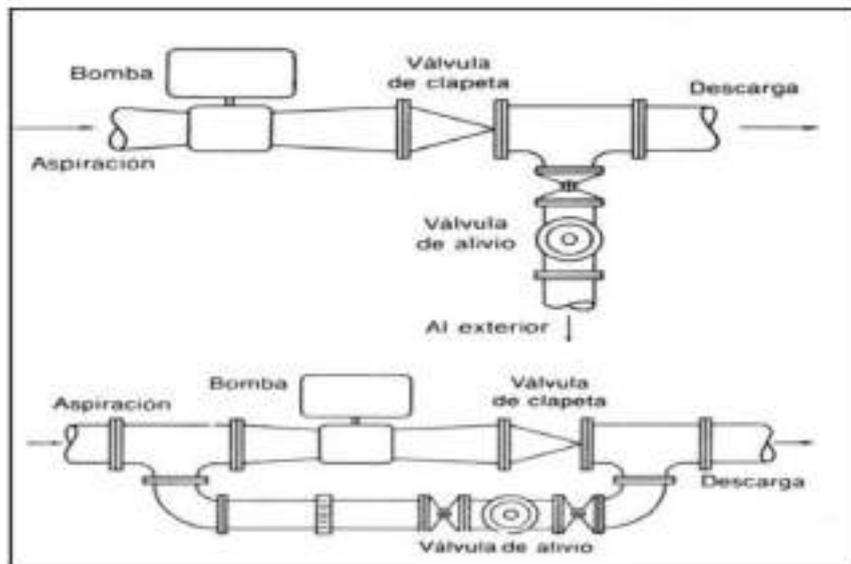


Figura 26 : Esquema general de instalación de válvula de alivio rápido (Rec. de <https://www.lagua.es> , 2022)



Figura 27 : Vista General de una estación de bombeo con valvula de alivio ross de cuerpo en ángulo de la tubería de impulsión(Rec. de <https://www.lagua.es> , 2022)

B) Válvula de apertura anticipada o anticipadora de onda.

Estas válvulas están diseñadas para abrirse cuando la bomba se detiene, cuando se crea el vacío inicial, por lo que cuando regresa la onda de sobrepresión, las válvulas están completamente abiertas, con la finalidad de minimizarlas, causados por el transitorio.

Están integrados en la bomba solamente. En catálogos y libros se la puede encontrar bajo el nombre de "válvula de anticipación de onda", pero este es un término algo confuso y no describe realmente su función, por lo que es mejor llamarla válvula de apertura temprana. .

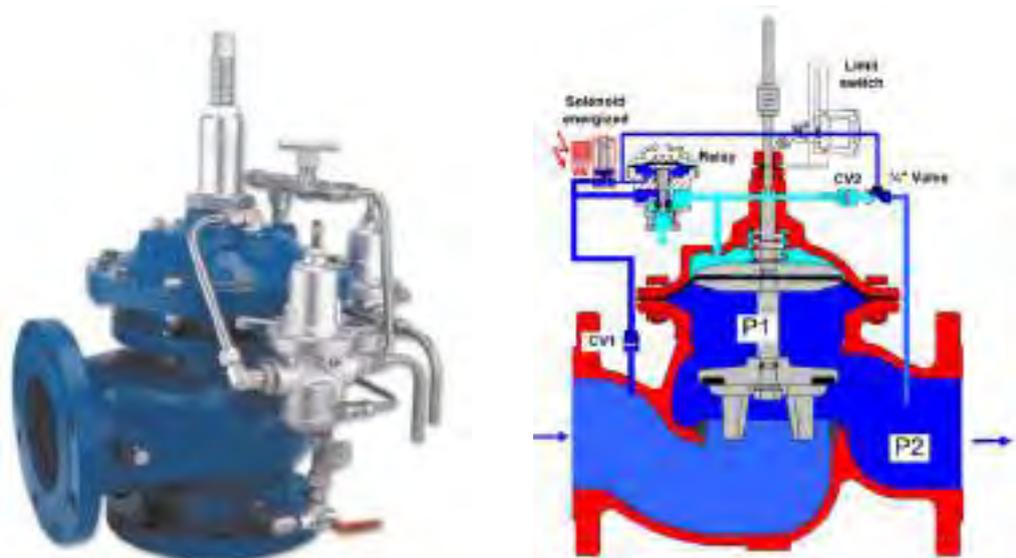


Figura 28 : Válvula anticipadora de onda (Rec. de <https://www.bermad.com/es/>, 2022)

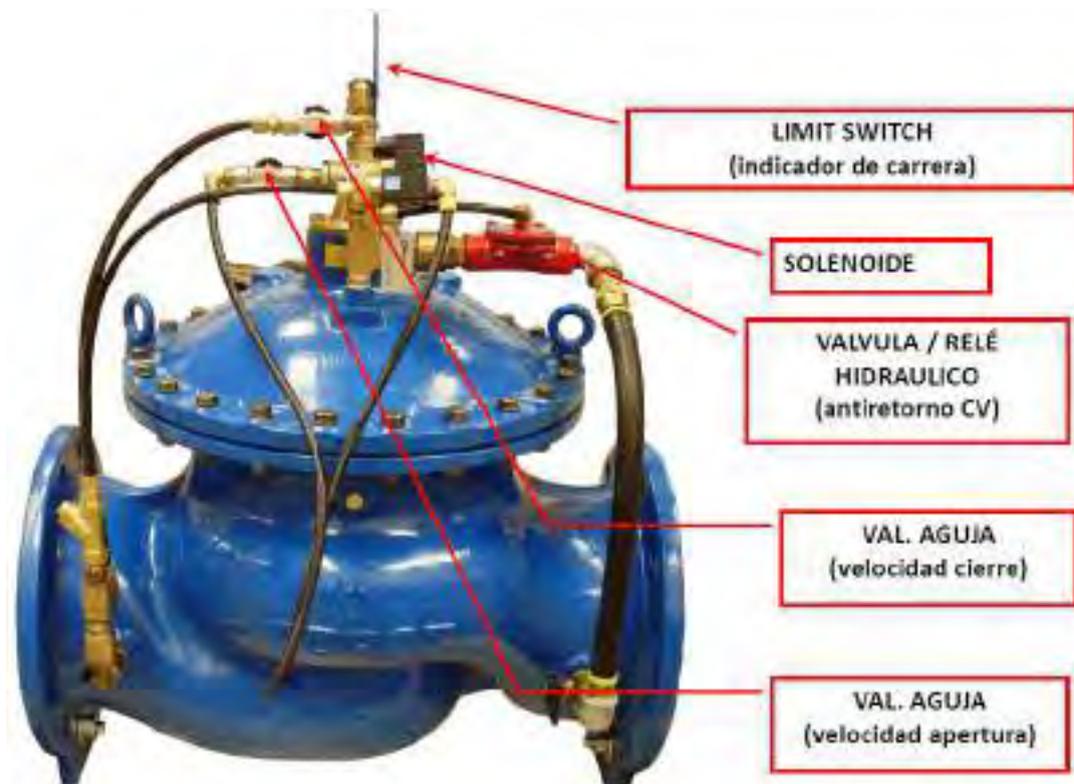


Figura 29 : Partes constitutivas de Válvula de apertura anticipada (Gandarilla I., 2017)

A medida que actúan, las válvulas se cierran lentamente, impidiendo la aparición de nuevas ondas de presión. Las válvulas de apertura rápida están equipadas con dos válvulas piloto, una para alta presión y otra para baja presión. Las operaciones son:

❖ **Mecanismo de Accionamiento.**

1. Permanezca cerrada antes de que arranque la bomba.
2. Abrir simultáneamente con la bomba a un ritmo controlado para evitar el choque de arranque.
3. Se mantiene completamente abierto con una pérdida mínima de presión mientras la bomba está funcionando.
4. Cierre lentamente, antes de que la bomba se detenga, reduciendo gradualmente el flujo.
5. Detenga el motor de la bomba para completar el cierre.
6. Permanece cerrado como una válvula de retención después de que la bomba se detiene
7. En caso de un corte de energía, se cierra instantáneamente para evitar el reflujos y el reflujos de la bomba.

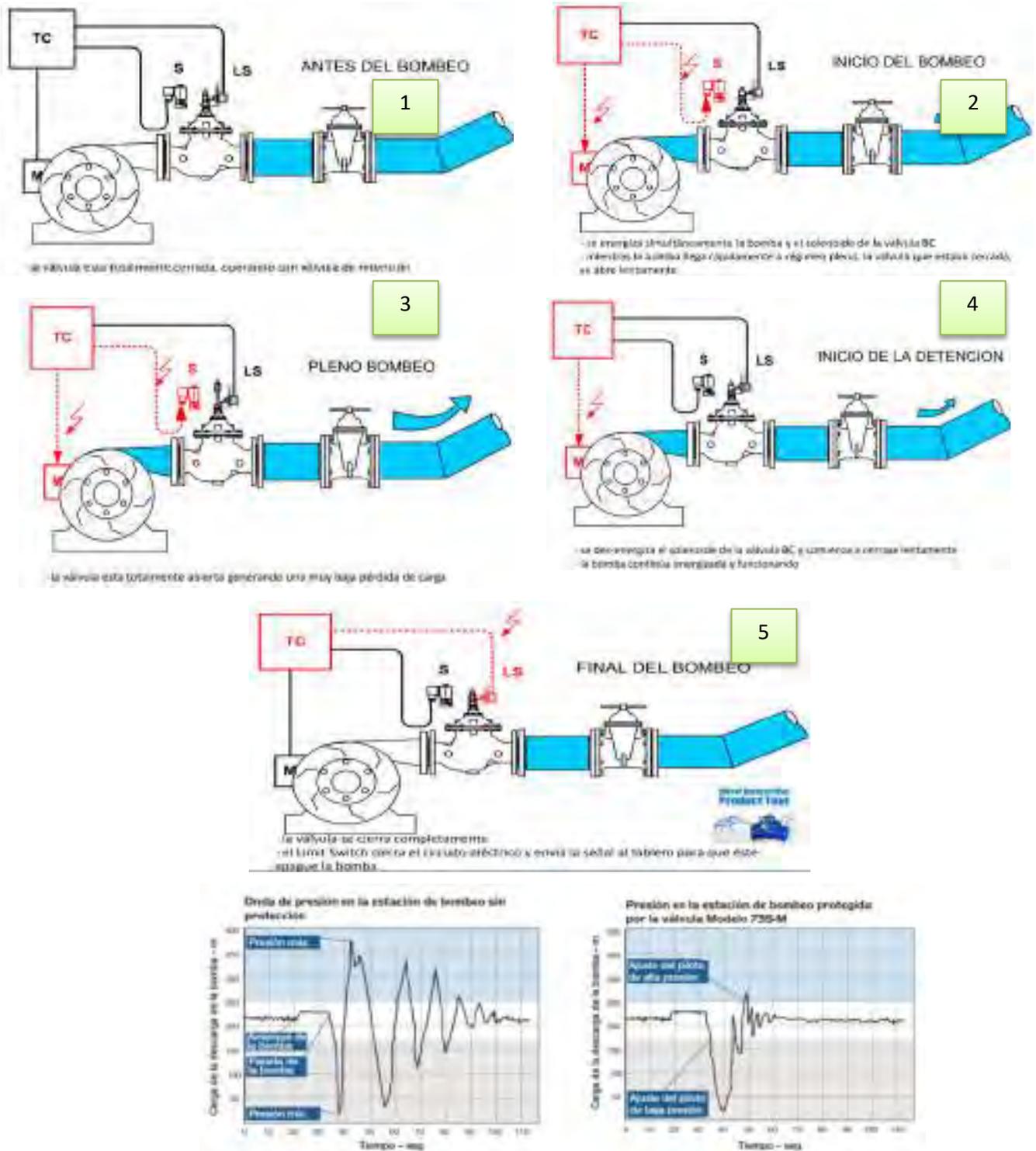


Figura 30 : Rango de operación de válvula anticipador de onda (Gandarilla I., 2017)

C) Ventosas o válvulas de aire.

Según su uso y mecanismo de funcionamiento, pueden eliminar el aire que se acumula dentro del tubo cuando se llena de agua, tomar aire cuando la presión dentro del

tubo cae por debajo de la presión atmosférica o presurizar el agua. También puede eliminar el aire circulante en suspensión.

❖ Se pueden clasificar según la función que cumplen en la línea de conducción y/o impulsión:

- a) Válvulas Simple Efecto.(expulsa aire)
- b) Válvulas Doble Efecto. (toma y expulsa aire)
- c) Válvulas Triple Efecto(Admisión, Expulsión De Aire Y Cierre Hermético)
- d) Válvula de 4 Efectos.(Admisión, Expulsión De Aire, Cierre Hermético Y Protección Contra Golpe De Ariete)



Figura 31 : Válvulas Trifuncionales Ari – Regaber (Gandarilla I., 2017)

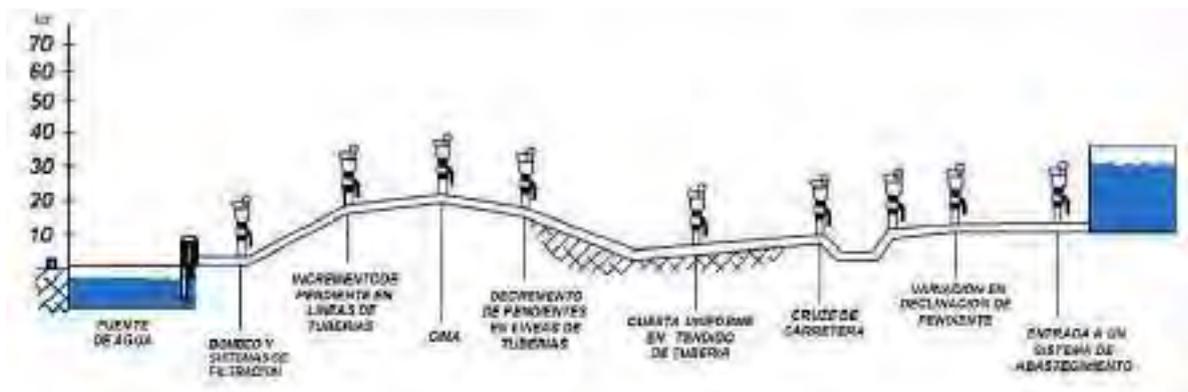


Figura 32 : Ubicación de válvulas de aire en línea de Conducción (Rec. de <https://www.vcpsa.com/>, 2022)

❖ Válvula de aire de simple efecto

Esta dimensionado con la finalidad de eliminar eficientemente el aire atrapado en tuberías, filtros, tanques y cualquier otro lugar que pueda causar problemas de operación.



Figura 33 : Válvula de aire de simple efecto con unión tipo brida (Rec. de <https://mylnegofersac.com/producto/valvula-de-aire-simple-efecto/>, 2022)

❖ Válvula de aire tipo cinética doble efecto

Las válvulas de aire de doble acción de tipo dinámico están diseñadas para la entrada y salida de grandes volúmenes de aire atrapadas en líneas de líquido que contienen sólidos en suspensión. Su especial diseño garantiza estanqueidad y seguridad incluso en sistemas de baja presión.



Figura 34 : Válvula de aire de doble efecto – unión bridada (Rec. de <https://www.vcpsa.com/>, 2022)

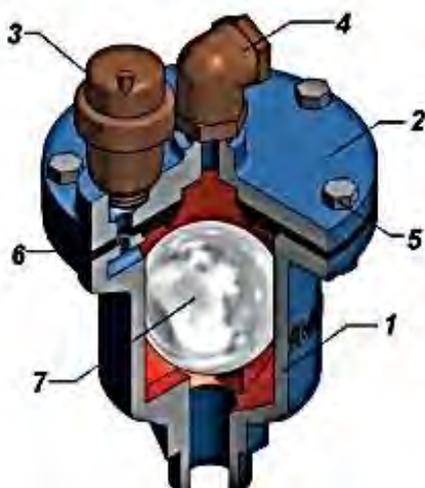
❖ **Válvula de aire triple función**

La válvula de aire de triple acción está diseñada para la entrada y salida de bolsas de aire grandes y burbujas de aire atrapadas en las líneas de fluido. Su especial diseño garantiza estanqueidad y seguridad incluso en sistemas de baja presión.

El aire ingresa al sistema con una caída de presión por debajo de la presión atmosférica. Los componentes automáticos liberan el aire atrapado en el sistema a presión



LISTADO DE PARTES



ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	CUERPO	HIERRO NODULAR ASTM A536
2	TAPA	HIERRO NODULAR ASTM A536
3	PILOTO	ALEACIÓN DE BRONCE
4	CODO	ALEACIÓN DE BRONCE
5	PERNO, TUERCA Y ARANDELA	ACERO GALVANIZADO G5
6	SELLO	ELASTÓMERO
7	BOYA	POLIETILENO O ACERO INOX. 316
8	CANASTILLA	PLÁSTICO PENSADO

RECUBRIMIENTO	PINTURA EPOXICA CON ESPESOR DE 150 MICRAS (MINIMO)
---------------	--

Figura 35 : Válvula de aire de triple efecto – unión bridada (Rec. de <https://www.vcpsa.com/>, 2022)

❖ **Válvula de aire antishock o contra golpe de ariete – o de 4 efectos.**

La **Válvula de Aire Antishock o Contra golpe de Ariete** proporciona 4 funciones:

1. Restricción de ventilación durante el llenado de tuberías.
2. Ventilación pequeña bajo línea de presión.
3. Gran toma de aire para vaciado de tuberías.
4. Previene el golpe de ariete.

○ **Aplicaciones típicas.**

- ✓ Estaciones de bombeo y bombas para pozos profundos: venteo, protección contra golpes de ariete, protección contra vacío.
- ✓ Tuberías de agua: protección contra la acumulación de aire y la formación de vacío en zonas elevadas, intersecciones de vías fluviales y viales.
- ✓ Sistemas de conducción de agua: protección contra la formación de presiones negativas, ondas de presión y golpes de ariete en puntos de la columna de agua con riesgo de rotura.



Figura 36 : Válvula de aire anti golpe de ariete – unión bridada (Rec. de <https://www.bermad.com/es/>, 2022)

❖ **Válvulas antiretorno de flujo (válvula check).**

Estas válvulas funcionan haciendo circular el flujo de agua en una sola dirección. Por lo tanto, también se le llama válvula de anti-retorno de flujo.

Se utiliza en sistemas de impulsión, a la salida de la bomba para evitar que la columna de agua regrese y gire en sentido contrario cuando se detenga el equipo de bombeo. También protege la bomba de sobrepresión y evita que la línea de suministro este vacía.

Actualmente se están utilizando otros mecanismos en estaciones de bombeo donde se trasvasan grandes caudales para mitigar transitorios



Figura 37 : *Válvula antirretorno concéntrica mistral ross para proteger la estación de bombeo de golpes de ariete: al actuar se cierra inmediatamente mediante un tapón elástico que evita el reflujos de agua y la formación de ondas de choque. (Rec. de <https://www.lagua.es/>, 2022)*



Figura 38 : Válvulas antiretorno multidisco “Casa Ibapol Polanco”; protegen las estaciones de bombeo de los golpes de ariete. Cuando funciona, algunos discos se cierran, impidiendo el retorno del agua y la formación de ondas de choque.
(Rec. de <https://www.lagua.es/>, 2022)

❖ **Tanque hidroneumático - (Tanque Anti Ariete Hidráulico)**

Un tanque hidroneumático es un recipiente cerrado el cual contiene agua bajo presión. Esta retención de agua le permite mantener un volumen constante y evitar picos de presión. Una vez que comienza el consumo de agua, la bomba no funcionará hasta que la presión baje al mínimo. Esto elimina el arranque y parada constantes y el golpe de ariete.

Reduce la presión de succión en la succión de la bomba para evitar el vacío en el punto de bombeo y permitir que el agua transite.

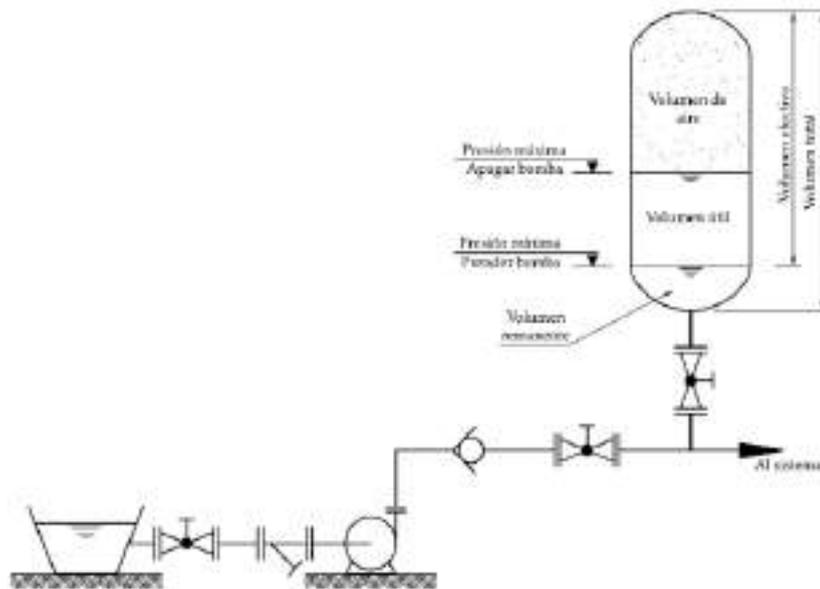


Figura 39 : Diagrama unifilar bomba-tanque hidroneumática.
(Sandoval A. , 2014)

❖ **Tanques antiarriete tipo vejiga.**

Los tanques tipo vejiga, son uno de los dispositivos de protección mas importante en los sistemas de impulsión, contra el transitorio de presiones (ondas de presión positivo y negativo) y golpes de ariete

Una vejiga flexible dentro del tanque separa el líquido del aire precomprimido entre el cuerpo metálico del tanque y la vejiga.

Este diseño prolonga la vida útil del sistema y reduce el mantenimiento del mismo.



Figura 40 : Tanque antiarriete tipo vejiga – corte y perfil (Gandarillas I. , 2017)

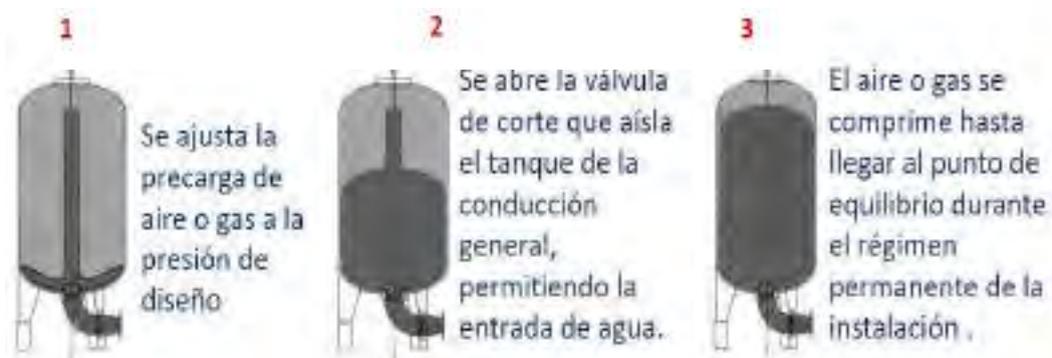
○ Características y ventajas

- ✓ Los accesorios de medición de nivel visuales, magnéticos o gravimétricos garantizan un control total y un funcionamiento óptimo del tanque de vejiga. }
- ✓ La simulación y el análisis del golpe de ariete, desde la planificación y elaboración de un proyecto están presentes.
- ✓ La separación completa de líquido y aire evita la corrosión y elimina la necesidad de sistemas adicionales de compresión de aire.



Figura 41 : Características y ventajas de Tanque Antiarriete (Gandarillas I. , 2017)

○ **Principios de operación**



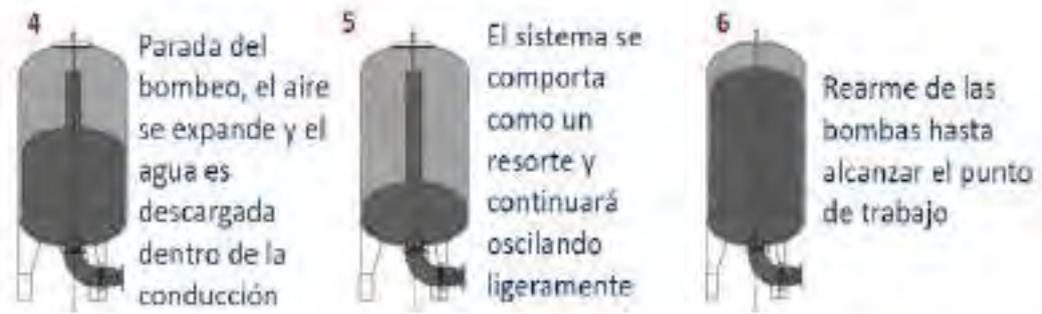


Figura 42 : Principios de Operación Tanque Antiariete (Gandarillas I. , 2017)

2.3 ANTECEDENTES EMPÍRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.3 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

❖ TESIS DE INVESTIGACIÓN: “DISEÑO ECONÓMICO DE CONDUCTOS FORZADOS CON VERIFICACIÓN COMPUTARIZADA DE SOBREPRESIONES Y CAMBIOS DE SECCIÓN”

AUTORES:

- Alzapalo Callupe V.R.-Universidad Nacional de Ingeniería “ Facultad de Ingeniería Civil” – lima peru 2000

RESUMEN:

- *Esta investigación realiza una evaluacion respecto a los costos de instalación de tuberías en sistemas hidroeléctricos sometidos a sobrepresiones altas, y la influencia de la elección del tipo de material y dimensionamiento del diámetro.*

CONCLUSIONES:

- El desarrollo de proyectos hidroeléctricos plantea el problema de construir tuberías forzadas que direccionen un caudal específico de agua desde la cámara de carga para alimentar una turbina o grupo de turbinas.
 - No existe una solución obvia para la selección del diámetro de la tubería forzada. Esto se debe a que, desde el punto de vista hidráulico, existen infinitos diámetros que permiten llevar un caudal dado, pero lógicamente no todos representan una solución económica.
 - El costo de una tubería de presión depende directamente de su diámetro y espesor. Sin embargo, cuanto menor sea el diámetro elegido, mayores serán las pérdidas de presión y rendimiento en el sistema debido a la fricción.
 - Los resultados obtenidos confirman la alternativa de menor costo de múltiples secciones transversales constantes diseñadas a partir de tubería de diámetro constante.
- #### **❖ TESIS DE INVESTIGACIÓN: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL BOMBEO DE LOS SUBSISTEMAS DE IMPULSIÓN (PIÑIPAMPA, RUMICOLCA, COLLANA) DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA VILCANOTA, BAJO CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO”.**

AUTORES:

- Olivera F. y Diaz P. - Universidad Andina del Cusco “ Facultad de Ingeniería y Arquitectura – Escuela profesional de ingeniería civil ” – Cusco Perú 2015

RESUMEN:

- *Esta investigación realiza un análisis hidráulico del sistema de abastecimiento de agua Vilcanota de la ciudad del cusco, administrada por la EPS SEDA CUSCO, donde se evalúa el caudal de producción y los costos de operación y mantenimiento del sistema para poder optimizar el servicio de abastecimiento de agua a la población cuzqueña.*

CONCLUSIONES:

- Se logró demostrar parcialmente la Hipótesis General que dice: “Los Subsistemas de Bombeo Vilcanota, se encuentra operando actualmente, con una eficiencia menor al 50% de la inicial, lo cual significa que los costos energéticos de producción de agua potable para la Ciudad del Cusco son excesivos”, la eficiencia de bombeo de las estaciones de Rumicolca y Collana superan el 50%, mientras que la eficiencia de bombeo de la estación de Piñipampa está por debajo de dicho porcentaje, sin embargo la estación de Piñipampa a pesar de tener una eficiencia de 46.5%, es la que menor facturación de consumo energético registra.
- Se logró demostrar la Sub-Hipótesis que dice :“La diferencia entre el NPSH (Altura de Succión Neta Positiva) Requerido y el Disponible es menor a 0.5 metros (R.N.E. OS 040)”, Donde se observa que se produce Cavitación debido a la diferencia de más del 10% , y además según el reglamento OS040 obtenemos valores negativos verificando que hay cavitación en la tubería de succión .
- Se logró demostrar parcialmente la Sub-Hipótesis 02 que dice : “Existe una disminución del 20% del valor inicial del coeficiente C de Hazen Willians, que afecta la capacidad de conducción Hidráulica de la tubería, de los Subsistemas de Impulsión”, donde se observa una reducción del 25% de su valor inicial según el R.N.E y la incrustación en las tuberías de descarga del Sistema de Impulsión, dado que este valor fue sacado de un análisis de calidad de agua .
- Se logró demostrar al Sub-Hipótesis 04 que dice: “Existe incrementó de la Altura Dinámica Total en el Sistema de Bombeo Vilcanota, debido a un aumento de la pérdida de carga en la línea de impulsión”, en el que se observa las variaciones por

mes de Producción que experimenta cada estación de bombeo, la reducción del coeficiente de rugosidad, el estado de deterioro de la infraestructura hidráulica, y la línea de gradiente para las condiciones actuales de funcionamiento”; el cual nos indica que se incrementara según la demanda de la población, las incrustaciones en la tubería, el tiempo de uso de la infraestructura y la necesidad de eliminar vacíos en la impulsión, por lo que habrá incremento de pérdida de carga y consecuentemente se incrementara la Altura Dinámica Total a corto plazo.

2.3.4 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

❖ TESIS DE INVESTIGACIÓN: “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS VENTOSAS EN TRANSITORIOS HIDRÁULICOS CON AIRE ATRAPADO”

AUTORES:

- Alverola M. C. – Universidad Politecnica de Valencia “ Departamento De Ingeniería Hidraulica Y Medio Ambiente– Valencia España Noviembre 2007

RESUMEN:

- *Esta investigación evalúa la influencia de válvulas de aire respecto al transitorio hidráulico (sobrepresiones y subpresiones)producidas durante la operación de vaciado y llenado de tubería de una línea de impulsión, y los efectos en la capacidad de transporte de distribución de agua.*

CONCLUSIONES:

- La magnitud de los picos de presión depende tanto de la velocidad a la que el agua llega a las ventosas como de la cantidad de aire atrapado en el sistema (o el aire actúa como colchón o, por el contrario, refuerza la sobrepresión generada). , y para la longitud total del actuador.
- La cantidad de aire atrapado en el sistema después del cierre juega un papel importante en la presión máxima alcanzada durante la transición. Por tanto, es necesario utilizar una variable o una medida indirecta que nos permita saber en cada caso cuánto aire no expulsa la ventosa durante el transitorio.
- La desaceleración de la columna de agua, el ancho del pico de presión máxima y la sobrepresión aplicada para generar el transitorio están íntimamente relacionados. Además, estas tres variables brindan información sobre la cantidad de aire atrapado que queda en el sistema después de que se cierran las ventosas.

- La columna de agua es inversamente proporcional al ancho del pico de presión máxima o tiempo de cierre del vaso, independientemente del vaso utilizado o de la longitud inicial de la columna de agua.

❖ **TESIS DE INVESTIGACIÓN: “ANÁLISIS DE FENÓMENOS HIDRÁULICOS TRANSITORIOS EN LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN QUE UNE AL POZO III DE CIUDAD UNIVERSITARIA CON LOS TANQUES DE REGULARIZACIÓN DEL VIVERO ALTO”**

AUTORES:

- Vela Barrera J. A. Alverola M. C. – Universidad Nacional Autónoma de México”
Faculta de Ingeniería – Ciudad Universitaria, México, D.F., 2015.

RESUMEN:

- *Esta investigación analiza el fenómeno de transitorio hidráulico en la línea de conducción que une el pozo de suministro de recurso hídrico con los tanques de almacenamiento en la localidad de vivero alto de la ciudad universitaria de la universidad nacional de mexico, evaluando las condiciones hidráulicas del mismo ante el paro repentino de una bomba.*

CONCLUSIONES:

- Considerando la trayectoria, geometría, material y comportamiento del conductor que parte del pozo III y termina en el tanque de acondicionamiento, y los resultados obtenidos del análisis de los transitorios, se concluye que existe concordancia entre la resistencia y presión de los existentes materiales La eficiencia del conducto se determinó incluso en presencia de grandes transitorios. B. Encendido determinado de la bomba.
- Era importante realizar un análisis de los transitorios hidráulicos que pueden ocurrir en caso de actuación de la válvula de control y parada de la bomba donde pueden ocurrir transitorios. función correcta.
- La protección contra transitorios instalada en la línea funciona bien, ya que las observaciones de los resultados del análisis realizado en el programa Trans muestran que la presión cae.

CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

3.1.1 HIPÓTESIS GENERAL

El Sistema De Abastecimiento De Agua Vilcanota puede fallar cuando este trabaje a su capacidad máxima de producción por la falta de mantenimiento preventivo de los equipos de protección Antiarriete.

3.1.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- I. Existe picos máximos de sobrepresiones máximas que influirán negativamente en el sistema de abastecimiento a largo plazo.
- II. Existe picos mínimos de Sub-Presiones Mínimas que influirán negativamente en el sistema de abastecimiento a largo plazo.
- III. Existe un incremento de la Perdida de Carga en las líneas de impulsión del sistema de Abastecimiento de Agua Vilcanota que influyen negativamente en el comportamiento hidráulico.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

3.2.1 VARIABLES DEPENDIENTES

- Costo de Producción de Agua

3.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

- Transitorio hidráulico

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA N° 11 : CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

TITULO: "ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DEL FENOMENO DE GOLPE DE ARIETE EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA VILCANOTA DE LA CIUDAD DEL CUSCO"				
CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE				
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TECNICA	INSTRUMENTOS
TRANSITORIO HIDRAULICO	1.- CONDICIONES HIDRAULICAS SIN SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIARIETE	1.- CAUDAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA (LITROS / SEGUNDO) 2.-DIAMETRO DE TUBERIA DE IMPULSIÓN. (MILIMETROS) 3.- MATERIAL DE TUBERIA DE IMPULSIÓN. (ADIMENSIONAL)	1.- MEDICIÓN INSITU (PRESION). 2- MEDICIÓN INSITU (CAUDAL). 3.- ANALISIS ASISTIDO POR COMPUTADOR (SOFTWARE BENTLEY WATERGEMS + HAMMER)	1.- CAUDALIMETRO 2- MANOMETRO 3.-GUIAS DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
	2.- CONDICIONES HIDRAULICAS CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIARIETE	4.-CELERIDAD DE ONDA DE PRESIÓN. () 5.- NUMERO DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ANTIARIETE (UNIDAD) 6.- REGIMEN DEL FLUJO EN TUBERIA (ADIMENSIONAL)		

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

4.1 ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA.

4.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El Sistema de abastecimiento de agua Vilcanota se encuentra ubicado en el Departamento de Cusco, Provincias de Cusco y Quispicanchis, Distritos de Andahuaylillas y San Jerónimo.

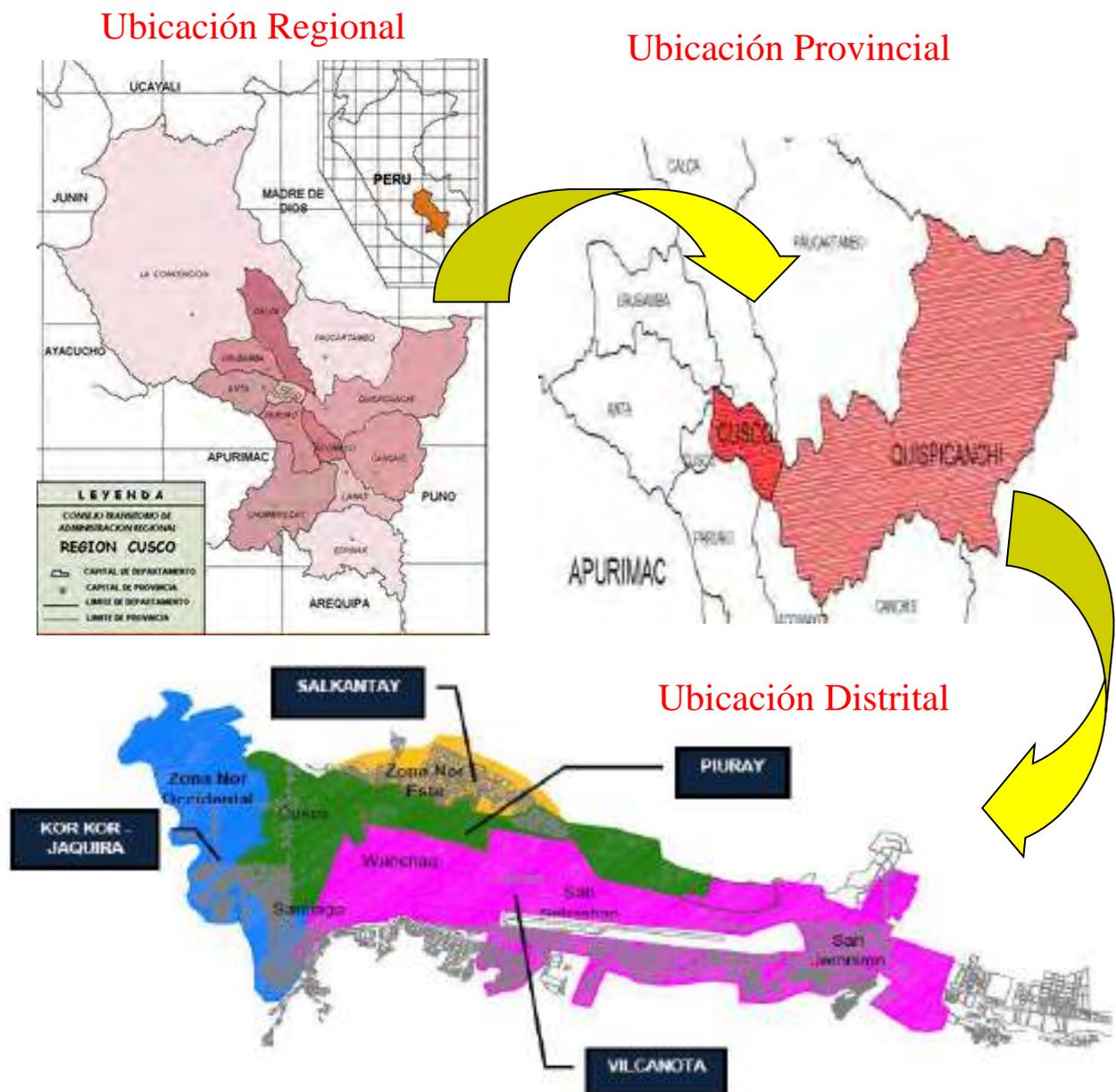


Figura 43 : Ubicación Sistema De Abastecimiento De Agua Vilcanota (Elaboración propia)

El Sistema de abastecimiento Vilcanota está conformado por 3 estaciones de Bombeo PIÑIPAMPA, RUMICOLCA Y COLLANA los cuales se ubican geográficamente según el siguiente cuadro:

TABLA N° 12 : UBICACIÓN EN COORDENADAS UTM – ZONA 19 L DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO VILCANOTA

DESCRIPCIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	LOCALIZACIÓN
Estación de Bombeo 01 " Pinipampa" a	8490419.49	208634.99	3084.204	QUEROWASI-SECCSENCALLA-PIÑIPAMPA - ANDAHUAYLILLAS
Estación de Bombeo 02	8489233.55	209853.41	3102.672	RUMICOLCA- ANDAHUAYLILLAS
Estación de Bombeo 02 a				
Estación de Bombeo 03	8500490.3	189638.52	3221.06	COLLANA - SAN JERONIMO
Estación de Bombeo 03 a				
Reservorio R12	8502597.36	187021.13	3421.869	PICOL- SAN JERONIMO

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente grafico se puede apreciar la ubicación, de estas 03 Estaciones de Bombeo:



Figura 44 : Ubicación Estaciones de bombeo 01,02 y 03 sistema de abastecimiento Vilcanota (Elaboración propia)

4.2 TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

4.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo de investigación es aplicada de tipo cuantitativo, debido a que se recolectan datos de campo que serán medibles, cuantificables así como también calculados, con la finalidad de demostrar la hipótesis general.

4.1.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño metodológico de este presente trabajo de investigación es “No Experimental”, debido a que se analizan las variables del estudio sin modificación de sus propiedades.

4.1.3 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo de investigación según su naturaleza de estudio alcanza el nivel “Descriptivo”, debido a que se analiza la causa – efecto de los fenómenos hidráulicos (Golpe de Ariete) durante un evento de corte de energía o apagado intempestivo de las bombas en cada una de las Estaciones de bombeo.

4.3 UNIDAD DE ANÁLISIS – ÁMBITO DE ESTUDIO.

La unidad de análisis de la presente investigación, consta de todo el Sistema de Abastecimiento Vilcanota constituido desde su captación, impulsión y distribución, desde la estación de bombeo 01 ubicado en la localidad de Piñipampa en Quispicanchis, hasta el reservorio R-12 en Larapa – San Jerónimo; el cual conduce por la línea de Aducción a los demás reservorios de la ciudad del cusco (R5, R10, etc) para su posterior distribución al usuario.

4.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO.

La población de la presente investigación, consta de todo el área de influencia del Sistema de Abastecimiento Vilcanota constituida por la Captación, Impulsión y Distribución .

4.5 TAMAÑO DE LA MUESTRA.

La muestra escogida, para la presente investigación es la Línea de Impulsión del Sistema de Abastecimiento Vilcanota, conformado por las 03 estaciones de bombeo Pinipampa, Rumicolca y Collana .

4.6 TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA.

El método de muestreo del sistema de abastecimiento Vilcanota es “No Probabilístico” porque no utilizamos formulas estadísticas para la selección de la muestra.

4.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

A) TÉCNICAS.

Los criterios de evaluación a considerar fueron los siguientes:

- Realizar mediciones In situ de producción de agua potable diaria.
- Realizar mediciones In situ de presión de producción de agua potable diaria.
- Realizar mediciones In situ el Transitorio Hidráulico en condiciones actuales de operación y producción de agua potable.
- Realizar mediciones del Volumen total de los equipos de protección ante el golpe de ariete.

B) INSTRUMENTOS.

❖ INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS

- Guías de observación de campo. (unidad)
- Registro de Producción de agua (litros/ segundos)
- Registro de nivel máximo de aguas. (metros)

❖ INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA.

- Software de Ingeniería (análisis asistido por computador), los cuales son:
 - ✓ Bentley HAMMER Connect Edition.
 - ✓ Bentley OpenFlows WaterGEMS - Water Distribution Analysis and Design.
 - ✓ Bentley OpenFlows WaterCAD - Water Distribution Modeling And Analisis.
 - ✓ Microsoft Excel 2016.
- Cinta métrica (Metros)
- Caudalimetro ultrasónico PT8 -78 . (litros/ segundos)
- Caudalimetro electromagnetico. (litros/ segundos)
- Manómetro de Glicerina (Bar)
- GPS – Navegador (m.s.n.m).
- GPS – Diferencial (m.s.n.m)

4.8 TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

A) TÉCNICAS Y/O CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

Los criterios de evaluación a considerar fueron los siguientes:

- Verificar y validar la data recolectada por la E.P.S Seda Cusco tales como planos, registros de operación y producción diaria (caudal, nivel de aguas de cisternas, presión).
- Evaluar los equipos de protección antiarriete existentes y su dimensionamiento según el transitorio hidráulico medido In situ.
- Tomar como referencia la calidad del agua impulsada por las estaciones de bombeo para analizar la rugosidad de la tubería por envejecimiento.
- Modelar y simular las condiciones actuales de producción y a su máxima capacidad para evaluar el comportamiento hidráulico del mismo.
- Modelar y simular las condiciones actuales de producción y a su máxima capacidad para evaluar el transitorio hidráulico producido durante el apagado de las bombas.

B) PROCEDIMIENTOS Y/O TÉCNICAS PARA ABORDAR LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

- 1) Para responder el Objetivo General de la investigación, se ha realizado en primer lugar, la medida de presión en la salida del árbol de descarga de las estaciones de bombeo de Rumicolca y Collana durante el apagado de las bombas, cuando se deja de producir agua, y en segundo lugar la medida del caudal máximo de producción de cada estación de bombeo (Pinipampa, Rumicolca, Collana), con la finalidad de poder estimar las presiones máximas y mínimas a las cuales esta sometida la Tubería de Impulsión de Hierro ductil (Golpe de Ariete).
- 2) Para responder los objetivos específicos se ha realizado en primer lugar las simulaciones hidráulicas de cada tramo de tubería de impulsión, para poder estimar y comparar con el transitorio hidráulico medido INSITU, y además resaltar la importancia que tienen los dispositivos de protección anti ariete, frente al funcionamiento hidráulico del mismo; en segundo lugar valorizar el costo adquisición de estos dispositivos frente a un evento de emergencia, versus el costo de producción de agua potable.

4.9 TÉCNICAS PARA DEMOSTRAR LA VERDAD O FALSEDAD DE LAS HIPÓTESIS PLANTEADAS.

Las técnicas serán de carácter cuantitativo.

- Comparar los resultados de presiones máximas y mínimas de la simulación hidráulica de transitorio con el registrado en condiciones actuales de producción.

- Comparar el porcentaje de atenuación de onda transitoria en condiciones actuales de producción de agua.
- Estimar el porcentaje de deterioro de los equipos de protección anti golpe de ariete para realizar el comparativo con los gastos de operación y mantenimiento actual.

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO.

5.1.1 RECOLECCIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO EN CONDICIONES ACTUALES DE TRABAJO.

A) INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS.

- **GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO:** medición de presión de transitorio en condiciones actuales de trabajo.

B) INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA.

- Manómetro manual glicerina

5.1.1.1 PROCEDIMIENTO

- En primer lugar se ha considerado para realizar la presente medición, el horario de operación de cada estación de bombeo, y se ha coordinado el apagado de las bombas para evaluar la variación de las ondas de presión.
- En segundo lugar, se ha realizado la medición en campo con el manómetro de glicerina, para lo cual, se cuenta en el punto de medición de presión en el árbol descarga de la tubería de impulsión, de las estaciones de bombeo de Rumicolca y Collana.
- Se ha recolectado desde el inicio del apagado de las bombas en cada estación de bombeo aproximadamente 4 minutos hasta el punto de equilibrio de presión.

Nota: se tuvo la limitante de realizar la medición en la estación de bombeo de Piñipampa, debido a que no se contaba con puntos de medición de presión a la salida de cada bomba de impulsión, ni tampoco a lo largo de toda la línea, por lo tanto solo se realizaron la toma de datos en la estación de bombeo de Rumicolca y Collana.

- Es importante resaltar que, las medidas recolectadas corresponden a las presiones registradas, con el sistema de protección anti golpes de ariete (Tanque Hidroneumático), dado que realizar la medición en condiciones sin protección es **Muy Riesgoso**, porque puede generarse un colapso de la tubería y dejar desabastecida a la ciudad del cusco.

5.1.1.2 TOMA DE DATOS.

**TABLA N° 13 : RECOLECCIÓN DE PRESIONES – TRANSITORIO
E.B. RUMICOLCA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
1	0	9.00	Inicio de apagado de Bomba
2	1	9.00	-
3	2	9.10	-
4	3	9.50	-
5	4	9.70	-
6	5	9.90	-
7	6	10.00	Inicio de Transitorio
8	7	10.10	
9	8	10.00	
10	9	10.00	
11	10	10.00	
12	11	10.00	
13	12	10.00	
14	13	10.00	
15	14	9.90	
16	15	9.20	
17	16	9.00	
18	17	9.00	
19	18	9.00	
20	19	9.00	
21	20	8.90	
22	21	8.30	
23	22	8.10	
24	23	8.00	
25	24	8.00	
26	25	8.00	
27	26	8.00	
28	27	8.00	
29	28	8.00	
30	29	8.00	
31	30	7.90	
32	31	7.80	Pico 01 de Caída de Subpresión
33	32	7.80	
34	33	7.90	
35	34	7.90	
36	35	8.00	
37	36	8.00	
38	37	8.00	
39	38	8.10	
40	39	8.20	
41	40	8.50	
42	41	8.80	
43	42	8.90	
44	43	9.00	
45	44	9.10	
46	45	9.20	
47	46	9.30	
48	47	9.40	
49	48	9.50	
50	49	9.70	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
51	50	9.80	
52	51	9.90	
53	52	9.90	
54	53	9.80	
55	54	9.70	Pico 01 de Subida de SobrePresión
56	55	9.60	
57	56	9.50	
58	57	9.20	
59	58	9.10	
60	59	9.00	
61	60	9.00	
62	61	8.90	
63	62	8.80	
64	63	8.70	
65	64	8.50	
66	65	8.20	
67	66	8.10	
68	67	8.00	Pico Maximo de Presión Registrado
69	68	8.00	
70	69	8.30	
71	70	8.90	Inicio de atenuación de transitorio
72	71	9.00	
73	72	9.50	
74	73	9.90	
75	74	10.20	
76	75	10.85	
77	76	11.00	
78	77	11.50	
79	78	12.00	
80	79	12.10	
81	80	12.30	Atenuación de curva
82	81	12.50	
83	82	12.70	
84	83	13.10	
85	84	13.00	Pico 02 de subida de Sobrepresión
86	85	13.00	
87	86	13.00	
88	87	12.90	
89	88	12.90	
90	89	12.90	
91	90	12.90	
92	91	12.80	
93	92	12.50	
94	93	12.40	
95	94	12.30	
96	95	12.20	
97	96	12.10	
98	97	12.05	
99	98	12.00	
100	99	12.05	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
101	100	12.10	
102	101	12.20	
103	102	12.50	
104	103	12.60	
105	104	12.70	
106	105	12.80	
107	106	13.00	
108	107	13.00	
109	108	13.30	
110	109	13.80	
111	110	13.90	Pico 03 de subida de Sobrepresión
112	111	14.00	
113	112	14.00	
114	113	14.00	
115	114	14.00	
116	115	14.00	
117	116	14.00	
118	117	13.90	
119	118	13.50	
120	119	13.40	
121	120	13.20	
122	121	13.10	
123	122	13.00	
124	123	13.00	Pico 02 de Caída de Subpresión
125	124	13.00	
126	125	13.00	
127	126	12.90	
128	127	13.00	
129	128	13.00	
130	129	13.00	
131	130	13.00	
132	131	13.00	
133	132	13.10	
134	133	13.50	
135	134	13.80	
136	135	14.00	
137	136	14.00	
138	137	14.10	
139	138	14.30	
140	139	14.70	
141	140	14.80	
142	141	14.80	
143	142	14.80	
144	143	14.70	
145	144	14.60	
146	145	14.50	
147	146	14.00	
148	147	13.50	
149	148	13.20	
150	149	13.10	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
151	150	13.00	
152	151	12.90	
153	152	12.80	
154	153	12.50	
155	154	12.40	
156	155	12.40	
157	156	12.40	
158	157	12.40	
159	158	12.40	
160	159	12.30	
161	160	12.30	
162	161	12.20	
163	162	12.20	
164	163	12.20	
165	164	12.20	
166	165	12.20	
167	166	12.20	
168	167	12.20	
169	168	12.30	
170	169	12.40	
171	170	12.50	
172	171	12.50	
173	172	12.50	
174	173	12.50	
175	174	12.50	
176	175	12.50	
177	176	12.50	
178	177	12.50	
179	178	12.50	
180	179	12.50	
181	180	12.00	
182	181	11.60	
183	182	11.20	
184	183	11.00	
185	184	10.80	
186	185	10.30	
187	186	10.20	
188	187	10.10	
189	188	10.10	
190	189	10.10	
191	190	10.10	
192	191	10.10	
193	192	10.10	
194	193	10.00	
195	194	10.00	
196	195	9.90	
197	196	9.80	
198	197	9.90	
199	198	9.90	
200	199	10.00	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
201	200	10.00	
202	201	10.10	
203	202	10.10	
204	203	10.00	
205	204	10.00	
206	205	10.10	
207	206	10.20	
208	207	10.30	
209	208	10.40	
210	209	10.50	
211	210	10.70	
212	211	10.80	
213	212	10.90	
214	213	10.90	
215	214	10.90	
216	215	10.90	
217	216	10.90	
218	217	10.90	
219	218	10.90	
220	219	10.90	
221	220	10.90	
222	221	10.80	
223	222	10.70	
224	223	10.60	
225	224	10.50	
226	225	10.20	
227	226	10.10	
228	227	10.10	
229	228	10.30	
230	229	10.40	
231	230	10.50	
232	231	10.80	
233	232	11.00	
234	233	11.00	
235	234	11.10	
236	235	11.20	
237	236	11.20	
238	237	11.20	
239	238	11.40	
240	239	11.50	Fin de Transitorio Hidraulico Atenuado

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N° 14 : RECOLECCIÓN DE PRESIONES – TRANSITORIO
E.B. COLLANA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	20/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA
CLIMA	Nublado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
1	0	20.85	Inicio de Apagado
2	1	20.00	
3	2	19.90	
4	3	18.00	
5	4	17.00	
6	5	15.20	
7	6	13.80	
8	7	13.00	
9	8	12.80	
10	9	12.50	Inicio de Transitorio
11	10	12.50	Pico 01 Minimo de Subpresion
12	11	12.50	
13	12	13.80	
14	13	15.00	
15	14	16.25	
16	15	17.90	
17	16	19.85	
18	17	22.50	
19	18	25.80	
20	19	27.30	
21	20	28.00	
22	21	28.50	Pico 01 Maximo de Sobrepresion
23	22	28.00	
24	23	27.00	
25	24	25.00	
26	25	22.70	
27	26	20.00	
28	27	18.50	
29	28	17.00	
30	29	15.50	
31	30	14.80	
32	31	14.00	Pico 02 atenuado de Subpresion
33	32	14.00	
34	33	14.00	
35	34	14.80	
36	35	15.80	
37	36	16.90	
38	37	18.00	
39	38	19.50	
40	39	21.00	
41	40	22.80	
42	41	24.90	
43	42	26.00	Pico 02 Maximo atenuado de Sobrepresion
44	43	26.80	
45	44	26.80	
46	45	26.00	
47	46	25.00	
48	47	24.00	
49	48	22.00	
50	49	20.00	
51	50	18.50	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	20/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA
CLIMA	Nublado		
Nº DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
52	51	17.20	
53	52	16.50	
54	53	15.80	
55	54	15.20	
56	55	15.00	Pico 03 atenuado de Subpresion
57	56	15.20	
58	57	16.00	
59	58	16.80	
60	59	17.80	
61	60	19.00	
62	61	20.00	
63	62	22.00	
64	63	23.00	
65	64	24.20	
66	65	25.00	
67	66	25.20	
68	67	25.20	Pico 03 Maximo atenuado de Sobrepresion
69	68	24.90	
70	69	23.80	
71	70	22.20	
72	71	21.00	
73	72	20.00	
74	73	18.50	
75	74	17.60	
76	75	17.00	
77	76	16.30	
78	77	16.00	Pico 04 atenuado de Subpresion
79	78	16.00	
80	79	16.20	
81	80	17.00	
82	81	17.70	
83	82	18.00	
84	83	19.50	
85	84	20.50	
86	85	22.00	
87	86	23.00	
88	87	23.80	
89	88	24.00	
90	89	24.20	Pico 04 Maximo atenuado de Sobrepresion
91	90	24.00	
92	91	23.80	
93	92	22.30	
94	93	21.50	
95	94	20.30	
96	95	19.20	
97	96	18.50	
98	97	17.90	
99	98	17.20	
100	99	17.00	
101	100	16.90	Pico 05 atenuado de Subpresion

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	20/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA
CLIMA	Nublado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
102	101	17.00	
103	102	17.10	
104	103	17.70	
105	104	18.40	
106	105	19.20	
107	106	20.10	
108	107	21.20	
109	108	22.00	
110	109	22.85	
111	110	23.10	
112	111	23.60	Pico 05 Maximo atenuado de Sobrepresion
113	112	23.40	
114	113	23.00	
115	114	22.80	
116	115	22.00	
117	116	21.00	
118	117	20.00	
119	118	19.50	
120	119	18.80	
121	120	18.00	
122	121	17.80	
123	122	17.50	Pico 06 atenuado de Subpresion
124	123	17.50	
125	124	17.80	
126	125	18.00	
127	126	18.50	
128	127	19.00	
129	128	19.95	
130	129	21.00	
131	130	21.50	
132	131	22.10	
133	132	22.80	
134	133	23.00	
135	134	23.00	Pico 06 Maximo atenuado de Sobrepresion
136	135	22.50	
137	136	22.00	
138	137	21.90	
139	138	21.00	
140	139	20.50	
141	140	19.50	
142	141	19.00	
143	142	18.90	
144	143	18.70	
145	144	18.50	Pico 07 atenuado de Subpresion
146	145	18.60	
147	146	18.80	
148	147	19.00	
149	148	19.20	
150	149	19.90	
151	150	20.20	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	20/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA
CLIMA	Nublado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
152	151	20.80	
153	152	21.00	
154	153	21.50	
155	154	22.00	
156	155	22.20	Pico 07 Maximo atenuado de Sobrepresion
157	156	22.00	
158	157	22.00	
159	158	21.90	
160	159	21.50	
161	160	21.20	
162	161	20.50	
163	162	20.00	
164	163	19.50	
165	164	19.00	
166	165	18.90	
167	166	18.50	Pico 08 atenuado de Subpresion
168	167	18.60	
169	168	18.80	
170	169	18.90	
171	170	19.00	
172	171	19.30	
173	172	19.90	
174	173	20.10	
175	174	21.00	
176	175	21.10	
177	176	21.50	
178	177	21.80	
179	178	21.90	
180	179	22.00	Pico 08 Maximo atenuado de Sobrepresion
181	180	21.90	
182	181	21.70	
183	182	21.50	
184	183	21.20	
185	184	20.50	
186	185	20.00	
187	186	19.20	
188	187	19.00	
189	188	18.90	Pico 08 atenuado de Subpresion
190	189	18.80	Fin de Transitorio

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2 RECOLECCIÓN DE CAUDALES DE EXPLOTACIÓN EN CONDICIONES ACTUALES DE TRABAJO.

A) INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS.

- **GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO:** medición de caudales de producción en condiciones actuales de explotación.
- **GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO:** identificación de accesorios hidráulicos en línea de descarga de cada estación de bombeo.
- **GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO:** identificación de accesorios de protección anti ariete hidráulico.

B) INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA.

- Medidor de caudal electromagnético – SIEMENS
- Medidor de caudal ultrasónico – PT878
- GPS navegador.
- Cinta métrica (Metros)
- GPS – diferencial.

C) INFORMACIÓN ADICIONAL RECOLECTADA.

- Estudio topográfico – geodésico – sistema Wilcanota II.
- Estudio de caudal de explotación – EPS SEDA CUSCO

5.1.1.3 PROCEDIMIENTO

- El Objetivo de recolectar los caudales de producción de las estaciones de bombeo, es determinar el comportamiento hidráulico del sistema de impulsión en condiciones actuales de explotación (perdidas de carga), por lo tanto se procedió de la siguiente forma.
- En primer lugar se ha registrado los caudales de explotación realizados por los medidores electromagnéticos SIEMENS, y se ha corroborado con la medición INSITU que realiza la EPS SEDA CUSCO con el medidor de flujo ultrasónico, con la finalidad de corroborar y estimar el error instrumental de los medidores de flujo.
- En segundo lugar se ha IDENTIFICADO los accesorios y dispositivos hidráulicos incorporados a la salida de cada estación de bombeo en la línea de impulsión que sirven para el correcto funcionamiento del sistema.
- En tercer lugar se ha realizado la medición de las características geométricas de la tubería tales como: diámetro, espesor, longitud, tipo de material y clase.

TABLA N° 15 : RECOLECCIÓN CAUDAL DE PRODUCCIÓN – ESTACIÓN DE BOMBEO 01 PINIPAMPA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO				
ESCUELA DE POS GRADO				
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE				
MEDICIÓN DE CAUDAL DE PRODUCCIÓN - SISTEMA DE ABASTECIMIENTO VILCANOTA				
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA			
FECHA	20/02/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO PINIPAMPA	
CLIMA	Nublado a Soleado		HORA 11:00 a. m.	
N° DE BOMBAS	Q medido (Litros / Segundo) - CAUDALIMETRO SIEMENS	Q corregido (Litros / Segundo) - CAUDALIMETRO P178	TIEMPO DE MEDICIÓN DE PRODUCCIÓN	OBSERVACIONES SE COLOCO EL CAUDALIMETRO PT78 , POR UN TIEMPO DE 30 MINUTOS PARA LA VALIDEZ DE LAS MEDICIONES , CONSIDERANDO ADEMÁS LAS VIBRACIONES DE LAS BOMBAS
1 bomba	262	250	30 MIN	
2 bomba	496	473.28	30 MIN	
3 bomba	704	671.76	30 MIN	
4 bomba	813	775.76	30 MIN	
		TIEMPO DE OBSERVACIÓN	60 MIN	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 16 : RECOLECCIÓN CAUDAL DE PRODUCCIÓN – ESTACIÓN DE BOMBEO 02 RUMICOLCA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO				
ESCUELA DE POS GRADO				
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE				
MEDICIÓN DE CAUDAL DE PRODUCCIÓN - SISTEMA DE ABASTECIMIENTO VILCANOTA				
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA			
FECHA	27/02/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA	
CLIMA	Nublado a Soleado		HORA 11:00 a. m.	
N° DE BOMBAS	Q medido (Litros / Segundo) - CAUDALIMETRO SIEMENS	Q corregido (Litros / Segundo) - CAUDALIMETRO P178	TIEMPO DE MEDICIÓN DE PRODUCCIÓN	OBSERVACIONES SE COLOCO EL CAUDALIMETRO PT78 , POR UN TIEMPO DE 30 MINUTOS PARA LA VALIDEZ DE LAS MEDICIONES , CONSIDERANDO ADEMÁS LAS VIBRACIONES DE LAS BOMBAS
1 bomba	441.00	430.00	30 MIN	
2 bomba	696.00	678.64	30 MIN	
		TIEMPO DE OBSERVACIÓN	30 MIN	

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 17 : RECOLECCIÓN CAUDAL DE PRODUCCIÓN – ESTACIÓN DE BOMBEO 03 COLLANA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO				
ESCUELA DE POS GRADO				
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE				
MEDICIÓN DE CAUDAL DE PRODUCCIÓN - SISTEMA DE ABASTECIMIENTO VILCANOTA				
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA			
FECHA	07/03/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA	
CLIMA	Nublado a Soleado		HORA 11:00 a. m.	
N° DE BOMBAS	Q medido (Litros / Segundo) - CAUDALIMETRO SIEMENS	Q corregido (Litros / Segundo) - CAUDALIMETRO PT78	TIEMPO DE MEDICIÓN DE PRODUCCIÓN	OBSERVACIONES
1 bomba	430.00	420.00	30 MIN	SE COLOCO EL CAUDALIMETRO PT78 , POR UN TIEMPO DE 30 MINUTOS PARA LA VALIDEZ DE LAS MEDICIONES , CONSIDERANDO ADEMAS LAS VIBRACIONES DE LAS BOMBAS
2 bomba	786.00	767.72	30 MIN	
		TIEMPO DE OBSERVACIÓN	30 MIN	

Fuente: Elaboración Propia

5.2 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.2.1 ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

5.2.1.1 DATOS DE ENTRADA.

❖ ESTACIÓN DE BOMBEO 01 PIÑIPAMPA

- ✓ Longitud de la tubería de impulsión: 2'607.00 m (Dos mil seis cientos siete con 00 Metros)
- ✓ Diámetro nominal de tubería de impulsión: 700 mm (setecientos milímetros)
- ✓ Cota nivel de abatimiento: 3121.76 msnm (tres mil ciento veinte uno con 76/100 metros sobre el nivel del mar)
- ✓ Numero de bombas operando: 02 bombas
- ✓ Caudal de producción: 473.28 l/s (cuatrocientos setenta y tres con 28 / 100 litros / segundo)

❖ ESTACIÓN DE BOMBEO 02: RUMICOLCA

- ✓ Longitud de la tubería: 24'988.70 m (veinte cuatro mil novecientos ochenta y ocho con 70/100 metros)
- ✓ Diámetro nominal de tubería de impulsión: : 700 mm (setecientos milímetros)
- ✓ Cota nivel mínimo de tanque cisterna: 3142.39 msnm (tres mil ciento cuarenta y dos con 39/100 metros sobre el nivel del mar)
- ✓ Cota nivel de ingreso: 3142.39 msnm (tres mil cuarenta y dos con 39/100 metros sobre el nivel del mar)
- ✓ Numero de bombas operando: 01 bomba
- ✓ Caudal de producción: 430.00 l/s (cuatrocientos treinta con 00 / 100 litros / segundo)

❖ ESTACIÓN DE BOMBEO 03: COLLANA

- ✓ Longitud de la tubería: 4'059.00 m (Cuatro mil cincuenta y nueve con 00/100 metros)
- ✓ Diámetro nominal de tubería de impulsión: : 700 mm (setecientos milímetros)
- ✓ Cota nivel mínimo de tanque cisterna: 3261.98 msnm (tres mil doscientos sesenta y uno con 98/100 metros sobre el nivel del mar)
- ✓ Cota nivel de ingreso: 3267.48 msnm (tres mil doscientos sesenta y siete con 48/100 metros sobre el nivel del mar)

- ✓ Numero de bombas operando: 01 bomba
- ✓ Caudal de producción: 420.00 l/s (cuatrocientos veinte con 00 / 100 litros / segundo)

❖ **RESERVORIO R12 - LARAPA:**

- ✓ Cota de llegada de aguas: 3473.74 msnm (tres mil cuatrocientos setenta y tres con 74 / 100 metros sobre el nivel del mar)

5.2.1.2 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO INTERIOR DE TUBERÍA.

- ❖ Según el siguiente cuadro se puede determinar el diámetro interno de la tubería con la finalidad de estimar el comportamiento hidráulico del bombeo

TABLA N° 18 : CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS POR DIÁMETRO NOMINAL DE TUBERÍA HIERRO DÚCTIL

	DE (mm)	Espesor	Espesor Recubrimiento	DI (mm)
DN (mm)	Diametro Exterior	(mm)	(mm)	Diametro interior
200	222	4.7	5	202.6
250	274	5.5	5	253
300	326	6.2	5	303.6
350	378	6.4	5	355.2
400	429	6.5	5	406
500	532	7.5	5	507
600	635	8.7	6	605.6
700	738	8.8	6	708.4
800	842	9.6	6	810.8
900	945	10.6	6	911.8
1000	1048	11.6	6	1012.8

Fuente: Dimensiones De Tuberías Hierro Dúctil De Junta Tipo T Push On Clase C (Iso 2531:2009)

- ✓ Diámetro nominal línea de impulsión: 700 mm

- ✓ Diámetro exterior = 738 mm
- ✓ Espesor: 8.8 mm

Diametro Interior = Diametro Exterior – 2 * (Espesor De Tuberia + Recubrimiento)

$$\text{Diametro Interior} = 738.00 \text{ mm} - 2 * (8.8 \text{ mm} + 6.0 \text{ mm})$$

$$\text{Diametro Interior} = 708.40 \text{ mm}$$

Diametro interior de tubería de descarga est. Bombeo Pinipampa :

Diametro Interior = Diametro Exterior – 2 * (Espesor De Tuberia + Recubrimiento)

$$\text{Diametro Interior} = 350 \text{ Mm} - 2 * (6.4 \text{ mm} + 5.0 \text{ mm})$$

$$\text{Diametro Interior} = 327.20 \text{ mm}$$

5.2.1.3 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “C” DE HAZZEN Y WILLIAMS – EN CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN.

Del análisis de calidad de agua de los 04 pozos del sistema de abastecimiento Vilcanota de la estación de bombeo 01 de Pinipampa, se puede estimar los valores promedio anuales tal como se muestra en la siguiente tabla

TABLA N° 19 : VALOR PROMEDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO VILCANOTA – ESTACIÓN DE BOMBEO 01

Descripción	Temperatura Media Anual (°C)	PH Media Anual	Dureza Media Anual (mg/l)	Alcalinidad Media Anual (mg/l)	Conductividad Media Anual (µS/cm)
POZO 01	14.7	7.7	460	191.9	1.23750
POZO 02	14.3	7.7	465.1	189.6	1.29720
POZO 03	14.8	7.7	446.1	193.2	1.14540
POZO 04	15	7.7	429.1	189.7	1.08730
PROMEDIO	14.7	7.7	450.075	191.1	1.19185

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, teniendo como referencia la tabla del Índice de Langelier de la Empresa LENNTECH, se puede interpolar los parámetros TH, HF y AF, necesarios para poder caracterizar la agresividad de las aguas de producción frente a la tubería de impulsión.

TABLA N° 20 : VALORES TF, HF, AF, PARA CALCULO DE INDICE DE LANGELIER.

Temperatura		Dureza		Alcalinidad	
C	TF	ppm	HF	ppm	AF
0	0,0	5	0,7	5	0,7
4	0,1	25	1,4	25	1,4
8	0,2	50	1,7	50	1,7
12	0,3	75	1,9	75	1,9
16	0,4	100	2,0	100	2,0
20	0,5	150	2,2	150	2,2
24	0,6	200	2,3	200	2,3
28	0,7	250	2,4	250	2,4
32	0,7	300	2,5	300	2,5
36	0,8	400	2,6	400	2,6
40	0,9	500	2,7	500	2,7
50	1,0	1000	3,0	1000	3,0

Fuente: LENNTECH - Caracterización de las aguas

VALORES DE INTERPOLACIÓN	
TF	0.3675
PH	7.7
HF	2.6501
AF	2.2822



De la formula podemos reemplazar:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{TF+Ph+HF+AF-12.5} \\
 & = \mathbf{0.3675 + 7.70 + 2.6501 + 2.2822 -12.5} \\
 & \rightarrow \mathbf{I L= 0.4998 \approx 0.50}
 \end{aligned}$$

También se puede realizar la comprobación de los resultados con el programa de la empresa LENNTECH de la página recuperada del 11//10/2022 <http://www.lenntech.es/calculadoras/langelier/langelier.htm>

Donde podemos apreciar los mismos resultados:

TABLA N° 21 : INTRODUCCIÓN DE DATOS PARA CALCULO DE ÍNDICE DE LANGELIER.

pH	7.77	
Conductividad en SDT	1.191	microS/cm
[Ca ²⁺]	156.5	mg/L
[HCO ₃]	148.86	mg/L
Temperatura agua	14.7	grados °C

Fuente: LENNTECH - Caracterización de las aguas

TABLA N° 22 : TABLA 03 RESULTADOS DEL ÍNDICE DE SATURACIÓN LANGELIER.

pH _s	7.3
LSI	0.50
Indicación basada en Langelier (1936)	Water is supersaturated with respect to calcium carbonate (CaCO ₃) and scale forming may occur.
Indicación basada en Langelier mejorado por Carrier (1965)	Slightly scale forming and corrosive.
La fórmula del Índice de Saturación Langelier es: $LSI = pH - pH_s$	

El agua está sobresaturada con respecto al carbonato de calcio (CaCO₃) y la escala de formación puede ocurrir .

Escala de Formación ligera y corrosiva

Fuente: LENNTECH - Caracterización de las aguas

Entonces de la siguiente tabla de la empresa LENNTECH:

TABLA N° 23 : CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS CON ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER.

ISL	Indicación
ISL < 0	Agua no saturada con respecto a carbonato cálcico (CaCO_3). El agua no saturada posee la tendencia de eliminar láminas de carbonato cálcico (CaCO_3) presentes que protegen las tuberías y equipos.
ISL = 0	Agua considerada neutral. No existe formación de incrustaciones ni eliminación de las mismas.
ISL > 0	Agua supersaturada con respecto a carbonato cálcico (CaCO_3). Posible formación de incrustaciones.

Fuente: LENNTECH - Caracterización de las aguas

Podemos caracterizar el agua impulsada por el Sistema de Bombeo Vilcanota y por su naturaleza es propensa a formar incrustaciones por alto grado de dureza, que origina la variación del coeficiente de rugosidad de la tubería; prueba de esto es las tuberías de hierro dúctil recubiertas que se presentan a continuación:



Figura 45 : *Incrustación en tuberías de hierro dúctil recubierto, sistema de bombeo Pinipampa (Elaboración Propia)*

Ahora con este factor podemos calcular el factor de proporcionalidad para la fórmula de LAMONT y poder determinar posteriormente el coeficiente de Rugosidad C de Hazen y Willians

TABLA N° 24 : VALOR DE PROPORCIONALIDAD SEGÚN LA CALIDAD DEL AGUA

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA Y SU RELACION CON α [116]

GRUPO	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	VALORES DE α (mm/año)		
		Mínimo	Medio	Máximo
1	Agua poco mineralizadas, no agresivas, poco contenido de minerales y de materia orgánica	0,005	0,025	0,055
2	Agua poco mineralizadas pero corrosivas (pH reducido), de contenido de hierro y materia orgánica inferior a 3 mg/l	0,055	0,070	0,180
3	Agua muy corrosiva (pH muy bajo), con contenido de cloruros y sulfatos menores de 150 mg/l y hierro superior a 3 mg/l	0,180	0,200	0,400
4	Agua corrosivas (pH reducido) con contenido de cloruros y sulfatos entre 500 y 700 mg/l y considerable materia orgánica	0,400	0,510	0,800
5	Agua muy mineralizadas, de gran dureza, pH superior a 7, residuo sólido superior a 2000 mg/l	0,800	0,700	1,000

Fuente: Tuberías a Presión en Sistemas de Abastecimiento de Agua – “Manuel Vicente Mendez”

De la tabla adoptamos el valor de 0.200 como valor de proporcionalidad para reemplazar en la formula.

$$X = \frac{(Ks_0 + \alpha t)}{D}$$

Dónde:

K_0 = Rugosidad inicial

D = Diámetro de la tubería en mm

α = coeficiente de proporcionalidad

TABLA N° 25 : RUGOSIDAD INICIAL EQUIVALENTE EN TUBERÍAS SEGÚN LAMONT

RUGOSIDAD EQUIVALENTE DE TUBERIAS COMERCIALES SEGUN LAMONT [108]

CLASE DE TUBERIAS	Rugosidad Equivalente (Tuberías nuevas,mm)	
	VALOR MEDIO	VALOR DE DISEÑO RECOMENDADO
Hierro Fundido sin Recubrimiento interno	0,226	0,250
Hierro Fundido con Recubrimiento Interno liso	0,102	0,125
Hierro Fundido Centrifugado con Recubrimiento Interno	0,056	0,050
Hierro Galvanizado	0,102	0,125
Acero sin Recubrimiento Interno	0,028	0,040
Acero con Recubrimiento Interno liso	0,046	0,050
Asbesto-Cemento sin Recubrimiento Interno	0,028	0,040
Asbesto-Cemento con Recubrimiento Interno	Liso k ≈ 0	
Policloruro de Vinilo (PVC)	Liso k ≈ 0	
Concreto	0,030	0,040

Fuente: Tuberías a Presión en Sistemas de Abastecimiento de Agua – “Manuel Vicente Mendez”

Reemplazando en la ecuación de Manuel Vicente Mendez, “Tuberías a Presión en Sistema de Abastecimiento de Agua”, se obtiene:

:

$$X = \frac{(Ks_0 + a t)}{D} = \frac{(0.125 + 0.2 * 15 \text{ años de funcionamiento})}{700 \text{ mm de diametro}}$$

$$X = 4.4643 * 10^{-3}$$

Donde el valor de x se puede presentar en las siguientes ecuaciones:

COLEBROOK-WHITE

$$C = 18,0 - 37,2 \log (X) = 18,0 - 37,2 \log (0.02718)$$

$$\Rightarrow C=105.429 \approx 105$$

SWAMEE- JAIN

$$C = 33,3 |\log (0,27 X)|^{1,08} = 33,3 |\log (0,27 * 4.4643 * 10^{-3})|^{1,08}$$

$$\rightarrow C=105.8956 \approx 106$$

Adoptamos el valor más crítico para este cálculo que vendría a ser $C = 105$, como valor para el coeficiente de rugosidad C de Hazen y Williams verdadero para poder realizar los cálculos de pérdida de carga en la línea de impulsión.

5.2.1.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE PRODUCCIÓN EN CONDICIONES ACTUALES Y DE CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO.

Según las mediciones en campo versus, la lectura de Parámetros Hidráulicos de la instrumentación en cada estación de bombeo se puede obtener los siguientes factores de corrección, donde se pudo obtener los siguientes caudales de producción promedio

TABLA N° 26 : MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DE CAUDALES - ESTACIÓN DE BOMBEO 01 – PINIPAMPA

ESTACIÓN DE BOMBEO 01 : PINIPAMPA			
N° de Bombas	Q medido (Litros / Segundo)	Q corregido (Litros / Segundo)	Factor de Corrección F. C.
1 bomba	262.00	250.00	0.95
2 bomba	496.00	473.28	
3 bomba	704.00	671.76	
4 bomba	813.00	775.76	
Caudal con 02 bombas (Producción Actual)			473.28 l/s
Caudal con 04 bombas (Producción Máxima)			775.76 l/s

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 27 : MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DE CAUDALES – ESTACIÓN DE BOMBEO 02 – RUMICOLCA

ESTACIÓN DE BOMBEO 02 : RUMICOLCA			
N° de Bombas	Q medido (Litros / Segundo)	Q corregido (Litros / Segundo)	Factor de Corrección F. C.
1 bomba	441.00	430.00	0.98
2 bomba	696.00	678.64	
Caudal con 01 bomba (Producción Actual)			430.00 l/s
Caudal con 02 bombas (Producción Máxima)			678.64 l/s

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 28 : MEDICIÓN Y CORRECCIÓN DE CAUDALES – ESTACIÓN DE BOMBEO 03 – COLLANA

ESTACIÓN DE BOMBEO 03 : COLLANA			
N° de Bombas	Q medido (Litros / Segundo)	Q corregido (Litros / Segundo)	Factor de Corrección F. C.
1 bomba	430.00	420.00	0.98
2 bomba	786.00	767.72	
Caudal con 01 bomba (Producción Actual)			420.00 l/s
Caudal con 02 bombas (Producción Máxima)			767.72 l/s

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN CONDICIONES ACTUALES

Habiendo determinado y analizado la información de entrada para la estimación de la pérdida de carga del sistema de bombeo, se puede analizar el comportamiento hidráulico mediante la aplicación de la fórmula de Hazzen y Williams.

$$Q = 0.2785 * C * D^{2.63} * S^{0.54}$$

Dónde:

Q = Caudal de Producción (Metro Cubico / Segundo)

C = Coeficiente de Rugosidad de La tubería

D = Diámetro de Tubería (Metros)

S = pérdida de carga (metro / metro)

TABLA N° 29 : CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR TRAMOS – ESCENARIO 1 (CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO)

TRAMO	DESCRIPCION	LONG. L (m)	DIAMETRO mm.	COTA DEL TERRENO		COEF RUGOCIDAD © - PARA TUBERIA ANTIGÜEDAD >20 AÑOS	DESNIVEL DE TERRENO (m)	CAUDAL Ips Q Producción Maxima (l/s)	PERDIDA DE CARGA CALCULADA hF (m/m)	VELOC V (m/s)	COTA LINEA DE GRADIENTE			PRESION FINAL (m)
				INICIAL (m.s.n.m)	FINAL (m.s.n.m)						INICIAL (m.s.n.m)	Perdida de carga del tramo	FINAL (m.s.n.m)	
1	Piñipampa a Rumicolca (2 Bombas)	2607.00	708.4	3121.76	3147.89	105	-26.13	473.28	0.003	1.20	3163.76	6.74	3157.02	9.13
2	Rumi a Collana (1 Bomba)	24988.70	708.4	3142.39	3267.48	105	-125.09	430.00	0.002	1.09	3342.39	54.12	3288.27	20.79
3	Collana - R-12 (1 Bombas)	4059.00	708.4	3261.98	3473.74	105	-211.755	420.00	0.002	1.07	3488.98	8.42	3480.56	6.83
TOTAL		31654.70												

ADT		POTENCIA		CUMPLE POTENCIA
ADT CALCULADO	ADT DE BOMBAS EXISTENTES	POTENCIA REQUERIDA (HP)	POTENCIA EXISTENTE (HP)	
32.87	42.00	257.69	300.00	SI
179.21	200.00	1,276.34	1,200.00	SI
220.17	227.00	1,531.62	1,600.00	SI

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 30 : CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR TRAMOS – ESCENARIO 2 (CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN)

TRAMO	DESCRIPCION	LONG. L (m)	DIAMETRO mm.	COTA DEL TERRENO		COEF RUGOSIDAD © - PARA TUBERIA ANTIGÜEDAD >20 AÑOS	DESNIVEL DE TERRENO (m)	CAUDAL Ips Q Producción Maxima (l/s)	PERDIDA DE CARGA CALCULADA hF (m/m)	VELOC V (m/s)	COTA LINEA DE GRADIENTE			PRESION FINAL (m)
				INICIAL (m.s.n.m)	FINAL (m.s.n.m)						INICIAL (m.s.n.m)	Perdida de carga del tramo	FINAL (m.s.n.m)	
1	Piñipampa a Rumicolca (4 Bombas)	2,607.00	708.40	3,121.76	3,147.89	105.00	-26.13	775.76	0.01	1.97	3,163.76	16.84	3,146.92	-0.97
2	Rumi a Collana (2 Bombas)	24,988.70	708.40	3,142.39	3,267.48	105.00	-125.09	678.64	0.01	1.72	3,342.39	125.99	3,216.40	-51.08
3	Collana - R-12 (2 Bombas)	4,059.00	708.40	3,261.98	3,473.74	105.00	-211.76	767.72	0.01	1.95	3,488.98	25.72	3,463.26	-10.47
TOTAL		31654.70												

ADT		POTENCIA		CUMPLE POTENCIA
ADT CALCULADO	ADT DE BOMBAS EXISTENTES	POTENCIA REQUERIDA (HP)	POTENCIA EXISTENTE (HP)	
42.97	42.00	552.10	600.00	SI
251.08	200.00	2,822.20	2,400.00	SI
237.47	227.00	3,019.64	3,200.00	SI

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 ESTIMACIÓN DEL FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE

Este fenómeno ocurre cuando la fuerza que impulsa la columna de agua en la línea de Impulsión se interrumpe repentinamente o como un golpe debido al cierre rápido de las válvulas de control de flujo en la salida de las paredes y accesorios de la tubería.

Para este cálculo se van a tomar los siguientes tramos de tubería:

- **TRAMO PINIPAMPA RUMICOLCA**

2,607.00 metros de tubería F°F° dúctil DN 700 mm Y 708.40 mm de diámetro interior.

- **TRAMO RUMICOLCA COLLANA**

24,988.70 metros de tubería F°F° dúctil DN 700 mm Y 708.40 mm de diámetro interior.

- **TRAMO COLLANA R12**

4,059.00 metros de tubería F°F° dúctil DN 700 mm Y 708.40 mm de diámetro interior.

Si la tubería consta de secciones de tubería con diferentes propiedades (diámetro, espesor, relieve, material, etc.), la celeridad de onda promedio se calcula como un promedio ponderado de las celeridades de cada sección. Si L_1, L_2, L_3, \dots son las longitudes de las secciones con diferentes propiedades y a_1, a_2, a_3, \dots son sus respectivas celeridades, entonces se obtiene el tiempo total que la onda recorre la tubería, L/a , es la suma de cada tiempo parcial calculado y/o estimado.

$$\frac{L}{a} = \frac{L_1}{a_1} + \frac{L_2}{a_2} + \frac{L_3}{a_3} + \dots \quad \text{Luego } a = \frac{L}{\sum \frac{L_i}{a_i}}$$

CALCULO DE GOLPE DE ARIETE

TRAMO 01 : LÍNEA DE IMPULSIÓN PINIPAMPA A RUMICOLCA

ESCENARIO 01 : CONDICIONES ACTUALES DE EXPLOTACIÓN

1.- PARÁMETROS DE DISEÑO:

- Caudal de bombeo : 473.28 litros/segundo
- Altura estatica: 26.13 m
- Altura dinamica total : 32.87 m
- Longitud de la linea de impulsión : 2607 m
- Coeficiente de rugosidad calculado hw : 105
- Diametro nominal tubería : 700 mm
- Diametro exterior: 738 mm
- Diametro interior: 708.40 mm
- Espesor de tubería : 8.80 mm (catalogo fabricante)
- Velocidad del fluido : 1.20 m/ s
- Constante de gravedad : 9.81 m/ s²
- Material de la tubería : hierro ductil

2.- CÁLCULO DE CELERIDAD DE ONDA DE PRESIÓN ESTA DADO POR:

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{K * Di}{E * e}\right)}}$$

Dónde:

A= Velocidad de la onda de presión en m/s

K = 2.08 * 10⁰⁸ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= 1.70 * 10¹⁰ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.08 * 10^{08} * 708.40 \text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.8 \text{ mm}}\right)}}$$

$$a = 1022.09 \frac{m}{s}$$

3.- CÁLCULO DE CARGA DE PRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE POR:

A) GOLPE DE ARIETE Y/O PULSO DE ZHUJOVSKI.

$$h_{golpe} = 14.7 * V * \sqrt{1 + \frac{K * D_i}{E * e}}$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

D_i = 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E = $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e = 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 14.7 * 1.20 * \sqrt{1 + \frac{2.08 * 10^{08} * 708.40\text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.80\text{ mm}}}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 24.87 \frac{kg}{cm^2}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 248.7\text{ m. c. a}$$

B) GOLPE DE ARIETE SEGÚN MICHAUD - ALLIEVI

❖ CÁLCULOS PRELIMINARES

Tiempo de parada de la Bomba (Mendiluce)

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

Donde :

C = Coeficiente de Pendiente Hidráulica- Según Mendiluce

K = Coeficiente de Longitud De Tubería

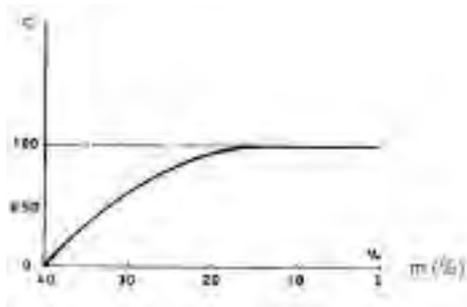
L = 2607 m Longitud de Conducción

V = 1.20 m/s Velocidad del Agua

g = 9.81 m/s² Aceleración De La Gravedad

H_m = 32.87 Altura Dinámica Total

VALORES C SEGÚN MENDILUCE



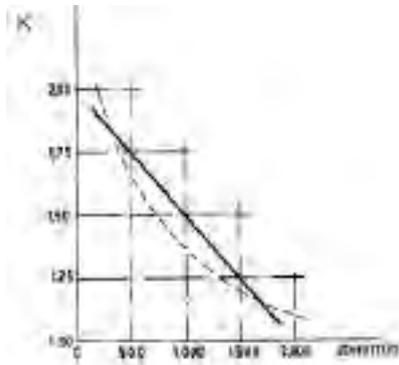
$$\frac{H_m}{L} < 0.20 \rightarrow C = 1$$

$$\frac{H_m}{L} \geq 0.40 \rightarrow C = 0$$

$$\frac{H_m}{L} \geq 0.30 \rightarrow C = 0.60$$

Del grafico $H_m/L = 0.01 \rightarrow C = 1.00$

VALORES K SEGÚN MENDILUCE



L	K
L < 500	2
L = 500	1.75
500 < L < 1500	1.5
L > 1500	1.25
L > 1500	1

Del grafico $L = 2607 \text{ m} \rightarrow C = 1.00$

Reemplazando en la fórmula de Mendiluce.

$$T = C + \frac{K * L * v}{g * H_m}$$

$$T = 1 + \frac{1 * 2607 * 1.20 \text{ m/s}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 32.87 \text{ m. c. a}}$$

Tiempo de parada de la bomba (T_p) = 10.71 segundo

Tiempo de propagación de la onda (T_c) – Tiempo Crítico

$$T_c = \frac{2 * l}{a}$$

Dónde :

L= 2607 m Longitud de Tubería de Impulsión

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

Reemplazando

$$T_c = \frac{2 \times 2607 \text{ m}}{1022.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_c = 5.10 \text{ segundos}$$

Determinación de la posibilidad del golpe de ariete en la Impulsión.

Siendo T_p = Tiempo de cierre de la válvula y/o parada de la bomba; por lo tanto del análisis comparativo se prevé:

$T_p \leq T_c$ Equivale a un **cierre instantáneo**, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir, tenemos un **cierre rápido**, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería, por lo tanto, se puede producir el golpe de ariete.

$T_p > T_c$ La onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos ante un **cierre lento** y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima; en consecuencia, no hay posibilidad del golpe de ariete.

Por lo tanto del análisis de ambos tiempos → **CIERRE LENTO**

Calculo de longitud crítica (Lc) .

$$L_c = \frac{a \cdot T_p}{2} \rightarrow \text{Formula de Michaud}$$

Dónde:

T_p = 10.70 s Tiempo de parada de la bomba.

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

$$L_c = \frac{1022.09 * 10.70}{2}$$

$$L_c = 5473.30 \text{ m}$$

Calculo de sobrepresión por golpe de ariete .

Para el cálculo de sobrepresión, se aplican las fórmulas de Michaud o de Allievi , según se cumplan las siguientes condiciones

$L < L_c$	impulsión corta	$T > \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$
$L > L_c$	impulsión larga	$T < \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre rápido	Allievi	$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$

Del análisis se opta por la fórmula de Michaud Vensano.

$$\Delta H = \frac{2 * L * v}{g * T}$$

$$\Delta H = \frac{2 * 2607m * 1.20 \text{ m/s}}{9.8 \frac{m}{s^2} * 10.712}$$

$$\Delta H = 59.6 \text{ m. c. a}$$

C) GOLPE DE ARIETE SEGÚN ABACO DE ALLIEVI

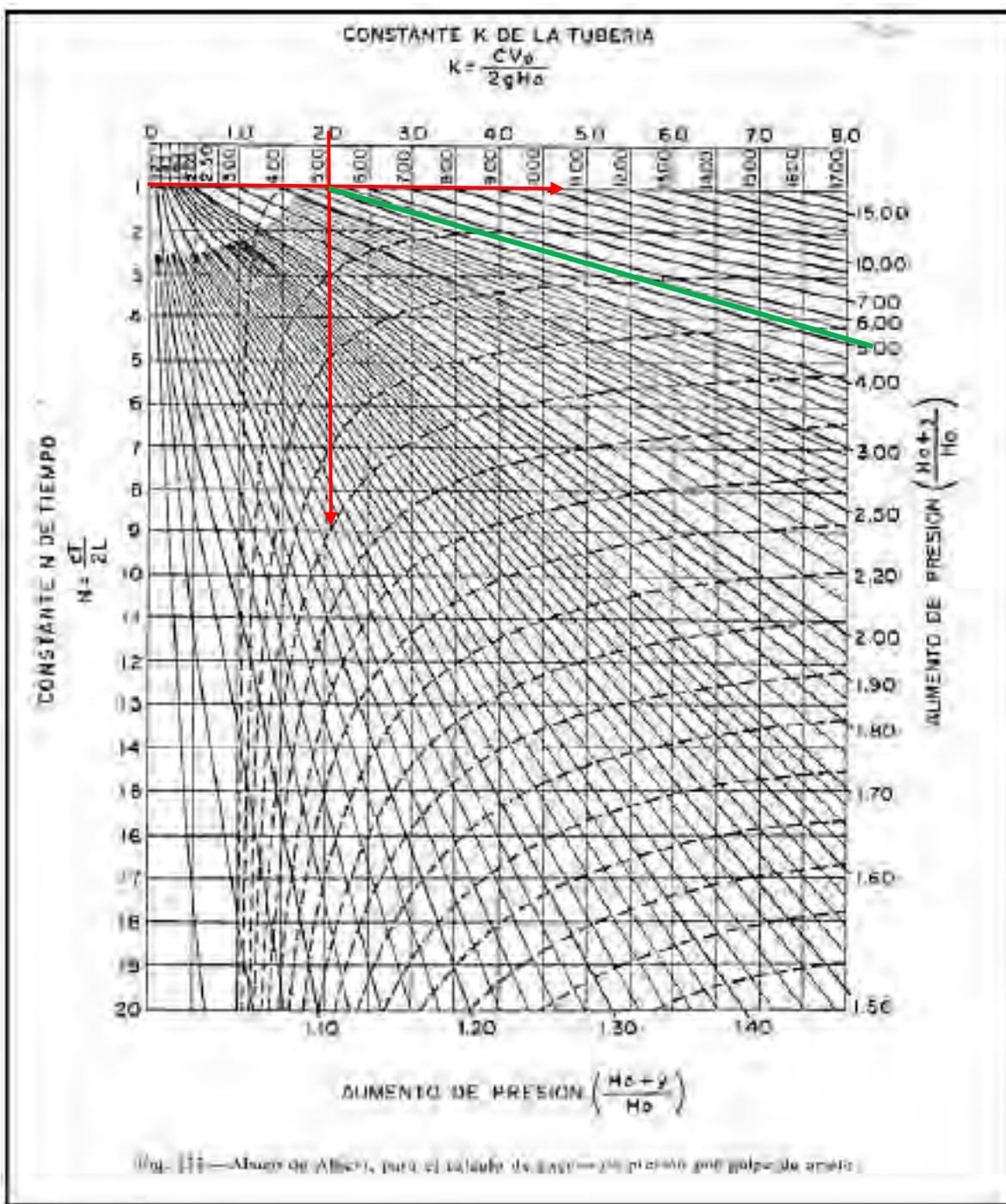


Figura 46 : Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

Del grafico se extrae:

$$N = \frac{a \cdot Tc}{2L} \text{ y } K = \frac{a \cdot V}{2g \cdot H}$$

Dónde:

- $a = 1022.09$ m/s celeridad de onda de presión
- $Tiempo\ crítico = 5.10$ seg
- $L = 2607$ m longitud de la línea de impulsión
- $V = 1.20$ m/seg velocidad del fluido
- $G = 9.81$ m/s² aceleración de la gravedad.
- $H = 32.87$ metros Altura dinámica total

$$N = 1.00$$

$$K = 1.90$$

POR LO TANTO DEL ABACO.

$$\frac{H_0 + Y}{H_0} = 5 \rightarrow Y = SOBRECARGA = 131.48 \text{ m.c.a}$$

D) CALCULO DE GOLPE DE ARIETE SEGÚN ECUACIÓN DE SPARRE.

$$h_a = \frac{2LV}{g t^2 \left(1 - \frac{LV}{2gTH}\right)}$$

Donde

L=	2,607.00	m	Longitud de línea
V=	1.20	m/seg	Velocidad del Flujo
g=	9.81	m/seg ²	aceleración de la gravedad
t=	5.10	seg	Tiempo Crítico
T=	10.71	seg	Tiempo de Parada
H=	32.87	m	Altura Dinamica Total

$$\Delta H = 114.41 \text{ m.c.a}$$

TRAMO 01 : LÍNEA DE IMPULSIÓN PINIPAMPA A RUMICOLCA

ESCENARIO 02 : CONDICIONES MAXIMAS DE EXPLOTACIÓN

1.- PARÁMETROS DE DISEÑO:

- Caudal de bombeo : 775.76 litros/segundo
- Altura estatica: 26.13 m
- Altura dinamica total : 42.97 m
- Longitud de la linea de impulsión : 2607 m
- Coeficiente de rugosidad calculado hw : 105
- Diametro nominal tubería : 700 mm
- Diametro exterior: 738 mm
- Diametro interior: 708.40 mm
- Espesor de tubería : 8.80 mm (catalogo fabricante)
- Velocidad del fluido : 1.97 m/ s
- Constante de gravedad : 9.81 m/ s²
- Material de la tubería : hierro ductil

2.- CÁLCULO DE CELERIDAD DE ONDA DE PRESIÓN ESTA DADO POR:

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{K * Di}{E * e}\right)}}$$

Dónde:

A= Velocidad de la onda de presión en m/s

K = 2.08 * 10⁰⁸ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= 1.70 * 10¹⁰ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.08 * 10^{08} * 708.40 \text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.8 \text{ mm}}\right)}}$$

$$a = 1022.09 \frac{m}{s}$$

3.- CÁLCULO DE CARGA DE PRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE POR:

A) GOLPE DE ARIETE Y/O PULSO DE ZHUJOVSKI.

$$h_{golpe} = 14.7 * V * \sqrt{1 + \frac{K * Di}{E * e}}$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 14.7 * 1.97 * \sqrt{1 + \frac{2.08 * 10^{08} * 708.40\text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.80\text{ mm}}}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 40.76 \frac{kg}{cm^2}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 407.64\text{ m. c. a}$$

B) GOLPE DE ARIETE SEGÚN MICHAUD - ALLIEVI

❖ CÁLCULOS PRELIMINARES

Tiempo de parada de la Bomba (Mendiluce)

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

Donde :

C= Coeficiente de Pendiente Hidráulica- Según Mendiluce

K= Coeficiente de Longitud De Tubería

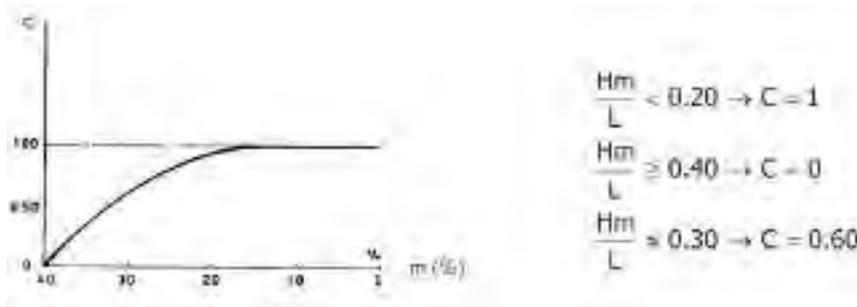
L=2607 m Longitud de Conducción

V= 1.97 m/s Velocidad del Agua

g= 9.81 m/s² Aceleración De La Gravedad

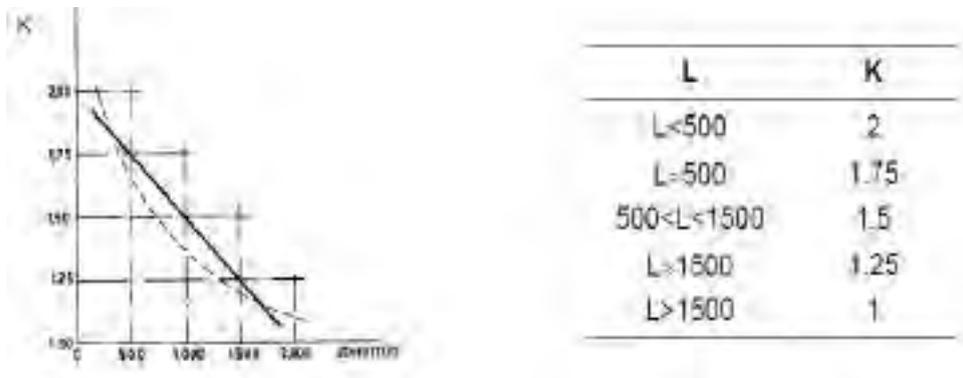
Hm= 42.97 Altura Dinámica Total

VALORES C SEGÚN MENDILUCE



Del grafico $Hm/L = 0.020 \rightarrow C = 1.00$

VALORES K SEGÚN MENDILUCE



Del grafico $L = 2607 \text{ m} \rightarrow C = 1.00$

Reemplazando en la fórmula de Mendiluce.

$$T = C + \frac{K * L * v}{g * H_m}$$

$$T = 1 + \frac{1 * 2607 * 1.97 \text{ m/s}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 42.97 \text{ m. c. a}}$$

Tiempo de parada de la bomba (T_p) = 13.17 segundo

Tiempo de propagación de la onda (T_c) – Tiempo Crítico

$$T_c = \frac{2 * l}{a}$$

Dónde :

L= 2607 m Longitud de Tubería de Impulsión

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

Reemplazando

$$T_c = \frac{2 \times 2607 \text{ m}}{1022.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_c = 5.10 \text{ segundos}$$

Determinación de la posibilidad del golpe de ariete en la Impulsión.

Siendo T_p = Tiempo de cierre de la válvula y/o parada de la bomba; por lo tanto del análisis comparativo se prevé:

$T_p \leq T_c$ Equivale a un **cierre instantáneo**, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir, tenemos un **cierre rápido**, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería, por lo tanto, se puede producir el golpe de ariete.

$T_p > T_c$ La onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos ante un **cierre lento** y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima; en consecuencia, no hay posibilidad del golpe de ariete.

Por lo tanto del análisis de ambos tiempos → **CIERRE LENTO**

Calculo de longitud crítica (Lc) .

$$L_c = \frac{a \cdot T_p}{2} \rightarrow \text{Formula de Michaud}$$

Dónde :

T_p = 13.20 s Tiempo de parada de la bomba.

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

$$L_c = \frac{1022.09 * 13.20}{2}$$

$$L_c = 6730.50 \text{ m}$$

Calculo de sobrepresión por golpe de ariete .

Para el cálculo de sobrepresión, se aplican las fórmulas de Michaud o de Allievi , según se cumplan las siguientes condiciones

$L < L_c$	impulsión corta	$T > \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$
$L > L_c$	impulsión larga	$T < \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre rápido	Allievi	$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$

Del análisis se opta por la fórmula de Michaud Vensano.

$$\Delta H = \frac{2 * L * v}{g * T}$$

$$\Delta H = \frac{2 * 2607m * 1.97 \text{ m/s}}{9.8 \frac{m}{s^2} * 13.20}$$

$$\Delta H = 79.40 \text{ m.c.a}$$

C) GOLPE DE ARIETE SEGÚN ABACO DE ALLIEVI

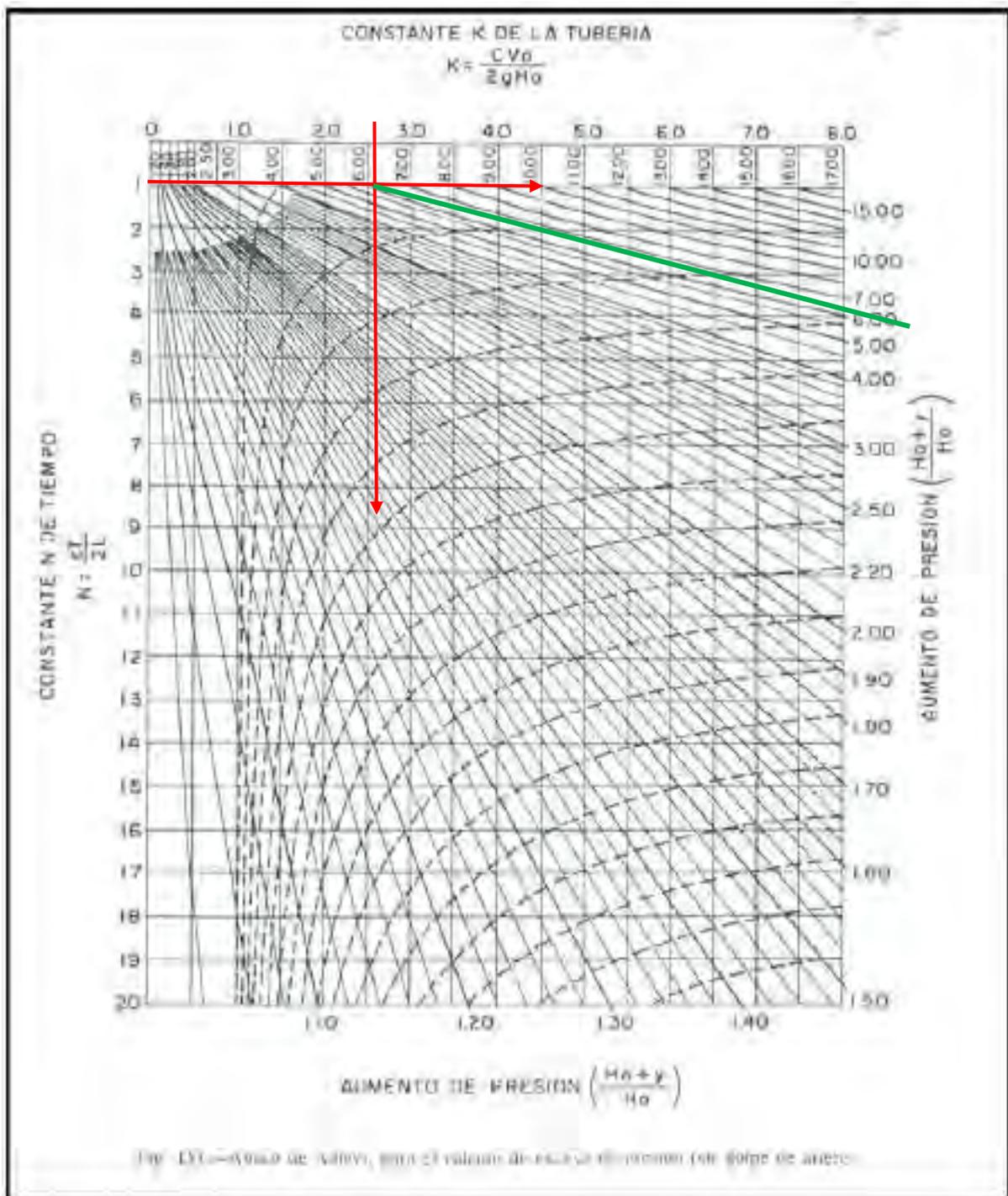


Figura 48 : Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007)

Del grafico se extrae:

$$N = \frac{a \cdot T_c}{2L} \text{ y } K = \frac{a \cdot V}{2g \cdot H}$$

Dónde:

- $a = 1022.09$ m/s celeridad de onda de presión
- $Tiempo\ crítico = 5.10$ seg
- $L = 2607$ m longitud de la línea de impulsión
- $V = 1.97$ m/seg velocidad del fluido
- $G = 9.81$ m/s² aceleración de la gravedad.
- $H = 42.97$ metros Altura dinámica total

$$N = 1.00$$

$$K = 2.39$$

POR LO TANTO DEL ABACO.

$$\frac{H_0 + Y}{H_0} = 6.20 \rightarrow Y = SOBRECARGA = 223.44 \text{ m.c.a}$$

D) CALCULO DE GOLPE DE ARIETE SEGÚN ECUACIÓN DE SPARRE.

$$h_a = \frac{2LV}{g t^2 \left(1 - \frac{LV}{2gTH}\right)}$$

Donde

L=	2,607.00	m	Longitud de línea
V=	1.97	m/seg	Velocidad del Flujo
g=	9.81	m/seg ²	aceleración de la gravedad
t=	5.10	seg	Tiempo Crítico
T=	13.17	seg	Tiempo de Parada
H=	42.97	m	Altura Dinamica Total

$$\Delta H = 190.63 \text{ m.c.a}$$

4.- ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE GOLPE DE ARIETE ASUMIDO :

RESUMEN DEL GOLPE DE ARIETE

Según Pulso de ZHUKOVSKI	407.64	mca
Según Michaud Vensano	79.40	mca
Según Esparre	190.63	mca
Según el grafico de ALLIEVI	223.44	

Sobrepresion adoptada AH= **407.64** mca

Altura Estática= He= 26.13 mca

PRESION POSITIVA FINAL
= **433.77** m
PRESION NEGATIVA
FINAL = -- 381.51 m

EL DIAGRAMA DE ENVOLVENTE SERA: .

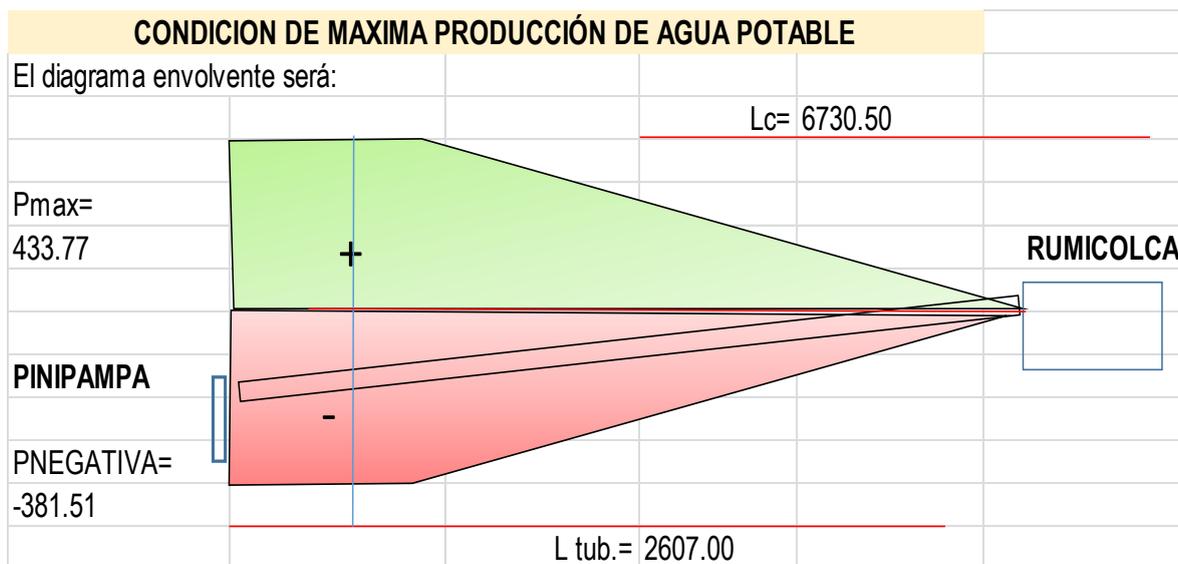


Figura 49 : Envolvente de presiones tramo Pinipampa –Rumicolca en máxima producción de agua potable (Elaboración Propia)

CALCULO DE GOLPE DE ARIETE

TRAMO 02 : LÍNEA DE RUMICOLCA A COLLANA

ESCENARIO 01 : CONDICIONES ACTUALES DE EXPLOTACIÓN

1.- PARÁMETROS DE DISEÑO:

- Caudal de bombeo : 430 litros/segundo
- Altura estatica: 125.09 m
- Altura dinamica total : 179.21 m
- Longitud de la linea de impulsión : 24988.70 m
- Coeficiente de rugosidad calculado hw : 105
- Diametro nominal tubería : 700 mm
- Diametro exterior: 738 mm
- Diametro interior: 708.40 mm
- Espesor de tubería : 8.80 mm (catalogo fabricante)
- Velocidad del fluido : 1.09 m/ s
- Constante de gravedad : 9.81 m/ s²
- Material de la tubería : hierro ductil

2.- CÁLCULO DE CELERIDAD DE ONDA DE PRESIÓN ESTA DADO POR:

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{K * Di}{E * e}\right)}}$$

Dónde:

A= Velocidad de la onda de presión en m/s

K = 2.08 * 10⁰⁸ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= 1.70 * 10¹⁰ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.08 * 10^{08} * 708.40 \text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.8 \text{ mm}}\right)}}$$

$$a = 1022.09 \frac{m}{s}$$

3.- CÁLCULO DE CARGA DE PRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE POR:

A) GOLPE DE ARIETE Y/O PULSO DE ZHUJOVSKI.

$$h_{golpe} = 14.7 * V * \sqrt{1 + \frac{K * Di}{E * e}}$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di = 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E = $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e = 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 14.7 * 1.09 * \sqrt{1 + \frac{2.08 * 10^{08} * 708.40\ mm}{1.70 * 10^{10} * 8.80\ mm}}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 22.60 \frac{kg}{cm^2}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 225.95\ m. c. a$$

B) GOLPE DE ARIETE SEGÚN MICHAUD - ALLIEVI

❖ CÁLCULOS PRELIMINARES

Tiempo de parada de la Bomba (Mendiluce)

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

Donde :

C = Coeficiente de Pendiente Hidráulica- Según Mendiluce

K = Coeficiente de Longitud De Tubería

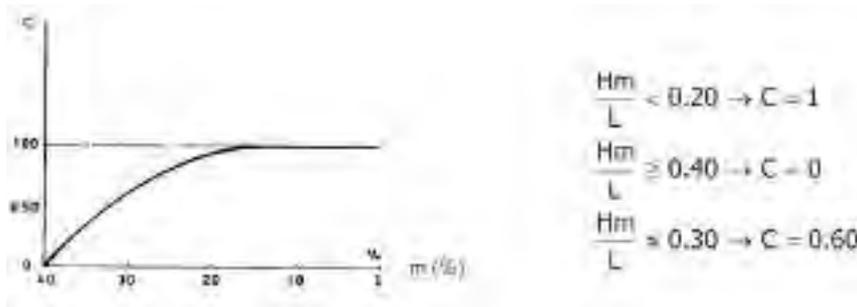
L = 24988.70 m Longitud de Conducción

V = 1.09 m/s Velocidad del Agua

g = 9.81 m/s² Aceleración De La Gravedad

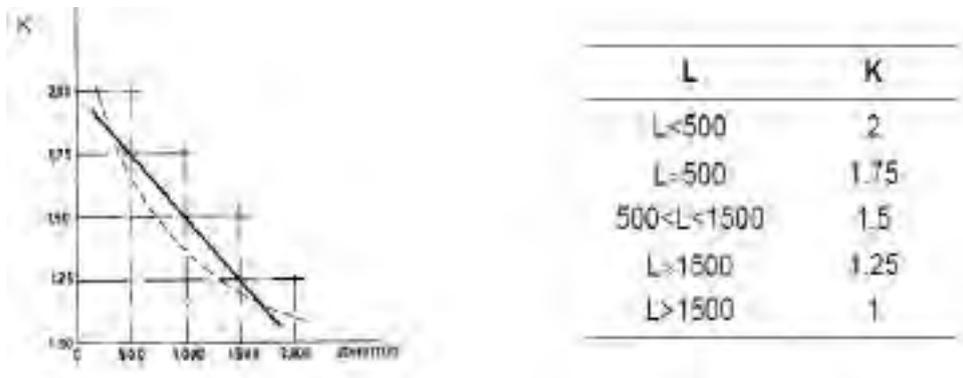
H_m = 179.21 Altura Dinámica Total

VALORES C SEGÚN MENDILUCE



Del grafico $Hm/L = 0.010 \rightarrow C = 1.00$

VALORES K SEGÚN MENDILUCE



Del grafico $L = 24988.70 \text{ m} \rightarrow C = 1.00$

Reemplazando en la fórmula de Mendiluce.

$$T = C + \frac{K * L * v}{g * H_m}$$

$$T = 1 + \frac{1 * 24988.70 * 1.09 \text{ m/s}}{9.81 \frac{m}{s^2} * 179.21 \text{ m.c.a}}$$

Tiempo de parada de la bomba (T_p) = 16.51 segundo

Tiempo de propagación de la onda (T_c) – Tiempo Crítico

$$T_c = \frac{2 * l}{a}$$

Dónde :

L= 24988.70 m Longitud de Tubería de Impulsión

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

Reemplazando

$$T_c = \frac{2 \times 24988.70 \text{ m}}{1022.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_c = 48.90 \text{ segundos}$$

Determinación de la posibilidad del golpe de ariete en la Impulsión.

Siendo T_p = Tiempo de cierre de la válvula y/o parada de la bomba; por lo tanto del análisis comparativo se prevé:

$T_p \leq T_c$ Equivale a un **cierre instantáneo**, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir, tenemos un **cierre rápido**, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería, por lo tanto, se puede producir el golpe de ariete.

$T_p > T_c$ La onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos ante un **cierre lento** y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima; en consecuencia, no hay posibilidad del golpe de ariete.

Por lo tanto del análisis de ambos tiempos → **CIERRE RAPIDO**

Calculo de longitud critica (Lc) .

$$L_c = \frac{a \cdot T_p}{2} \rightarrow \text{Formula de Michaud}$$

Dónde :

T_p = 16.50 s Tiempo de parada de la bomba.

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

$$L_c = \frac{1022.09 * 16.50}{2}$$

$$L_c = 8437.30 \text{ m}$$

Calculo de sobrepresión por golpe de ariete .

Para el cálculo de sobrepresión, se aplican las fórmulas de Michaud o de Allievi , según se cumplan las siguientes condiciones

$L < L_c$	impulsión corta	$T > \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$
$L > L_c$	impulsión larga	$T < \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre rápido	Allievi	$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$

Del análisis se opta por la fórmula de ALLIEVI.

$$\Delta H = \frac{a * v}{g}$$

$$\Delta H = \frac{1022.05 * 1.09}{9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\Delta H = 113.68 \text{ m. c. a}$$

C) GOLPE DE ARIETE SEGÚN ABACO DE ALLIEVI

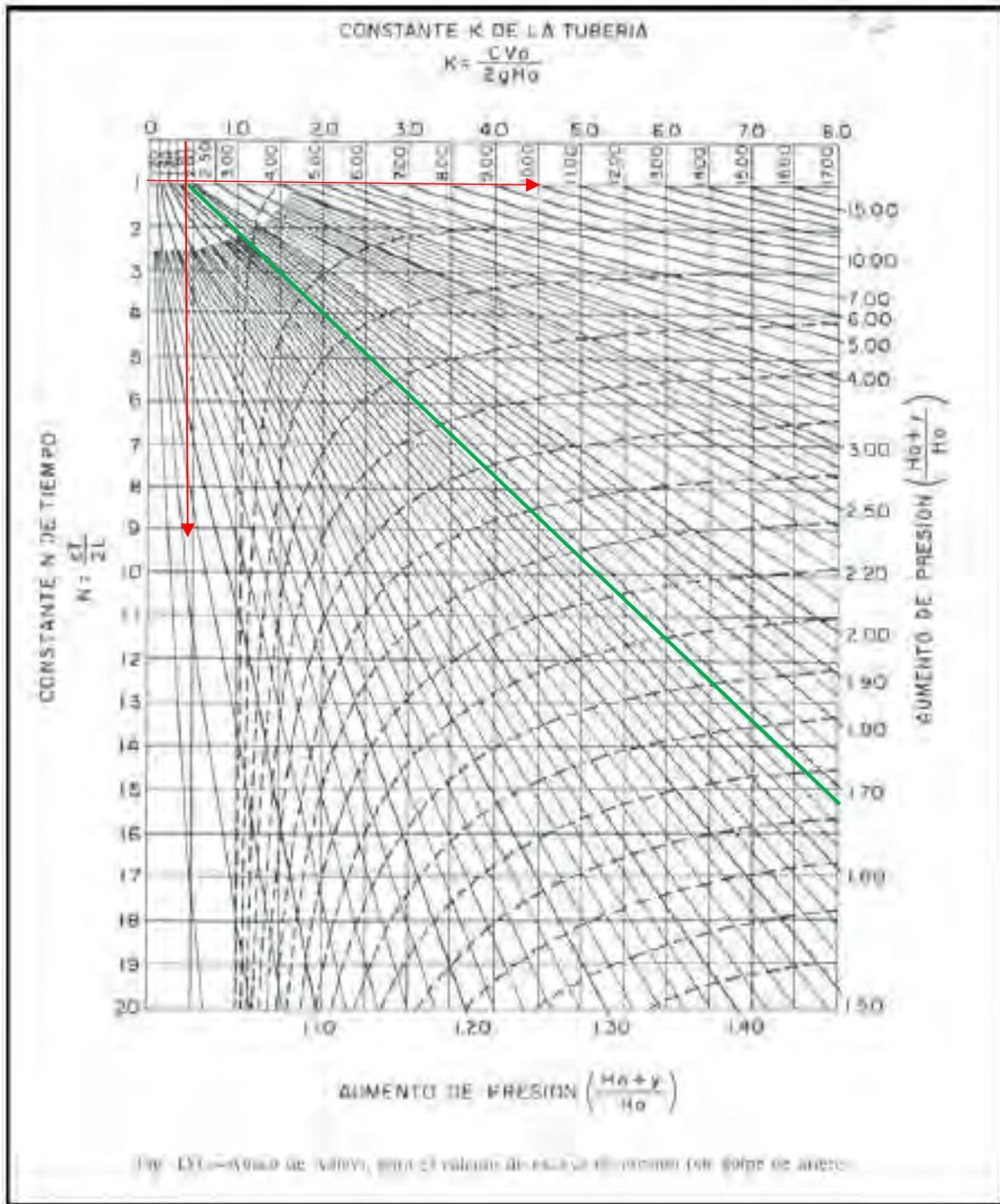


Figura 50 : Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007)

Del grafico se extrae:

$$N = \frac{a \cdot Tc}{2L} \text{ y } K = \frac{a \cdot V}{2g \cdot H}$$

Dónde:

- $a = 1022.09$ m/s celeridad de onda de presión
- $Tiempo\ crítico = 48.90$ seg
- $L = 24988.70$ m longitud de la línea de impulsión
- $V = 1.09$ m/seg velocidad del fluido
- $G = 9.81$ m/s² aceleración de la gravedad.
- $H = 179.21$ metros Altura dinámica total

$$N = 1.00$$

$$K = 0.317$$

POR LO TANTO DEL ABACO.

$$\frac{H_0 + Y}{H_0} = 1.69 \rightarrow Y = SOBRECARGA = 123.65 \text{ m.c.a}$$

D) CALCULO DE GOLPE DE ARIETE SEGÚN ECUACIÓN DE SPARRE.

$$h_a = \frac{2LV}{g t^2 \left(1 - \frac{LV}{2gTH}\right)}$$

Donde

L=	24988.70	m	Longitud de línea
V=	1.09	m/seg	Velocidad del Flujo
g=	9.81	m/seg ²	aceleración de la gravedad
t=	48.90	seg	Tiempo Crítico
T=	16.51	seg	Tiempo de Parada
H=	179.21	m	Altura Dinamica Total

$$\Delta H = 107.16 \text{ m.c.a}$$

4.- ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE GOLPE DE ARIETE ASUMIDO :

RESUMEN DEL GOLPE DE ARIETE

Según Pulso de ZHUKOVSKI	225.95	mca
Según ALLIEVI IMPULSIÓN LARGA	113.70	mca
Según Esparre	107.16	mca
Según el grafico de ALLIEVI	123.65	mca

Sobrepresion adoptada AH= **225.95** mca

Altura Estática= He= 125.09 mca

PRESION POSITIVA FINAL
 = **351.04** m
PRESION NEGATIVA
FINAL = -- 100.86 m

EL DIAGRAMA DE ENVOLVENTE SERA: .

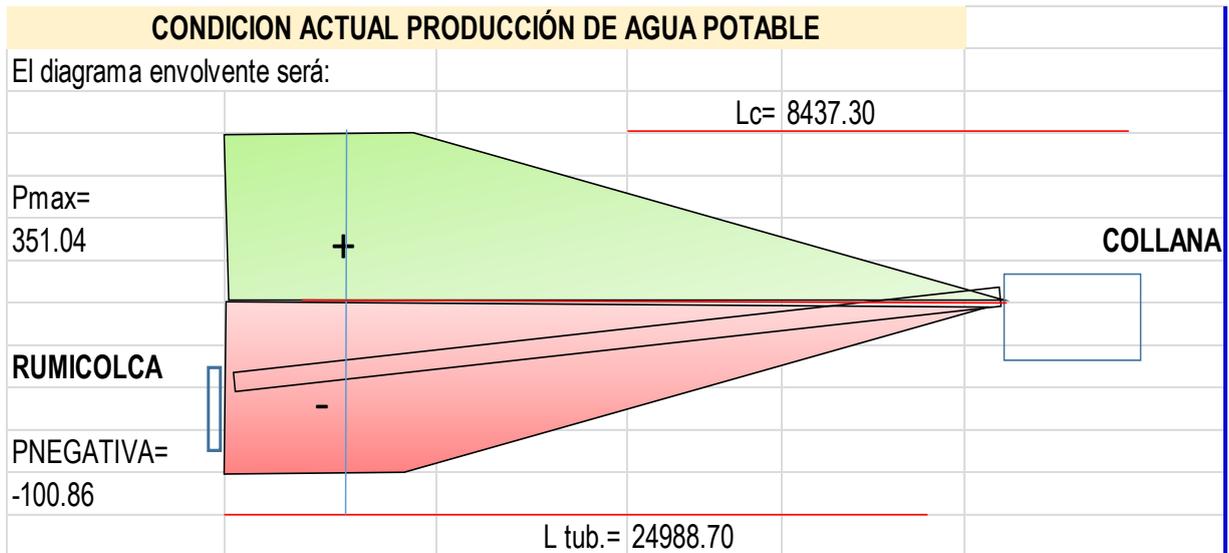


Figura 51 : Envolvente de presiones tramo Rumicolca- Collana en condiciones actuales de explotación (Elaboración Propia)

CALCULO DE GOLPE DE ARIETE

TRAMO 02 : LÍNEA DE RUMICOLCA A COLLANA

ESCENARIO 02 : CONDICIONES MAXIMAS DE EXPLOTACIÓN

1.- PARÁMETROS DE DISEÑO:

- Caudal de bombeo : 678.64 litros/segundo
- Altura estatica: 125.09 m
- Altura dinamica total : 251.08 m
- Longitud de la linea de impulsión : 24988.70 m
- Coeficiente de rugosidad calculado hw : 105
- Diametro nominal tubería : 700 mm
- Diametro exterior: 738 mm
- Diametro interior: 708.40 mm
- Espesor de tubería : 8.80 mm (catalogo fabricante)
- Velocidad del fluido : 1.72 m/ s
- Constante de gravedad : 9.81 m/ s²
- Material de la tubería : hierro ductil

2.- CÁLCULO DE CELERIDAD DE ONDA DE PRESIÓN ESTA DADO POR:

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{K * Di}{E * e}\right)}}$$

Dónde:

A= Velocidad de la onda de presión en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.08 * 10^{08} * 708.40 \text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.8 \text{ mm}}\right)}}$$

$$a = 1022.09 \frac{m}{s}$$

3.- CÁLCULO DE CARGA DE PRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE POR:

A) GOLPE DE ARIETE Y/O PULSO DE ZHUJOVSKI.

$$h_{golpe} = 14.7 * V * \sqrt{1 + \frac{K * Di}{E * e}}$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 14.7 * 1.72 * \sqrt{1 + \frac{2.08 * 10^{08} * 708.40\ mm}{1.70 * 10^{10} * 8.80\ mm}}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 35.66 \frac{kg}{cm^2}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 356.60\ m.c.a$$

B) GOLPE DE ARIETE SEGÚN MICHAUD - ALLIEVI

❖ CÁLCULOS PRELIMINARES

Tiempo de parada de la Bomba (Mendiluce)

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

Donde :

C= Coeficiente de Pendiente Hidráulica- Según Mendiluce

K= Coeficiente de Longitud De Tubería

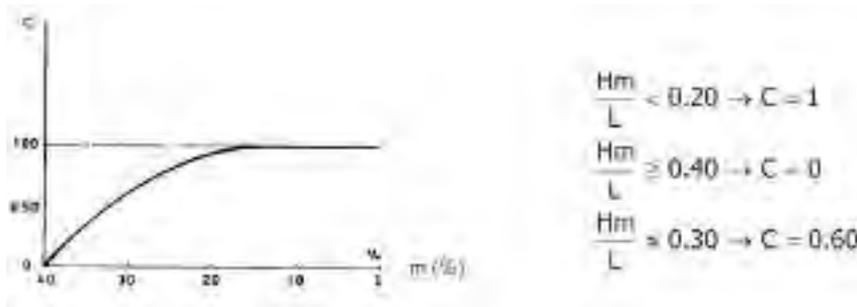
L=24988.70 m Longitud de Conducción

V= 1.72 m/s Velocidad del Agua

g= 9.81 m/s² Aceleración De La Gravedad

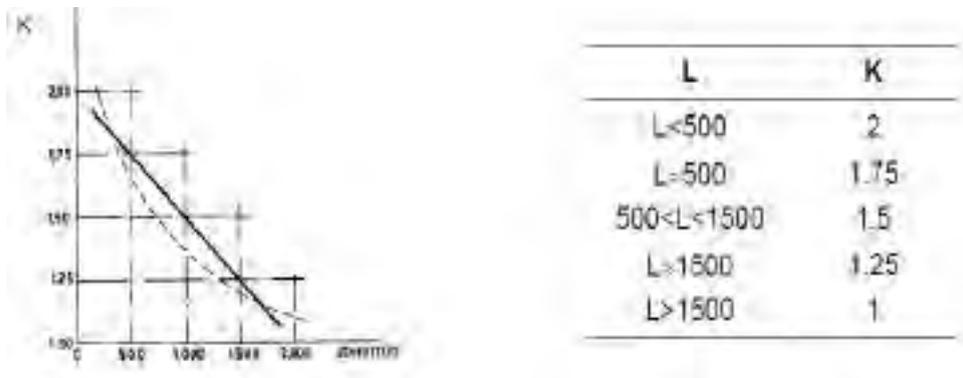
Hm= 251.08 Altura Dinámica Total

VALORES C SEGÚN MENDILUCE



Del grafico $Hm/L = 0.010 \rightarrow C = 1.00$

VALORES K SEGÚN MENDILUCE



Del grafico $L = 24988.70 \text{ m} \rightarrow C = 1.00$

Reemplazando en la fórmula de Mendiluce.

$$T = C + \frac{K * L * v}{g * H_m}$$

$$T = 1 + \frac{1 * 24988.70 * 1.72 \text{ m/s}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 251.08 \text{ m. c. a}}$$

Tiempo de parada de la bomba (T_p) = 18.47 segundo

Tiempo de propagación de la onda (T_c) – Tiempo Crítico

$$T_c = \frac{2 * l}{a}$$

Dónde :

L= 24988.70 m Longitud de Tubería de Impulsión

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

Reemplazando

$$T_c = \frac{2 \times 24988.70 \text{ m}}{1022.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_c = 48.90 \text{ segundos}$$

Determinación de la posibilidad del golpe de ariete en la Impulsión.

Siendo T_p = Tiempo de cierre de la válvula y/o parada de la bomba; por lo tanto del análisis comparativo se prevé:

$T_p \leq T_c$ Equivale a un **cierre instantáneo**, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir, tenemos un **cierre rápido**, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería, por lo tanto, se puede producir el golpe de ariete.

$T_p > T_c$ La onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos ante un **cierre lento** y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima; en consecuencia, no hay posibilidad del golpe de ariete.

Por lo tanto del análisis de ambos tiempos → **CIERRE RAPIDO**

Calculo de longitud crítica (Lc) .

$$L_c = \frac{a \cdot T_p}{2} \rightarrow \text{Formula de Michaud}$$

Dónde :

T_p = 18.50 s Tiempo de parada de la bomba.

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

$$L_c = \frac{1022.09 * 18.50}{2}$$

$$L_c = 9439.00 \text{ m}$$

Calculo de sobrepresión por golpe de ariete .

Para el cálculo de sobrepresión, se aplican las fórmulas de Michaud o de Allievi , según se cumplan las siguientes condiciones

$L < L_c$	impulsión corta	$T > \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$
$L > L_c$	impulsión larga	$T < \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre rápido	Allievi	$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$

Del análisis se opta por la fórmula de ALLIEVI.

$$\Delta H = \frac{a * v}{g}$$

$$\Delta H = \frac{1022.05 * 1.72}{9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\Delta H = 179.40 \text{ m. c. a}$$

Dónde:

- $a = 1022.09$ m/s celeridad de onda de presión
- $Tiempo\ crítico = 48.90$ seg
- $L = 24988.70$ m longitud de la línea de impulsión
- $V = 1.72$ m/seg velocidad del fluido
- $G = 9.81$ m/s² aceleración de la gravedad.
- $H = 251.08$ metros Altura dinámica total

$$N = 1.00$$

$$K = 0.357$$

POR LO TANTO DEL ABACO.

$$\frac{H_o + Y}{H_o} = 1.78 \rightarrow Y = SOBRECARGA = 195.84 \text{ m.c.a}$$

D) CALCULO DE GOLPE DE ARIETE SEGÚN ECUACIÓN DE SPARRE.

$$h_a = \frac{2LV}{g t^2 \left(1 - \frac{LV}{2gTH}\right)}$$

Donde

L=	24988.70	m	Longitud de línea
V=	1.72	m/seg	Velocidad del Flujo
g=	9.81	m/seg ²	aceleración de la gravedad
t=	48.90	seg	Tiempo Crítico
T=	18.47	seg	Tiempo de Parada
H=	251.08	m	Altura Dinamica Total

$$\Delta H = 170.17 \text{ m.c.a}$$

4.- ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE GOLPE DE ARIETE ASUMIDO :

RESUMEN DEL GOLPE DE ARIETE

Según Pulso de ZHUKOVSKI	356.60	mca
Según ALLIEVI IMPULSIÓN LARGA	179.40	mca
Según Esparre	170.17	mca
Según el grafico de ALLIEVI	195.84	mca

Sobrepresion adoptada AH= **356.60** mca

Altura Estática= He= 125.09 mca

PRESION POSITIVA FINAL
= **481.69** m
PRESION NEGATIVA
FINAL = -- 231.51 m

EL DIAGRAMA DE ENVOLVENTE SERA: .

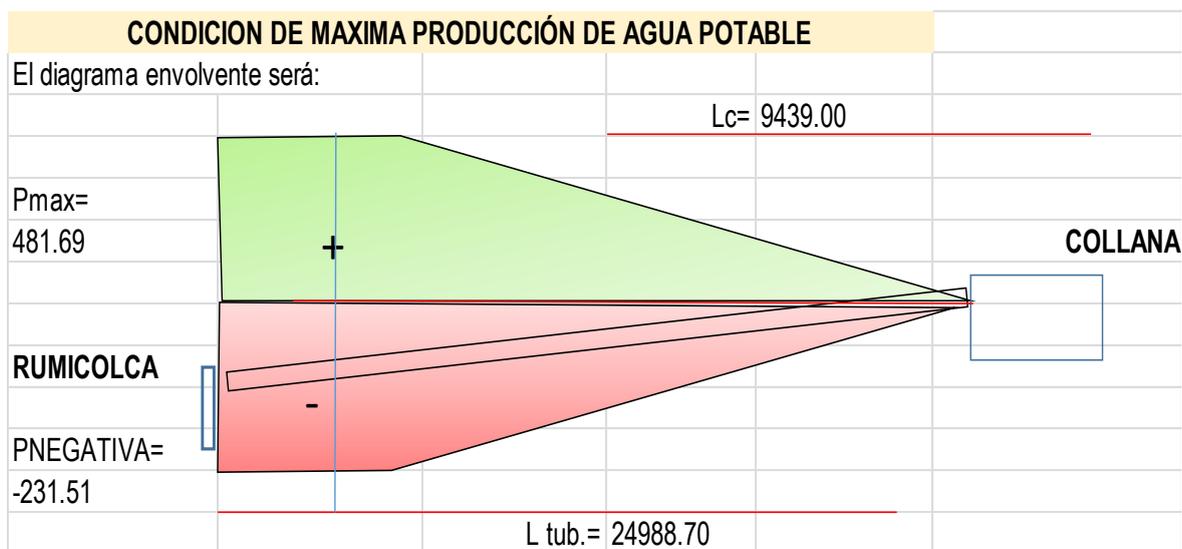


Figura 53 : Envolvente de presiones tramo Rumicolca- Collana en condiciones máximas de explotación (Elaboración Propia)

CALCULO DE GOLPE DE ARIETE

TRAMO 03 : LÍNEA DE COLLANA A RESERVORIO R12

ESCENARIO 01 : CONDICIONES ACTUALES DE EXPLOTACIÓN

1.- PARÁMETROS DE DISEÑO:

- Caudal de bombeo : 420 litros/segundo
- Altura estatica: 211.76 m
- Altura dinamica total : 220.17 m
- Longitud de la linea de impulsión : 4059 m
- Coeficiente de rugosidad calculado hw : 105
- Diametro nominal tubería : 700 mm
- Diametro exterior: 738 mm
- Diametro interior: 708.40 mm
- Espesor de tubería : 8.80 mm (catalogo fabricante)
- Velocidad del fluido : 1.07 m/ s
- Constante de gravedad : 9.81 m/ s²
- Material de la tubería : hierro ductil

2.- CÁLCULO DE CELERIDAD DE ONDA DE PRESIÓN ESTA DADO POR:

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{K * Di}{E * e}\right)}}$$

Dónde:

A= Velocidad de la onda de presión en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.08 * 10^{08} * 708.40 \text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.8 \text{ mm}}\right)}}$$

$$a = 1022.09 \frac{m}{s}$$

3.- CÁLCULO DE CARGA DE PRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE POR:

A) GOLPE DE ARIETE Y/O PULSO DE ZHUJOVSKI.

$$h_{golpe} = 14.7 * V * \sqrt{1 + \frac{K * Di}{E * e}}$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 14.7 * 1.07 * \sqrt{1 + \frac{2.08 * 10^{08} * 708.40\ mm}{1.70 * 10^{10} * 8.80\ mm}}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 22.07 \frac{kg}{cm^2}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 220.70\ m.c.a$$

B) GOLPE DE ARIETE SEGÚN MICHAUD - ALLIEVI

❖ CÁLCULOS PRELIMINARES

Tiempo de parada de la Bomba (Mendiluce)

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

Donde :

C= Coeficiente de Pendiente Hidráulica- Según Mendiluce

K= Coeficiente de Longitud De Tubería

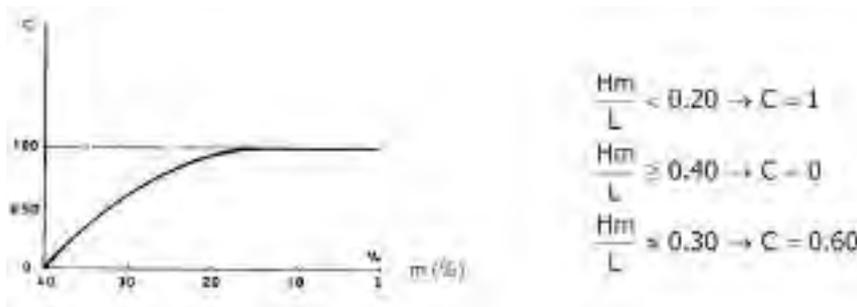
L= 4059 m Longitud de Conducción

V= 1.07 m/s Velocidad del Agua

g= 9.81 m/s² Aceleración De La Gravedad

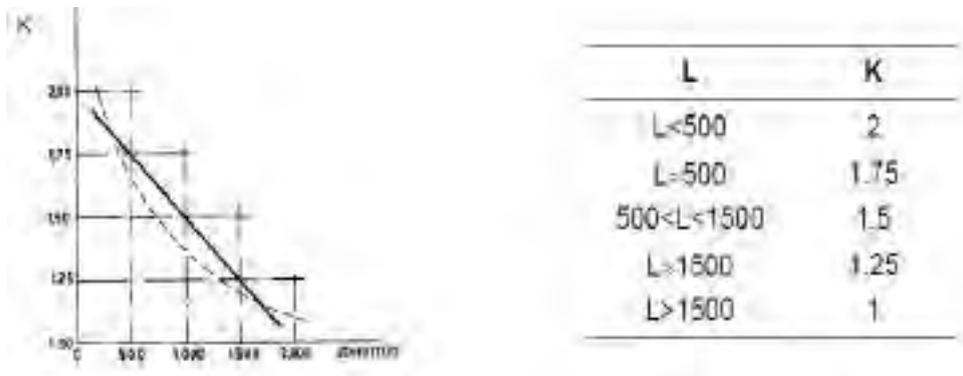
Hm= 220.17 Altura Dinámica Total

VALORES C SEGÚN MENDILUCE



Del grafico $Hm/L = 0.050 \rightarrow C = 1.00$

VALORES K SEGÚN MENDILUCE



Del grafico $L = 4059 \text{ m} \rightarrow C = 1.00$

Reemplazando en la fórmula de Mendiluce.

$$T = C + \frac{K * L * v}{g * H_m}$$

$$T = 1 + \frac{1 * 4059 * 1.07 \text{ m/s}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 220.17 \text{ m. c. a}}$$

Tiempo de parada de la bomba (T_p) = 3.00 segundos

Tiempo de propagación de la onda (T_c) – Tiempo Crítico

$$T_c = \frac{2 * l}{a}$$

Dónde :

L= 4059 m Longitud de Tubería de Impulsión

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

Reemplazando

$$T_c = \frac{2 \times 4059 \text{ m}}{1022.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_c = 7.94 \text{ segundos}$$

Determinación de la posibilidad del golpe de ariete en la Impulsión.

Siendo T_p = Tiempo de cierre de la válvula y/o parada de la bomba; por lo tanto del análisis comparativo se prevé:

$T_p \leq T_c$ Equivale a un **cierre instantáneo**, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir, tenemos un **cierre rápido**, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería, por lo tanto, se puede producir el golpe de ariete.

$T_p > T_c$ La onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos ante un **cierre lento** y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima; en consecuencia, no hay posibilidad del golpe de ariete.

Por lo tanto del análisis de ambos tiempos → **CIERRE RAPIDO**

Calculo de longitud crítica (Lc) .

$$L_c = \frac{a \cdot T_p}{2} \rightarrow \text{Formula de Michaud}$$

Dónde :

t_p = 3.00 s Tiempo de parada de la bomba.

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

$$L_c = \frac{1022.09 * 3.00}{2}$$

$$L_c = 1533.10 \text{ m}$$

Calculo de sobrepresión por golpe de ariete .

Para el cálculo de sobrepresión, se aplican las fórmulas de Michaud o de Allievi , según se cumplan las siguientes condiciones

$L < L_c$	impulsión corta	$T > \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$
$L > L_c$	impulsión larga	$T < \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre rápido	Allievi	$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$

Del análisis se opta por la fórmula de ALLIEVI.

$$\Delta H = \frac{a * v}{g}$$

$$\Delta H = \frac{1022.05 * 1.07}{9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\Delta H = 111.59 \text{ m. c. a}$$

C) GOLPE DE ARIETE SEGÚN ABACO DE ALLIEVI

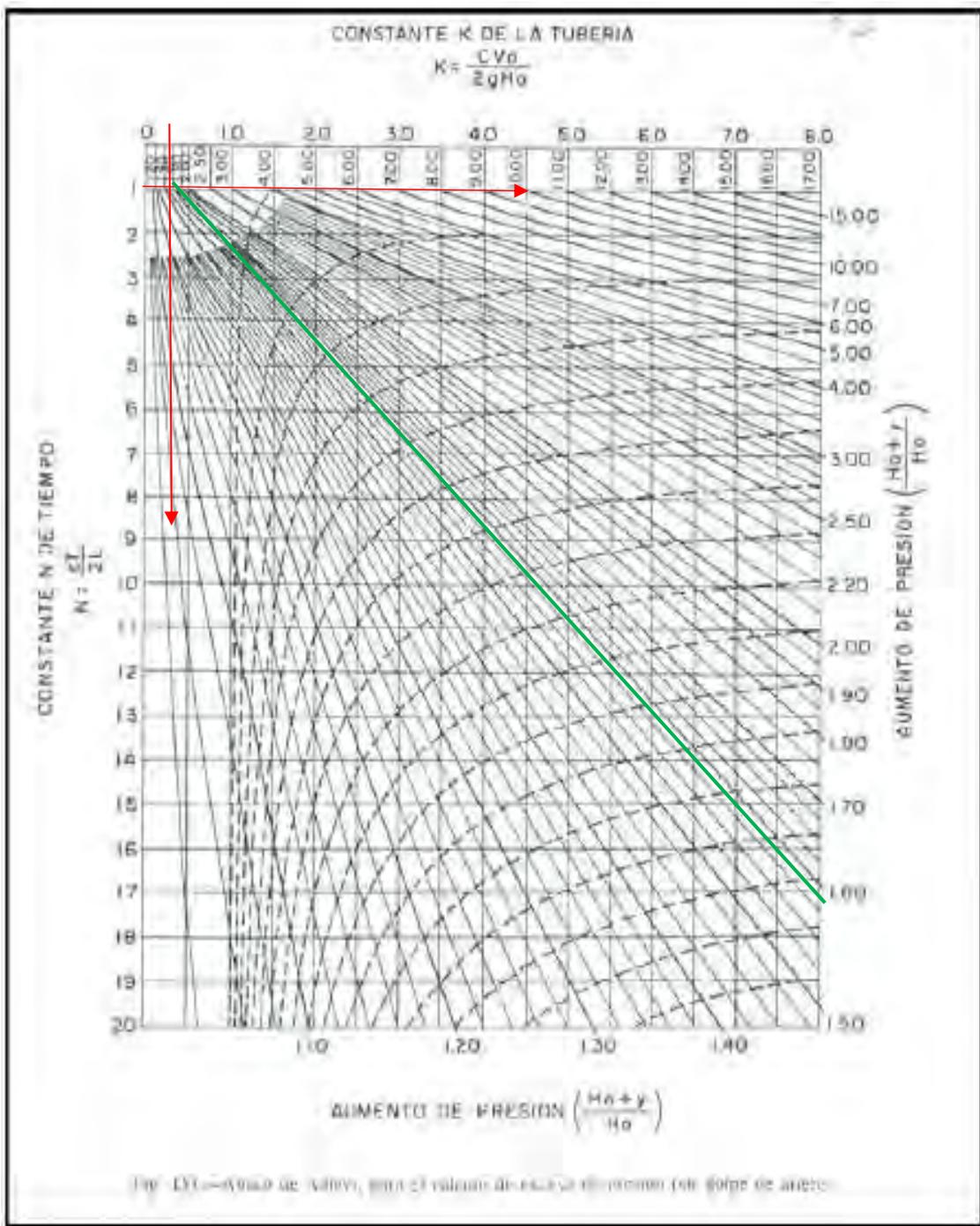


Figura 54 : Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007)

Del grafico se extrae:

$$N = \frac{a \cdot Tc}{2L} \text{ y } K = \frac{a \cdot V}{2g \cdot H}$$

Dónde:

- $a = 1022.09$ m/s celeridad de onda de presión
- $Tiempo\ crítico = 7.94$ seg
- $L = 4059$ m longitud de la línea de impulsión
- $V = 1.07$ m/seg velocidad del fluido
- $G = 9.81$ m/s² aceleración de la gravedad.
- $H = 220.17$ metros Altura dinámica total

$$N = 1.00$$

$$K = 0.252$$

POR LO TANTO DEL ABACO.

$$\frac{H_o + Y}{H_o} = 1.58 \rightarrow Y = SOBRECARGA = 127.70 \text{ m.c.a}$$

D) CALCULO DE GOLPE DE ARIETE SEGÚN ECUACIÓN DE SPARRE.

$$h_a = \frac{2LV}{g t^2 \left(1 - \frac{LV}{2gTH}\right)}$$

Donde

L=	4059	m	Longitud de línea
V=	1.07	m/seg	Velocidad del Flujo
g=	9.81	m/seg ²	aceleración de la gravedad
t=	7.94	seg	Tiempo Crítico
T=	3.00	seg	Tiempo de Parada
H=	220.17	m	Altura Dinamica Total

$$\Delta H = 83.92 \text{ m.c.a}$$

TRAMO 03 : LÍNEA DE COLLANA A RESERVORIO R12

ESCENARIO 02 : CONDICIONES MAXIMAS DE EXPLOTACIÓN

1.- PARÁMETROS DE DISEÑO:

- Caudal de bombeo : 767.72 litros/segundo
- Altura estatica: 211.76 m
- Altura dinamica total : 237.47 m
- Longitud de la linea de impulsión : 4059 m
- Coeficiente de rugosidad calculado hw : 105
- Diametro nominal tubería : 700 mm
- Diametro exterior: 738 mm
- Diametro interior: 708.40 mm
- Espesor de tubería : 8.80 mm (catalogo fabricante)
- Velocidad del fluido : 1.95 m/ s
- Constante de gravedad : 9.81 m/ s²
- Material de la tubería : hierro ductil

2.- CÁLCULO DE CELERIDAD DE ONDA DE PRESIÓN ESTA DADO POR:

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{K * Di}{E * e}\right)}}$$

Dónde:

A= Velocidad de la onda de presión en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.08 * 10^{08} * 708.40 \text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.8 \text{ mm}}\right)}}$$

$$a = 1022.09 \frac{m}{s}$$

3.- CÁLCULO DE CARGA DE PRESIÓN DE GOLPE DE ARIETE POR:

A) GOLPE DE ARIETE Y/O PULSO DE ZHUJOVSKI.

$$h_{golpe} = 14.7 * V * \sqrt{1 + \frac{K * Di}{E * e}}$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido en m/s

K = $2.08 * 10^{08}$ Módulo de Elasticidad del Fluido a 20°C

Di= 708.40 mm Diámetro Interior de Tubería

E= $1.70 * 10^{10}$ kg/m² Modulo de elasticidad de tubería Hierro Dúctil

e= 8.80 mm Espesor de la tubería.

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 14.7 * 1.95 * \sqrt{1 + \frac{2.08 * 10^{08} * 708.40\text{ mm}}{1.70 * 10^{10} * 8.80\text{ mm}}}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 40.34 \frac{kg}{cm^2}$$

$$h_{golpe\ zHUJOVSKI} = 403.34\text{ m.c.a}$$

B) GOLPE DE ARIETE SEGÚN MICHAUD - ALLIEVI

❖ CÁLCULOS PRELIMINARES

Tiempo de parada de la Bomba (Mendiluce)

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m}$$

Donde :

C= Coeficiente de Pendiente Hidráulica- Según Mendiluce

K= Coeficiente de Longitud De Tubería

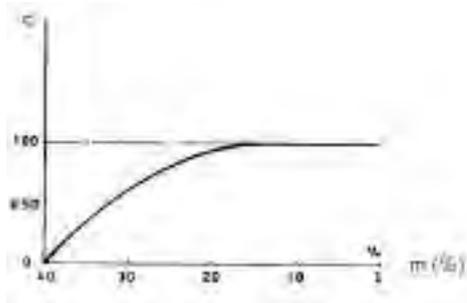
L= 4059 m Longitud de Conducción

V= 1.95 m/s Velocidad del Agua

g= 9.81 m/s² Aceleración De La Gravedad

Hm= 237.47 Altura Dinámica Total

VALORES C SEGÚN MENDILUCE



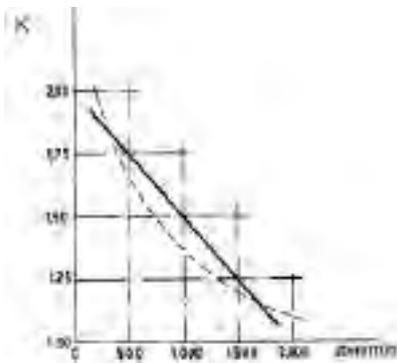
$$\frac{H_m}{L} < 0.20 \rightarrow C = 1$$

$$\frac{H_m}{L} \geq 0.40 \rightarrow C = 0$$

$$\frac{H_m}{L} \approx 0.30 \rightarrow C = 0.60$$

Del grafico $H_m/L = 0.060 \rightarrow C = 1.00$

VALORES K SEGÚN MENDILUCE



L	K
L < 500	2
L = 500	1.75
500 < L < 1500	1.5
L > 1500	1.25
L > 1500	1

Del grafico $L = 4059 \text{ m} \rightarrow C = 1.00$

Reemplazando en la fórmula de Mendiluce.

$$T = C + \frac{K * L * v}{g * H_m}$$

$$T = 1 + \frac{1 * 4059 * 1.95 \text{ m/s}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 237.47 \text{ m. c. a}}$$

Tiempo de parada de la bomba (T_p) = 4.39 segundos

Tiempo de propagación de la onda (T_c) – Tiempo Crítico

$$T_c = \frac{2 * l}{a}$$

Dónde :

L= 4059 m Longitud de Tubería de Impulsión

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

Reemplazando

$$T_c = \frac{2 \times 4059 \text{ m}}{1022.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$T_c = 7.94 \text{ segundos}$$

Determinación de la posibilidad del golpe de ariete en la Impulsión.

Siendo T_p = Tiempo de cierre de la válvula y/o parada de la bomba; por lo tanto del análisis comparativo se prevé:

$T_p \leq T_c$ Equivale a un **cierre instantáneo**, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir, tenemos un **cierre rápido**, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería, por lo tanto, se puede producir el golpe de ariete.

$T_p > T_c$ La onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos ante un **cierre lento** y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima; en consecuencia, no hay posibilidad del golpe de ariete.

Por lo tanto del análisis de ambos tiempos → **CIERRE RAPIDO**

Calculo de longitud crítica (Lc) .

$$L_c = \frac{a \cdot T_p}{2} \rightarrow \text{Formula de Michaud}$$

Dónde :

T_p = 4.40 s Tiempo de parada de la bomba.

a = 1022.09 m/s Velocidad de Onda de Presión

$$L_c = \frac{1022.09 * 4.40}{2}$$

$$L_c = 2243.50 \text{ m}$$

Calculo de sobrepresión por golpe de ariete .

Para el cálculo de sobrepresión, se aplican las fórmulas de Michaud o de Allievi , según se cumplan las siguientes condiciones

$L < L_c$	impulsión corta	$T > \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$
$L > L_c$	impulsión larga	$T < \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre rápido	Allievi	$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$

Del análisis se opta por la fórmula de ALLIEVI.

$$\Delta H = \frac{a * v}{g}$$

$$\Delta H = \frac{1022.05 * 1.95}{9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\Delta H = 202.90 \text{ m. c. a}$$

C) GOLPE DE ARIETE SEGÚN ABACO DE ALLIEVI

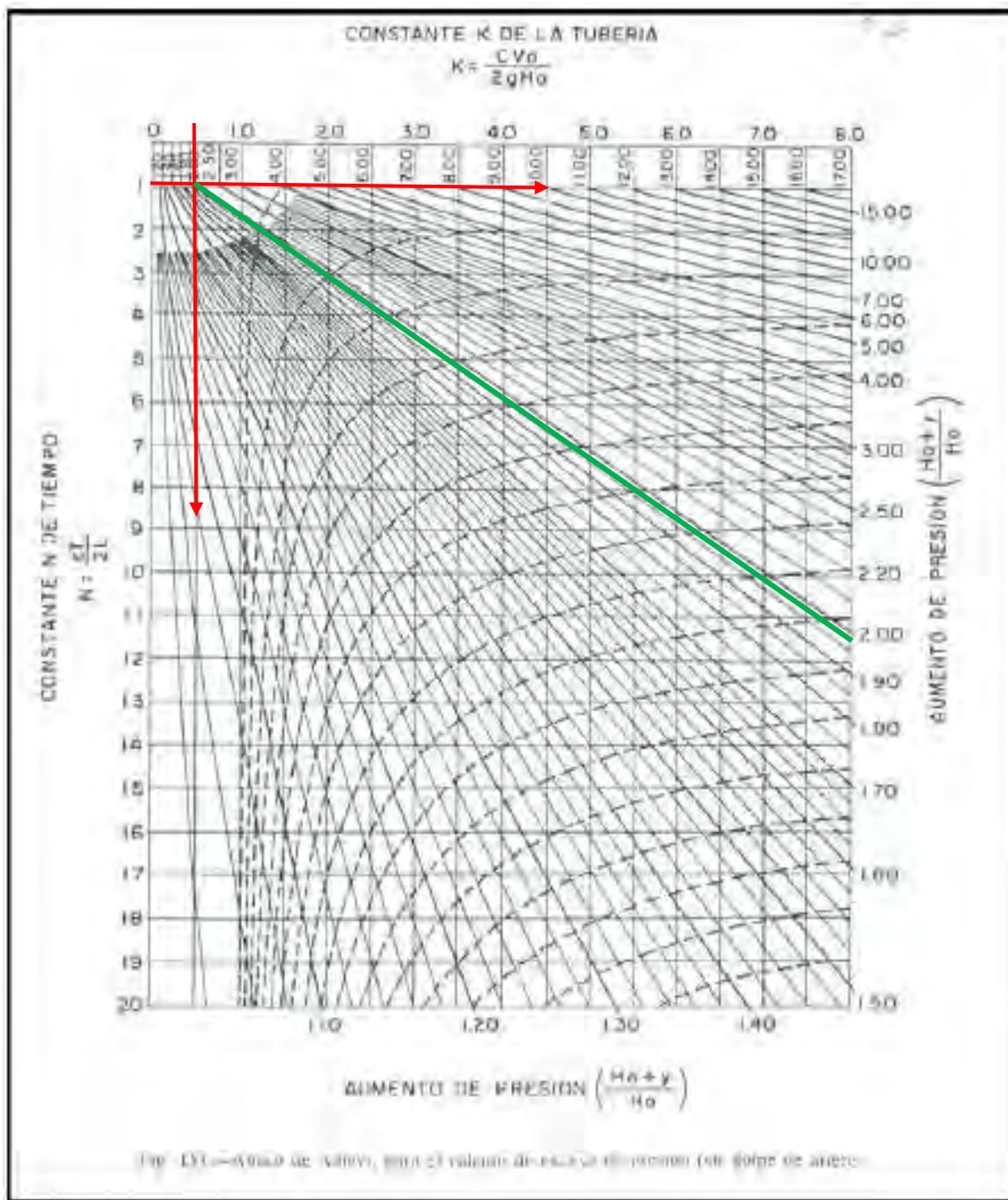


Figura 56 : Abaco de Allievi, para el cálculo de exceso de presión por golpe de ariete (Organización Panamericana de la Salud , 2007)

Del grafico se extrae:

$$N = \frac{a \cdot T_c}{2L} \text{ y } K = \frac{a \cdot V}{2g \cdot H}$$

Dónde:

- $a = 1022.09$ m/s celeridad de onda de presión
- $Tiempo\ crítico = 7.94$ seg
- $L = 4059$ m longitud de la línea de impulsión
- $V = 1.95$ m/seg velocidad del fluido
- $G = 9.81$ m/s² aceleración de la gravedad.
- $H = 237.47$ metros Altura dinámica total

$$N = 1.00$$

$$K = 0.427$$

POR LO TANTO DEL ABACO.

$$\frac{H_0 + Y}{H_0} = 1.95 \rightarrow Y = SOBRECARGA = 225.60 \text{ m.c.a}$$

D) CALCULO DE GOLPE DE ARIETE SEGÚN ECUACIÓN DE SPARRE.

$$h_a = \frac{2LV}{g t^2 \left(1 - \frac{LV}{2gTH}\right)}$$

Donde

L=	4059	m	Longitud de línea
V=	1.95	m/seg	Velocidad del Flujo
g=	9.81	m/seg ²	aceleración de la gravedad
t=	7.94	seg	Tiempo Crítico
T=	4.39	seg	Tiempo de Parada
H=	237.47	m	Altura Dinamica Total

$$\Delta H = 165.41 \text{ m.c.a}$$

4.- ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE GOLPE DE ARIETE ASUMIDO :

RESUMEN DEL GOLPE DE ARIETE

Según Pulso de ZHUKOVSKI	403.41	mca
Según ALLIEVI IMPULSIÓN LARGA	202.90	mca
Según Esparre	165.41	mca
Según el grafico de ALLIEVI	225.60	mca

Sobrepresion adoptada AH= **403.41** mca

Altura Estática= He= 211.76 mca

PRESION POSITIVA FINAL
= **615.17** m
PRESION NEGATIVA
FINAL = -- 191.66 m

EL DIAGRAMA DE ENVOLVENTE SERA: .

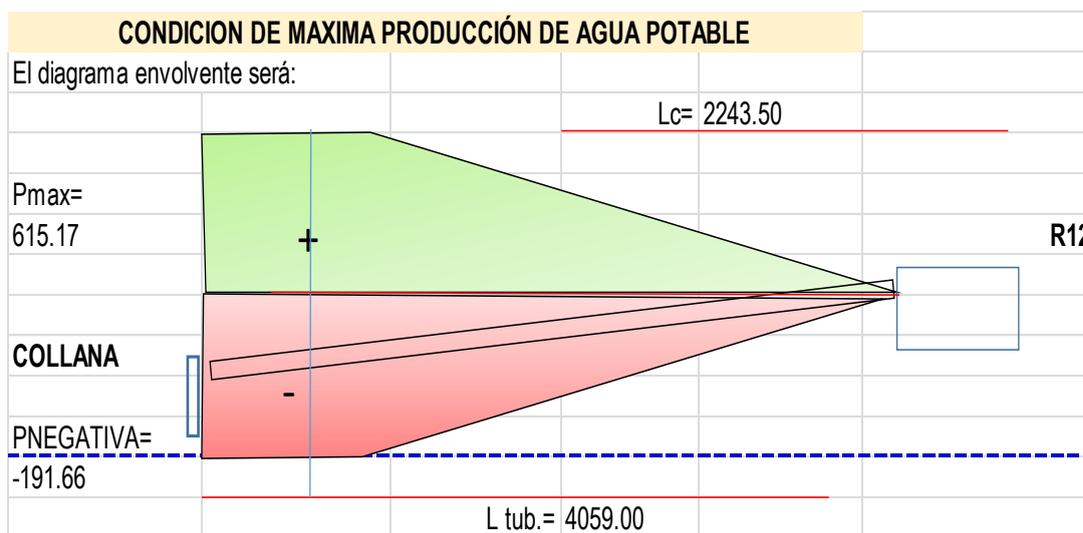


Figura 57 : Envolvente de presiones tramo Collana – R12 en condiciones Maximas de explotación (Elaboración Propia)

OPINIÓN:

Del grafico de presiones máximas en las 3 líneas de impulsión, se puede observar que se está superando la clase de la tubería, en condiciones de máxima producción, por lo tanto se requiere de protección anti golpe de ariete, y se justifica su instalación.

Por otro lado también según catálogo de fabricante de tuberías, recomienda utilizar para tubería HD, un valor de aceleración de onda de 1200 m/s, por lo tanto al ser este valor superior al calculado, se incrementaría el valor de golpe de ariete.

5.2.2.1 RESUMEN DE RESULTADOS SOBREPRESIONES Y DEPRESIONES

Habiendo estimado la presión adicional que debe soportar cada tramo para los 02 escenarios de análisis, se puede determinar la sobrepresión que asumirá cada tramo de tubería según el siguiente cuadro

TABLA N° 31 : SOBRE-PRESIÓN Y SUPRESIÓN POR GOLPE DE ARIETE EN CONDICIONES ACTUALES DE EXPLOTACIÓN

DESCRIPCIÓN	ALTURA DINÁMICA TOTAL (ADT)	ALTURA ESTÁTICA msnm	SUBPRESIÓN MINIMA	PRESIÓN MÁXIMA – GOLPE DE ARIETE (ΔH)
Longitud tramo pinipampa a rumicolca = 2607m	32.97	26.13	-222.56 m.c.a	274.82 m.c.a
Longitud tramo rumicolca a collana = 24988.70 m	179.21	125.09	-100.86 m.c.a	351.04 m.c.a
Longitud tramo collana a reservorio r12 = 4059 m	220.17	211.76	-8.94 m.c.a	432.45 m.c.a

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 32 : SOBRE-PRESIÓN Y SUPRESIÓN POR GOLPE DE ARIETE EN CONDICIONES DE MÁXIMA PRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN	ALTURA DINÁMICA TOTAL (ADT)	ALTURA ESTÁTICA	SUBPRESIÓN MINIMA	PRESIÓN MÁXIMA – GOLPE DE ARIETE (ΔH)
Longitud tramo pinipampa a rumicolca = 2607m	42.97	26.13	-381.51	433.77
Longitud tramo rumicolca a collana = 24988.70 m	251.08	125.09	-231.51	481.69
Longitud tramo collana a reservorio r12 = 4059 m	237.47	211.76	-191.66	615.17

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2.7 VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE RUMICOLCA

- DETERMINACIÓN DEL TRANSITORIO HIDRÁULICO IN SITU

TABLA N° 33 : RECOLECCIÓN DE PRESIONES – TRANSITORIO

E.B. RUMICOLCA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
1	0	9.00	Inicio de apagado de Bomba
2	1	9.00	-
3	2	9.10	-
4	3	9.50	-
5	4	9.70	-
6	5	9.90	-
7	6	10.00	Inicio de Transitorio
8	7	10.10	
9	8	10.00	
10	9	10.00	
11	10	10.00	
12	11	10.00	
13	12	10.00	
14	13	10.00	
15	14	9.90	
16	15	9.20	
17	16	9.00	
18	17	9.00	
19	18	9.00	
20	19	9.00	
21	20	8.90	
22	21	8.30	
23	22	8.10	
24	23	8.00	
25	24	8.00	
26	25	8.00	
27	26	8.00	
28	27	8.00	
29	28	8.00	
30	29	8.00	
31	30	7.90	
32	31	7.80	Pico 01 de Caida de Subpresión
33	32	7.80	
34	33	7.90	
35	34	7.90	
36	35	8.00	
37	36	8.00	
38	37	8.00	
39	38	8.10	
40	39	8.20	
41	40	8.50	
42	41	8.80	
43	42	8.90	
44	43	9.00	
45	44	9.10	
46	45	9.20	
47	46	9.30	
48	47	9.40	
49	48	9.50	
50	49	9.70	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
51	50	9.80	
52	51	9.90	
53	52	9.90	
54	53	9.80	
55	54	9.70	Pico 01 de Subida de SobrePresión
56	55	9.60	
57	56	9.50	
58	57	9.20	
59	58	9.10	
60	59	9.00	
61	60	9.00	
62	61	8.90	
63	62	8.80	
64	63	8.70	
65	64	8.50	
66	65	8.20	
67	66	8.10	
68	67	8.00	Pico Maximo de Presión Registrado
69	68	8.00	
70	69	8.30	
71	70	8.90	Inicio de atenuación de transitorio
72	71	9.00	
73	72	9.50	
74	73	9.90	
75	74	10.20	
76	75	10.85	
77	76	11.00	
78	77	11.50	
79	78	12.00	
80	79	12.10	
81	80	12.30	Atenuación de curva
82	81	12.50	
83	82	12.70	
84	83	13.10	
85	84	13.00	Pico 02 de subida de Sobrepresión
86	85	13.00	
87	86	13.00	
88	87	12.90	
89	88	12.90	
90	89	12.90	
91	90	12.90	
92	91	12.80	
93	92	12.50	
94	93	12.40	
95	94	12.30	
96	95	12.20	
97	96	12.10	
98	97	12.05	
99	98	12.00	
100	99	12.05	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
101	100	12.10	
102	101	12.20	
103	102	12.50	
104	103	12.60	
105	104	12.70	
106	105	12.80	
107	106	13.00	
108	107	13.00	
109	108	13.30	
110	109	13.80	
111	110	13.90	Pico 03 de subida de Sobrepresión
112	111	14.00	
113	112	14.00	
114	113	14.00	
115	114	14.00	
116	115	14.00	
117	116	14.00	
118	117	13.90	
119	118	13.50	
120	119	13.40	
121	120	13.20	
122	121	13.10	
123	122	13.00	
124	123	13.00	Pico 02 de Caída de Subpresión
125	124	13.00	
126	125	13.00	
127	126	12.90	
128	127	13.00	
129	128	13.00	
130	129	13.00	
131	130	13.00	
132	131	13.00	
133	132	13.10	
134	133	13.50	
135	134	13.80	
136	135	14.00	
137	136	14.00	
138	137	14.10	
139	138	14.30	
140	139	14.70	
141	140	14.80	
142	141	14.80	
143	142	14.80	
144	143	14.70	
145	144	14.60	
146	145	14.50	
147	146	14.00	
148	147	13.50	
149	148	13.20	
150	149	13.10	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
151	150	13.00	
152	151	12.90	
153	152	12.80	
154	153	12.50	
155	154	12.40	
156	155	12.40	
157	156	12.40	
158	157	12.40	
159	158	12.40	
160	159	12.30	
161	160	12.30	
162	161	12.20	
163	162	12.20	
164	163	12.20	
165	164	12.20	
166	165	12.20	
167	166	12.20	
168	167	12.20	
169	168	12.30	
170	169	12.40	
171	170	12.50	
172	171	12.50	
173	172	12.50	
174	173	12.50	
175	174	12.50	
176	175	12.50	
177	176	12.50	
178	177	12.50	
179	178	12.50	
180	179	12.50	
181	180	12.00	
182	181	11.60	
183	182	11.20	
184	183	11.00	
185	184	10.80	
186	185	10.30	
187	186	10.20	
188	187	10.10	
189	188	10.10	
190	189	10.10	
191	190	10.10	
192	191	10.10	
193	192	10.10	
194	193	10.00	
195	194	10.00	
196	195	9.90	
197	196	9.80	
198	197	9.90	
199	198	9.90	
200	199	10.00	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	13/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO RUMICOLCA
CLIMA	Nublado a Soleado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
201	200	10.00	
202	201	10.10	
203	202	10.10	
204	203	10.00	
205	204	10.00	
206	205	10.10	
207	206	10.20	
208	207	10.30	
209	208	10.40	
210	209	10.50	
211	210	10.70	
212	211	10.80	
213	212	10.90	
214	213	10.90	
215	214	10.90	
216	215	10.90	
217	216	10.90	
218	217	10.90	
219	218	10.90	
220	219	10.90	
221	220	10.90	
222	221	10.80	
223	222	10.70	
224	223	10.60	
225	224	10.50	
226	225	10.20	
227	226	10.10	
228	227	10.10	
229	228	10.30	
230	229	10.40	
231	230	10.50	
232	231	10.80	
233	232	11.00	
234	233	11.00	
235	234	11.10	
236	235	11.20	
237	236	11.20	
238	237	11.20	
239	238	11.40	
240	239	11.50	Fin de Transitorio Hidraulico Atenuado

Fuente: Elaboración Propia

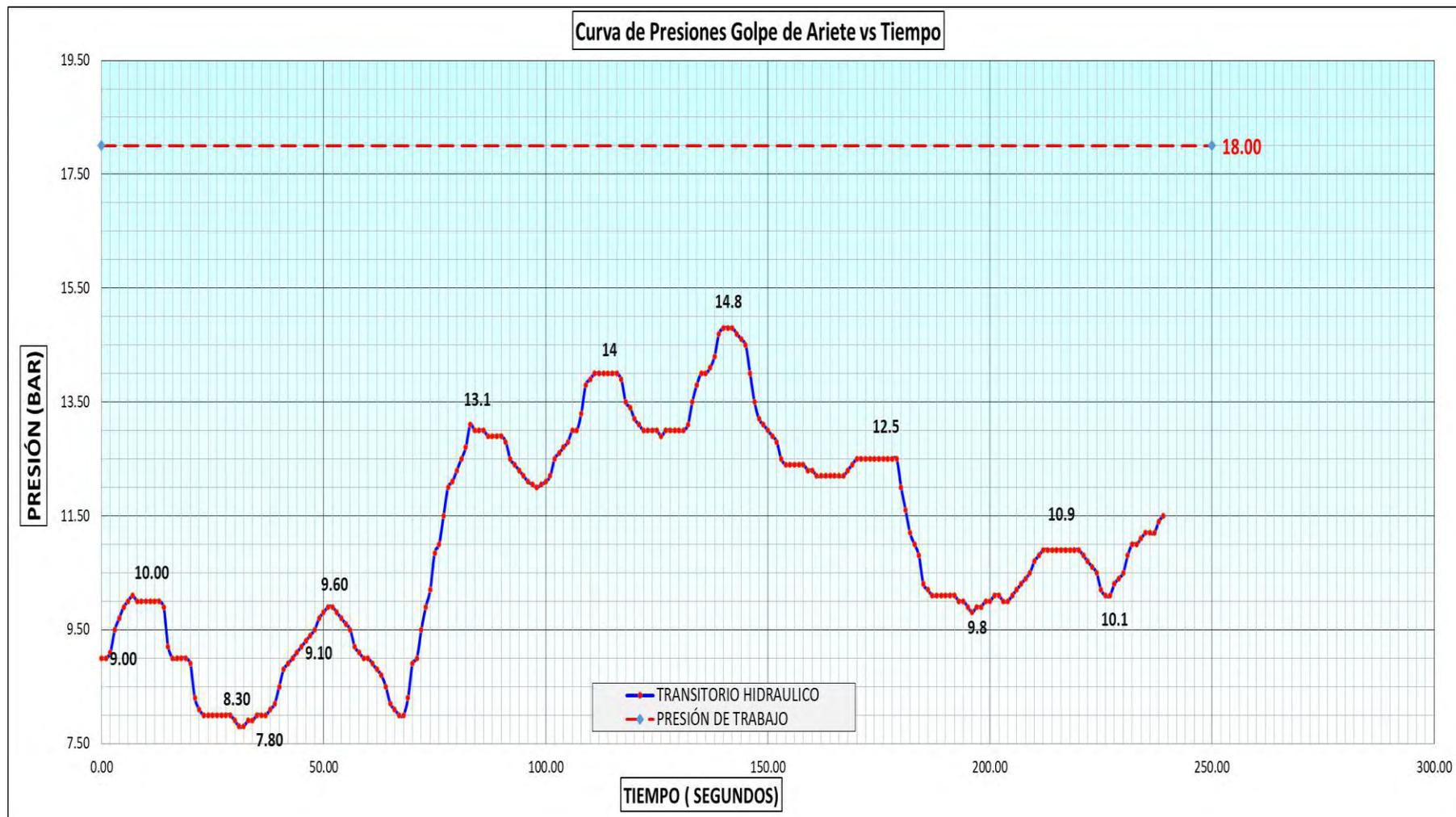


Figura 58 : Curva de presión en condiciones actuales de operación EB. RUMICOLCA del 13/08/2022 (Elaboración Propia)

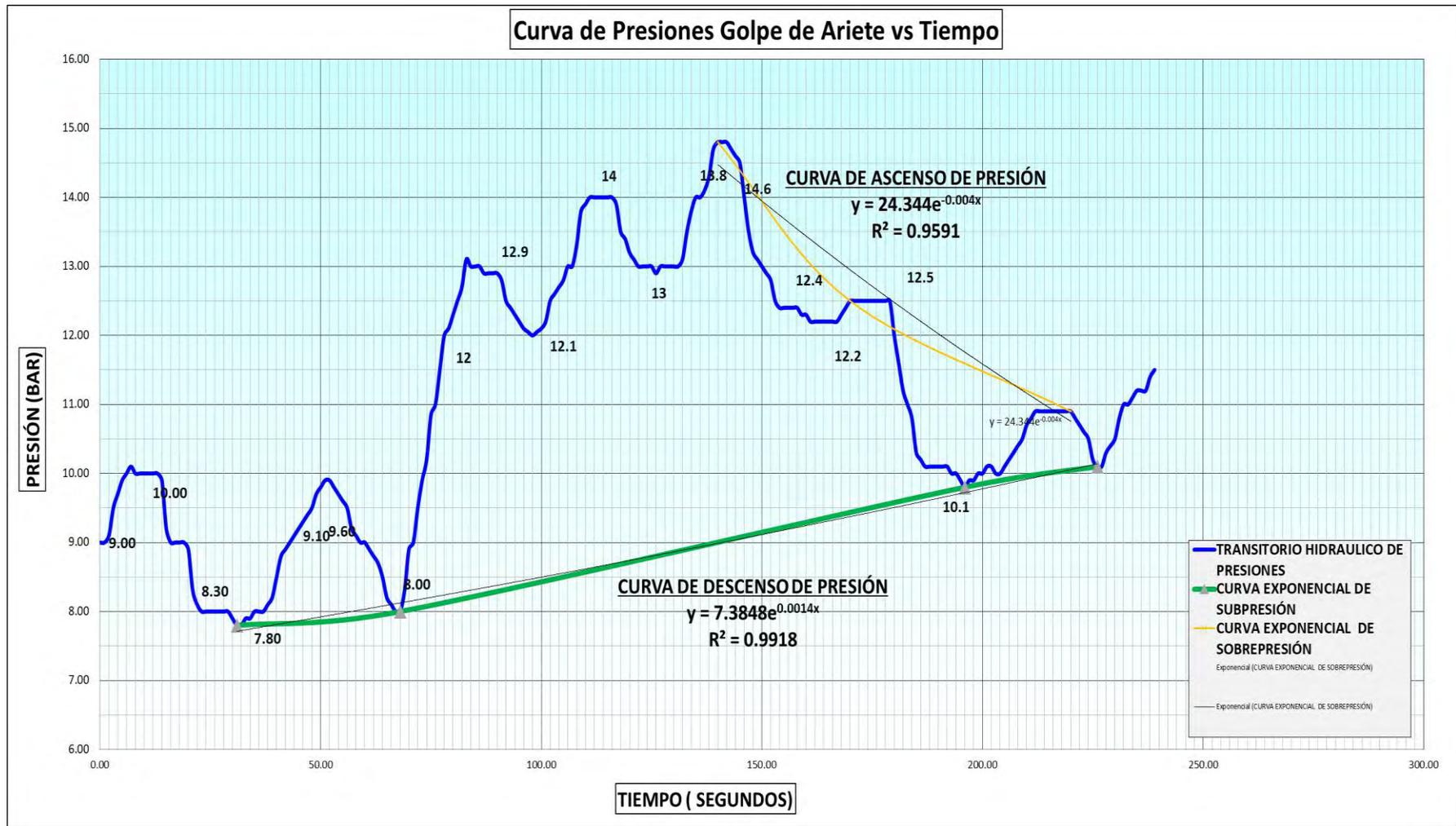


Figura 59 : Ajuste de curva de presiones en condiciones actuales de operación EB RUMICOLCA del 13/08/2022 (Elaboración Propia)

OPINIÓN: Como se puede apreciar en el gráfico , se presenta las variaciones de presión producido en el cambio de régimen permanente a el régimen no permanente del fluido, acompañado de un amortiguamiento del transitorio debido a que en la línea de impulsión en el kilómetro 02+900 km se presenta un tanque hidroneumático de 47'000 .00 litros, que amortigua el golpe de ariete, esto debido a supresiones producidos en este punto, tal como se evaluara en la simulación hidráulica adjunta al mismo.

- **DETERMINACIÓN DEL TRANSITORIO HIDRAULICO INSITU**

**TABLA N° 34 : RECOLECCIÓN DE PRESIONES – TRANSITORIO
E.B. COLLANA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA			
FECHA	20/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA
CLIMA	Nublado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
1	0	20.85	Inicio de Apagado
2	1	20.00	
3	2	19.90	
4	3	18.00	
5	4	17.00	
6	5	15.20	
7	6	13.80	
8	7	13.00	
9	8	12.80	
10	9	12.50	Inicio de Transitorio
11	10	12.50	Pico 01 Mínimo de Subpresion
12	11	12.50	
13	12	13.80	
14	13	15.00	
15	14	16.25	
16	15	17.90	
17	16	19.85	
18	17	22.50	
19	18	25.80	
20	19	27.30	
21	20	28.00	
22	21	28.50	Pico 01 Maximo de Sobrepresion
23	22	28.00	
24	23	27.00	
25	24	25.00	
26	25	22.70	
27	26	20.00	
28	27	18.50	
29	28	17.00	
30	29	15.50	
31	30	14.80	
32	31	14.00	Pico 02 atenuado de Subpresion
33	32	14.00	
34	33	14.00	
35	34	14.80	
36	35	15.80	
37	36	16.90	
38	37	18.00	
39	38	19.50	
40	39	21.00	
41	40	22.80	
42	41	24.90	
43	42	26.00	Pico 02 Maximo atenuado de Sobrepresion
44	43	26.80	
45	44	26.80	
46	45	26.00	
47	46	25.00	
48	47	24.00	
49	48	22.00	
50	49	20.00	
51	50	18.50	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	20/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA
CLIMA	Nublado		
Nº DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
52	51	17.20	
53	52	16.50	
54	53	15.80	
55	54	15.20	
56	55	15.00	Pico 03 atenuado de Subpresion
57	56	15.20	
58	57	16.00	
59	58	16.80	
60	59	17.80	
61	60	19.00	
62	61	20.00	
63	62	22.00	
64	63	23.00	
65	64	24.20	
66	65	25.00	
67	66	25.20	
68	67	25.20	Pico 03 Maximo atenuado de Sobrepresion
69	68	24.90	
70	69	23.80	
71	70	22.20	
72	71	21.00	
73	72	20.00	
74	73	18.50	
75	74	17.60	
76	75	17.00	
77	76	16.30	
78	77	16.00	Pico 04 atenuado de Subpresion
79	78	16.00	
80	79	16.20	
81	80	17.00	
82	81	17.70	
83	82	18.00	
84	83	19.50	
85	84	20.50	
86	85	22.00	
87	86	23.00	
88	87	23.80	
89	88	24.00	
90	89	24.20	Pico 04 Maximo atenuado de Sobrepresion
91	90	24.00	
92	91	23.80	
93	92	22.30	
94	93	21.50	
95	94	20.30	
96	95	19.20	
97	96	18.50	
98	97	17.90	
99	98	17.20	
100	99	17.00	
101	100	16.90	Pico 05 atenuado de Subpresion

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	20/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA
CLIMA	Nublado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo (Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
102	101	17.00	
103	102	17.10	
104	103	17.70	
105	104	18.40	
106	105	19.20	
107	106	20.10	
108	107	21.20	
109	108	22.00	
110	109	22.85	
111	110	23.10	
112	111	23.60	Pico 05 Maximo atenuado de Sobrepresion
113	112	23.40	
114	113	23.00	
115	114	22.80	
116	115	22.00	
117	116	21.00	
118	117	20.00	
119	118	19.50	
120	119	18.80	
121	120	18.00	
122	121	17.80	
123	122	17.50	Pico 06 atenuado de Subpresion
124	123	17.50	
125	124	17.80	
126	125	18.00	
127	126	18.50	
128	127	19.00	
129	128	19.95	
130	129	21.00	
131	130	21.50	
132	131	22.10	
133	132	22.80	
134	133	23.00	
135	134	23.00	Pico 06 Maximo atenuado de Sobrepresion
136	135	22.50	
137	136	22.00	
138	137	21.90	
139	138	21.00	
140	139	20.50	
141	140	19.50	
142	141	19.00	
143	142	18.90	
144	143	18.70	
145	144	18.50	Pico 07 atenuado de Subpresion
146	145	18.60	
147	146	18.80	
148	147	19.00	
149	148	19.20	
150	149	19.90	
151	150	20.20	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
ESCUELA DE POS GRADO			
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE			
MEDICIÓN DE PRESIONES DE TRANSITORIO DE PRESIONES : APAGADO DE BOMBAS			
RESPONSABLE	FABRICIO RUBEN OLIVERA TAPIA		
FECHA	20/08/2022	LUGAR:	ESTACIÓN DE BOMBEO COLLANA
CLIMA	Nublado		
N° DE MEDICIÓN	Tiempo Segundos)	Presión (Bar)	OBSERVACIONES
152	151	20.80	
153	152	21.00	
154	153	21.50	
155	154	22.00	
156	155	22.20	Pico 07 Maximo atenuado de Sobrepresion
157	156	22.00	
158	157	22.00	
159	158	21.90	
160	159	21.50	
161	160	21.20	
162	161	20.50	
163	162	20.00	
164	163	19.50	
165	164	19.00	
166	165	18.90	
167	166	18.50	Pico 08 atenuado de Subpresion
168	167	18.60	
169	168	18.80	
170	169	18.90	
171	170	19.00	
172	171	19.30	
173	172	19.90	
174	173	20.10	
175	174	21.00	
176	175	21.10	
177	176	21.50	
178	177	21.80	
179	178	21.90	
180	179	22.00	Pico 08 Maximo atenuado de Sobrepresion
181	180	21.90	
182	181	21.70	
183	182	21.50	
184	183	21.20	
185	184	20.50	
186	185	20.00	
187	186	19.20	
188	187	19.00	
189	188	18.90	Pico 08 atenuado de Subpresion
190	189	18.80	Fin de Transitorio

Fuente: Elaboración Propia

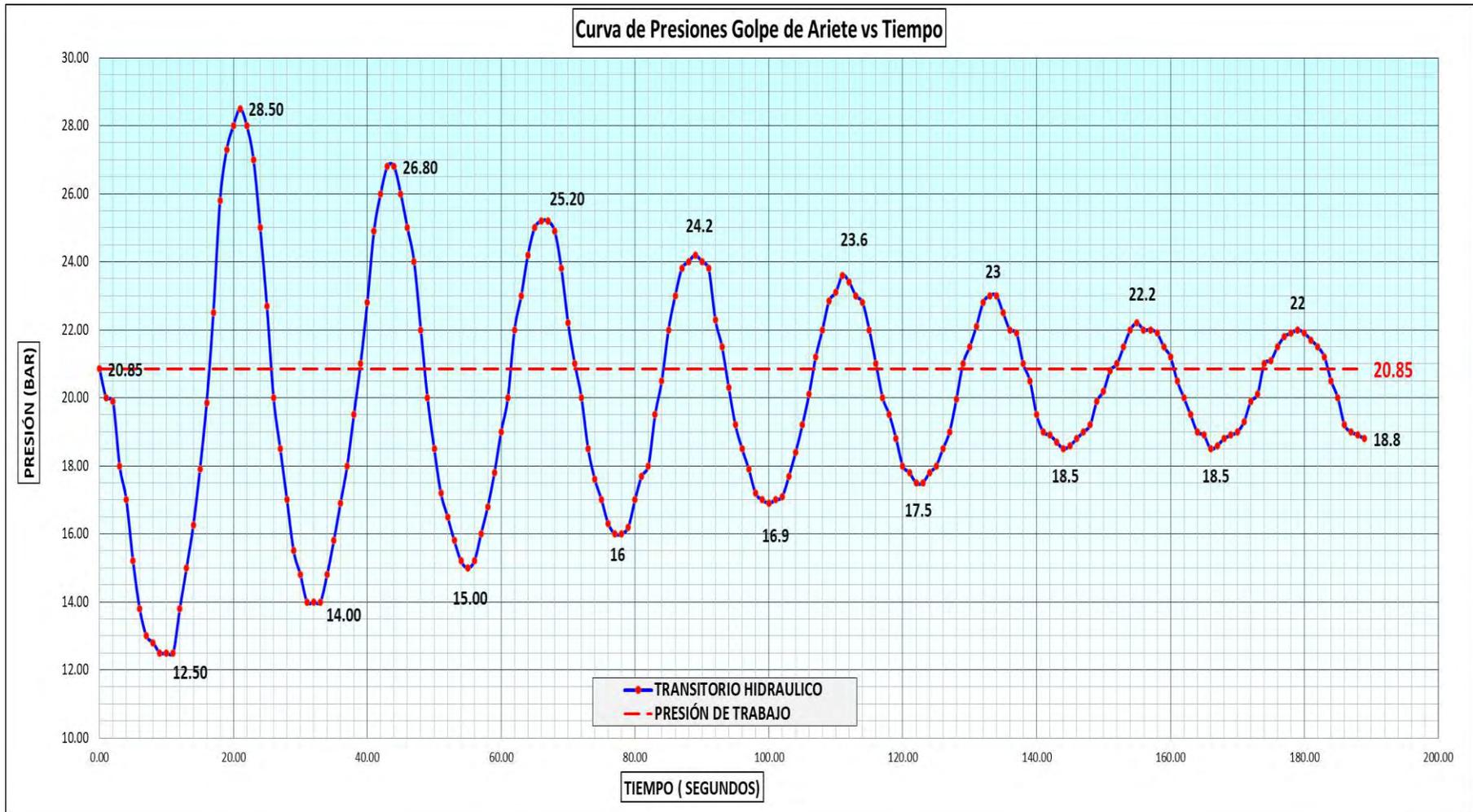


Figura 60 : Transitorio Hidráulico De Presiones Vs Tiempo De Apagado De Bombas Estación De Bombeo De Collana Del 20/08/2022
(Elaboración Propia)

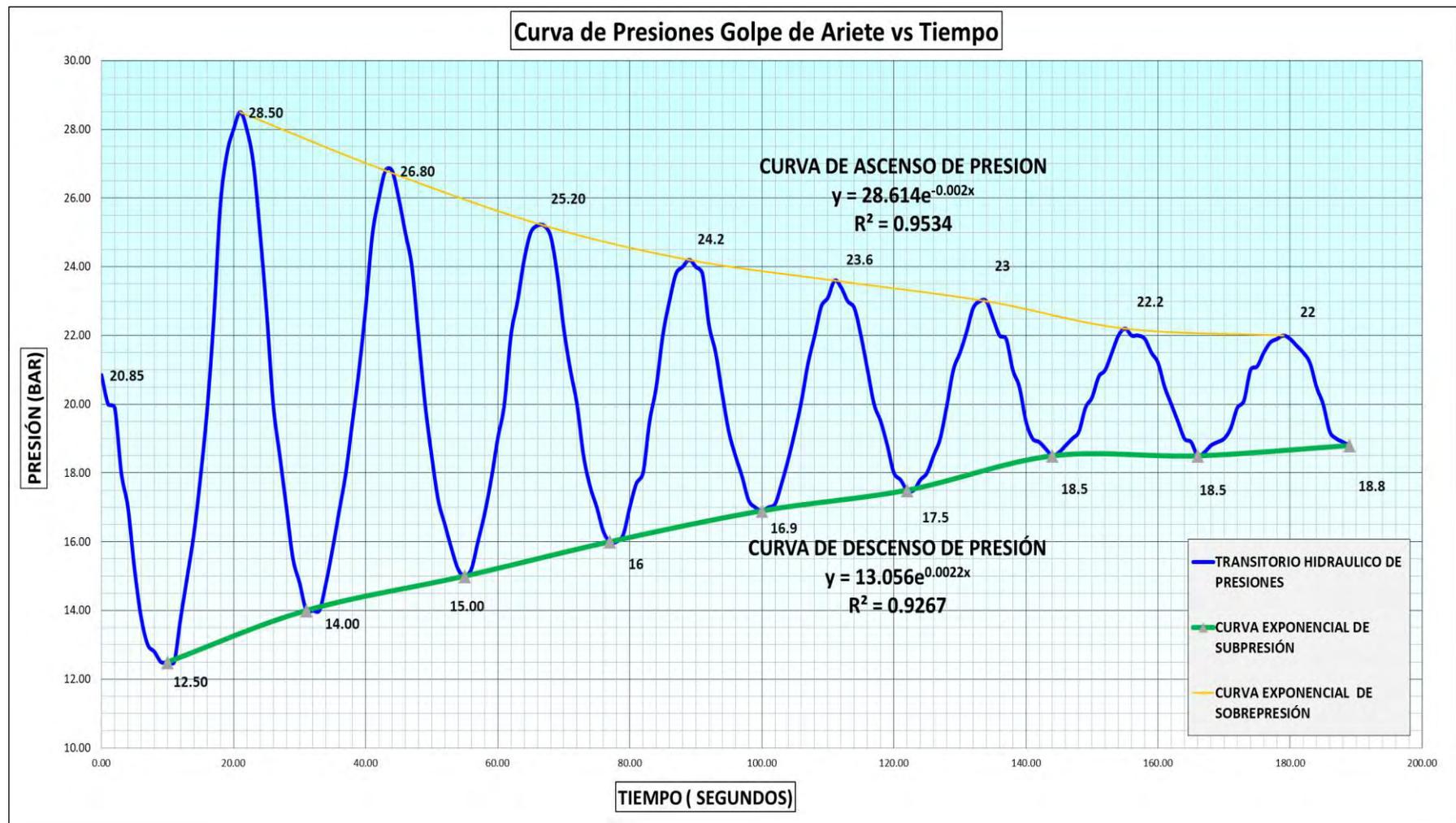


Figura 61 : Ajuste De Curva De Presiones En Condiciones Actuales De Operación Eb Collana Del 20/08/2022
 (Elaboración Propia)

OPINION: Como se puede apreciar en el gráfico , se presenta las variaciones de presión producido en el cambio de régimen permanente a él régimen no permanente del fluido, sin embargo, se presenta un amortiguamiento de la onda de presión mas uniforme, esto debido a que en la línea de impulsión del tramo COLLANA a Reservorio R12 no se presentan, dispositivos de protección que amortiguamiento la onda, por lo tanto el descenso de presión es uniforme y sinusoidal.

5.2.2.8 SIMULACIÓN HIDRÁULICA – TRANSITORIO DE PRESIONES.

Se ha simulado en el Software Water Gems Y HAMMER DE la empresa Bentley Systems, las condiciones hidráulicas máximas según la curva características de las bombas hidráulicas actuales de operación y funcionamiento para cada estación de bombeo del Sistema Vilcanota II, con la finalidad de poder evaluar y consolidar los resultados obtenidos manualmente.

5.2.2.8.1 TRAMO 01 PIÑIPAMPA – RUMICOLCA 2DA ETAPA.

❖ SIMULACIÓN HIDRÁULICA.

Se ha considerado la simulación con los 04 pozos tubulares , los mismos que cuentan con sus respectivos equipos de bombeo. Las características de las bombas, así como los resultados de la simulación se pueden apreciar en el Anexo de la presente tesis.

El perfil hidráulico del sistema es el siguiente:

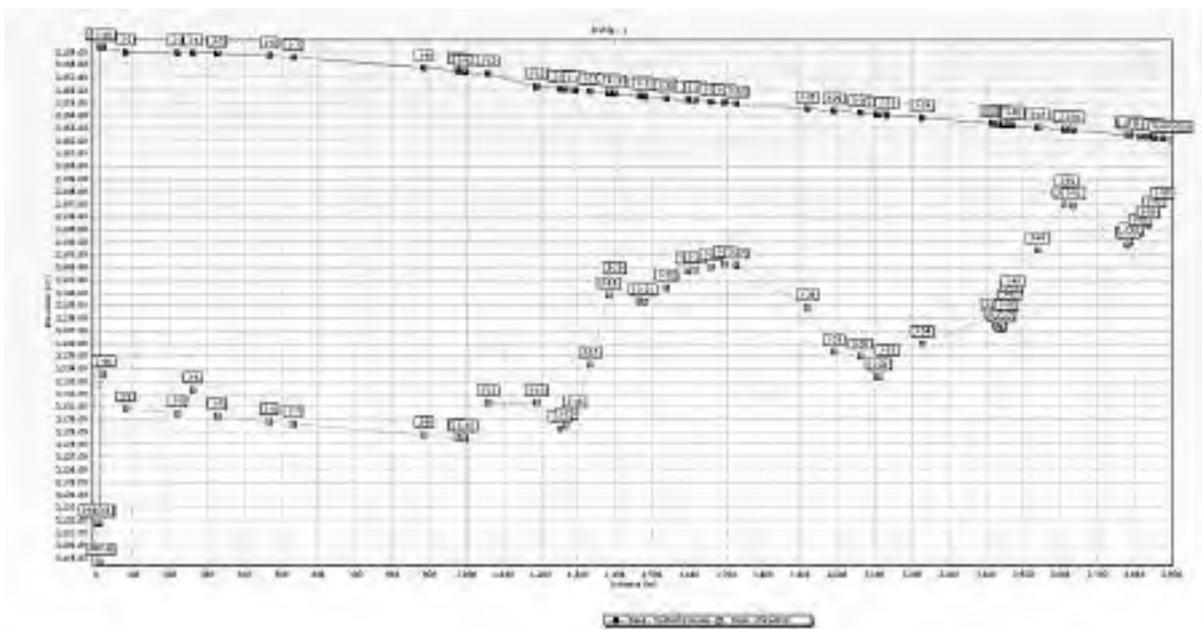


Figura 62 : Línea de Gradiente Hidraulica tramo Pinipampa -Rumicolca
(Elaboración Propia)

❖ SIMULACIÓN DE TRANSITORIO HIDRÁULICO

El escenario desarrollado para el análisis de los transitorios hidráulicos es la parada intempestiva de las 04 bombas en los pozos 1, 2, 3 y 4 de Piñipampa.

La Simulación del Transciente Hidráulico se ha realizado en dos escenarios:

- El primero para verificar las sobre presiones y sub presiones en caso no se considere ningún sistema de protección y
- El segundo escenario considerando los sistemas de protección existentes IN SITU.

❖ TRANSITORIOS HIDRÁULICOS SIN PROTECCIÓN.

Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se interpretan en el siguiente gráfico:

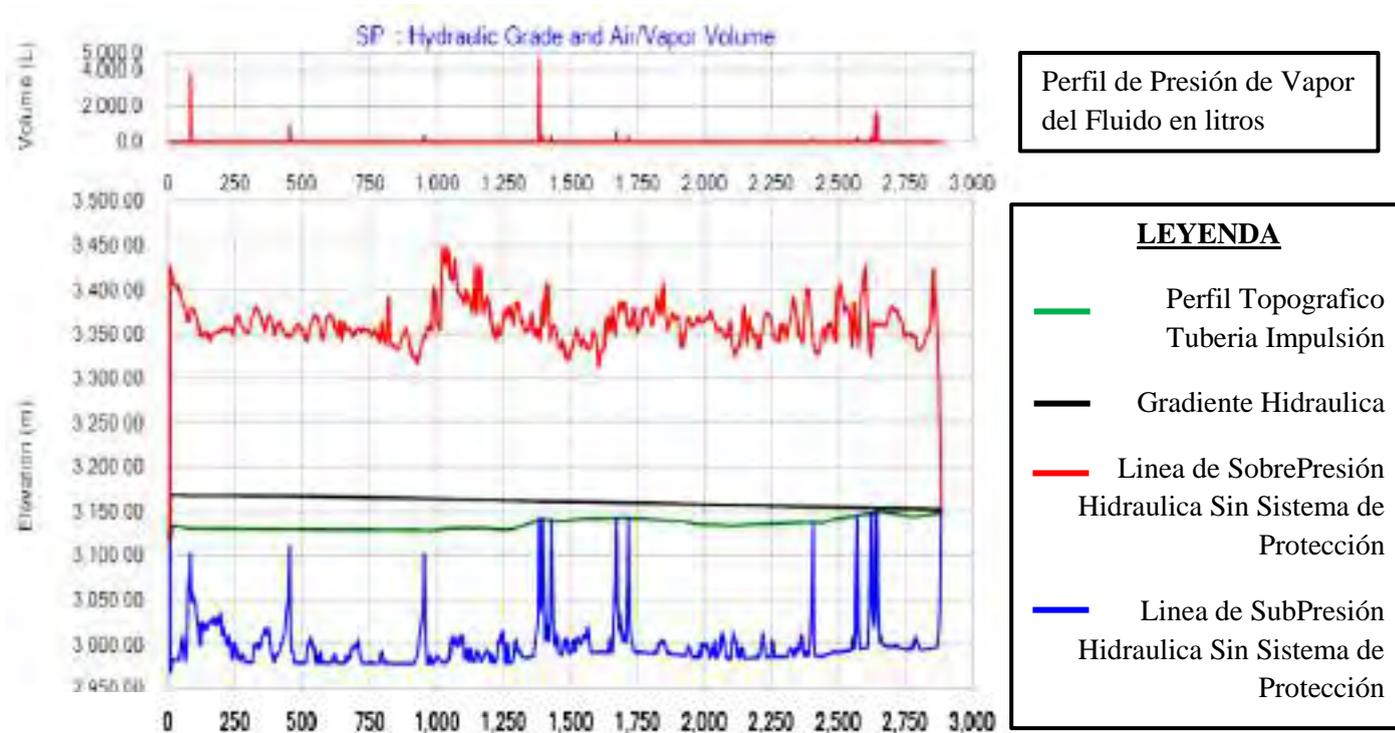


Figura 63 : Transitorios Hidráulicos tramo Piñipamp Rumicolca sin protección- condición máxima de producción de agua (Elaboración Propia)

Como se aprecia en el gráfico anterior, existen sobre presiones del orden de 325 m.c.a., estas no podrían ser absorbidas por la clase de la tubería K-7, que es un equivalente de la tubería (C-25) actualmente comercial, en el caso de las presiones negativas, estas sobrepasan los -9 mca. Recomendados por la NTP ISO 3125, por consiguiente, se requiere considerar los sistemas de protección para evitar problemas de operación.

Es necesario señalar que los transitorios son solicitudes a la tubería ocasionales, al respecto la norma de tuberías HDF indica que la tubería de HDF1 debe tener una PMA2 de 1.2 veces la PFA3. Eso quiere decir que la tubería C-25 puede soportar transitorios del orden de 30 bares (300 m.c.a.).

❖ **TRANSITORIOS HIDRÁULICOS CON SISTEMA DE PROTECCIÓN.**

Para la simulación del Transiente Hidráulico se ha considerado la operación de 04 tanques hidroneumáticos con vejiga de 1,000 litros cada uno para los pozos 1, 2, 3 y 4. Así mismo la línea de impulsión principal se cuenta con un tanque hidroneumático de 20,000 litros.

Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se interpretan en el siguiente gráfico:

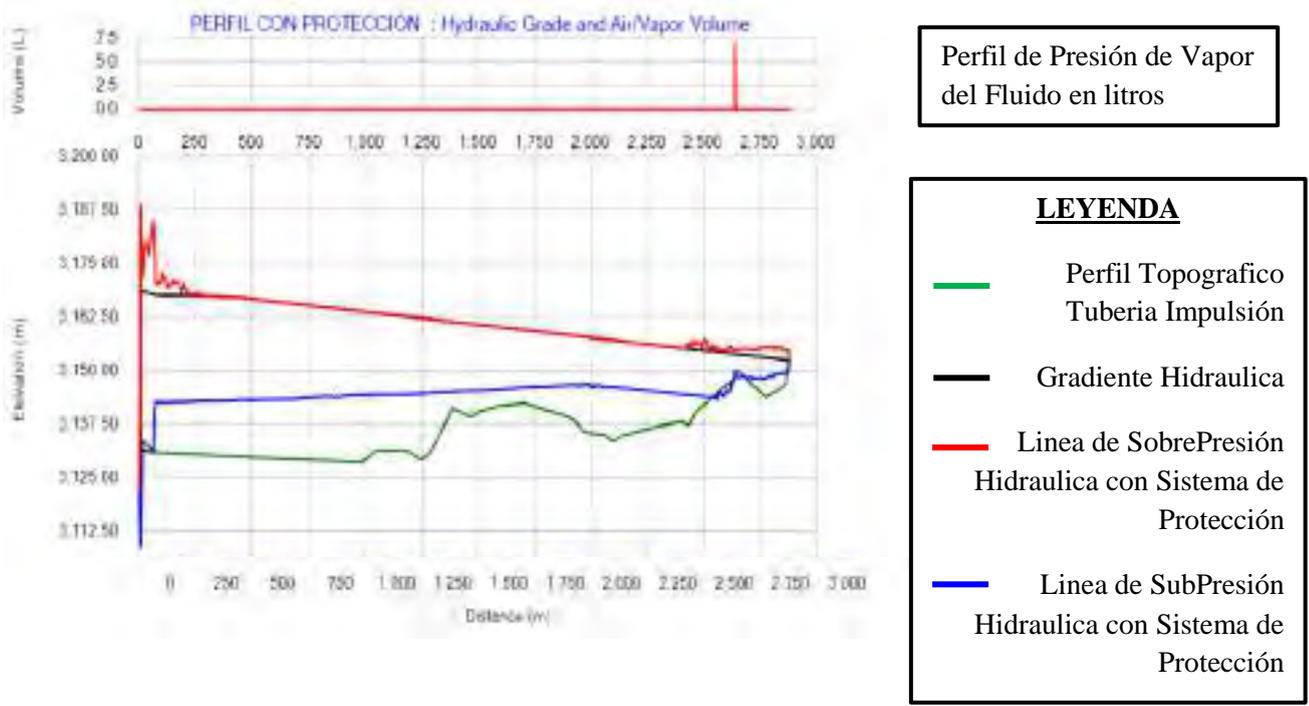


Figura 64 : Transitorios Hidráulicos tramo Piñipamp Rumicolca con protección- condición máxima de producción de agua (Elaboración Propia)

¹ HFD.- Hierro Fundido Dúctil.

² PMA.- Presión Máxima Admisible (incluye la presión por golpe de ariete).

³ PFA.- Presión de Funcionamiento Admisible

Como se aprecia en el gráfico anterior, las sobre presiones han disminuido a un orden de 69.99 m.c.a , estas serán absorbidas por la clase de la tubería k7, que equivalen a la tubería (C-25), y en el caso de las sub presiones alcanzan un valor mínimo de 1.61 m.c.a. valores que son absorbidos por la tubería de acuerdo a la NTP ISO 3125 (-9 m.c.a.), por consiguiente, la utilización de los 05 tanques hidro neumáticos garantizan la operación de este tramo de la línea de impulsión sin problema alguno.

5.2.2.8.2 TRAMO 02 RUMICOLCA – COLLANA.

❖ SIMULACIÓN HIDRÁULICA.

Se ha considerado la simulación con 02 bombas tipo turbina vertical para la simulación hidráulica con sus respectivos equipos de protección. Las características de las bombas, así como los resultados de la simulación se pueden apreciar en el Anexo de la presente tesis.

El perfil hidráulico del sistema es el siguiente:

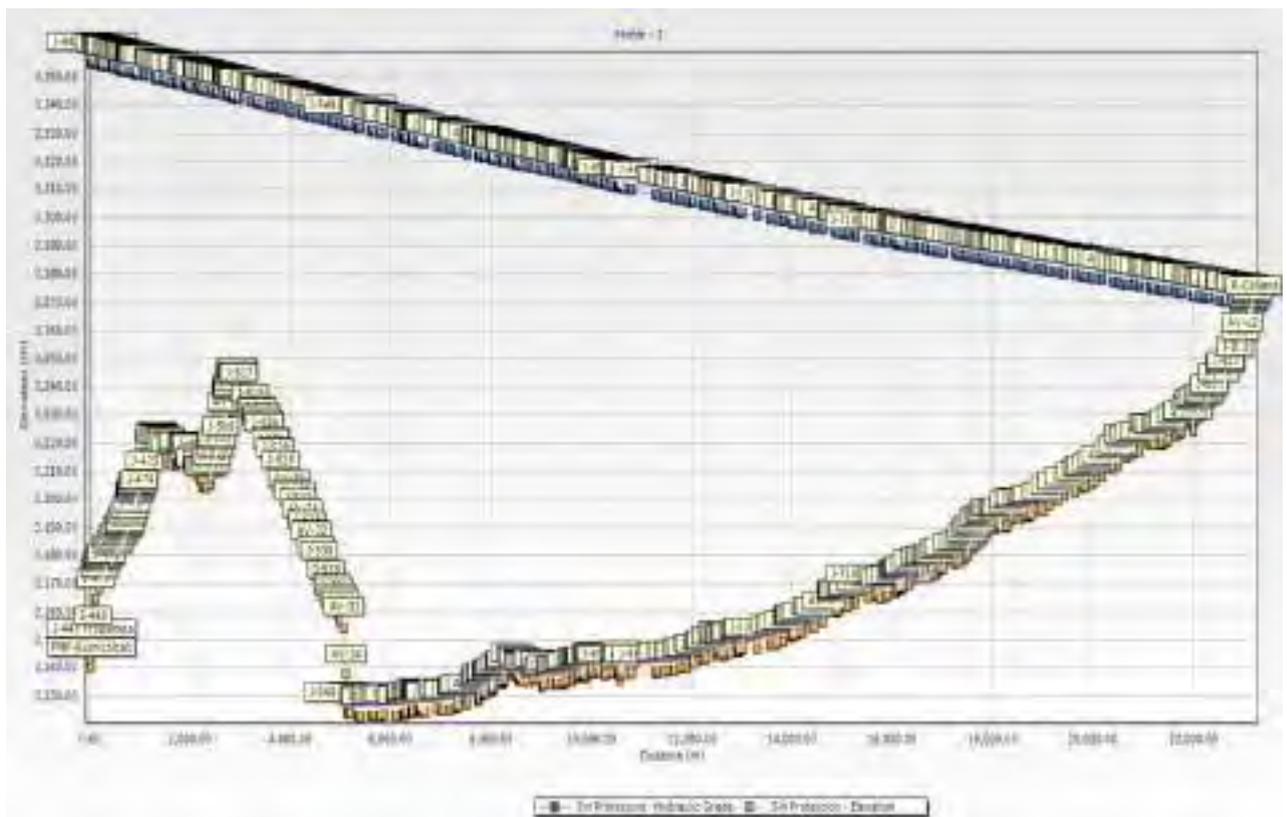


Figura 65 : Línea de Gradiente Hidráulica Tramo Rumicolca Collana – máxima de producción de agua (Elaboración Propia)

❖ SIMULACIÓN DEL TRANSITORIO HIDRÁULICO.

El escenario desarrollado para el análisis de los transitorios hidráulicos es la parada intempestiva de las 02 bombas en la cisterna EXISTENTE de la estación de bombeo de Rumicolca.

La Simulación del Transiente Hidráulico se ha realizado en dos escenarios:

- El primero para verificar las sobre presiones y sub presiones en caso no se considere ningún sistema de protección y
- El segundo escenario considerando los sistemas de protección para transitorios.

➔ TRANSITORIOS HIDRÁULICOS SIN PROTECCIÓN.

Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se interpretan en el siguiente gráfico:

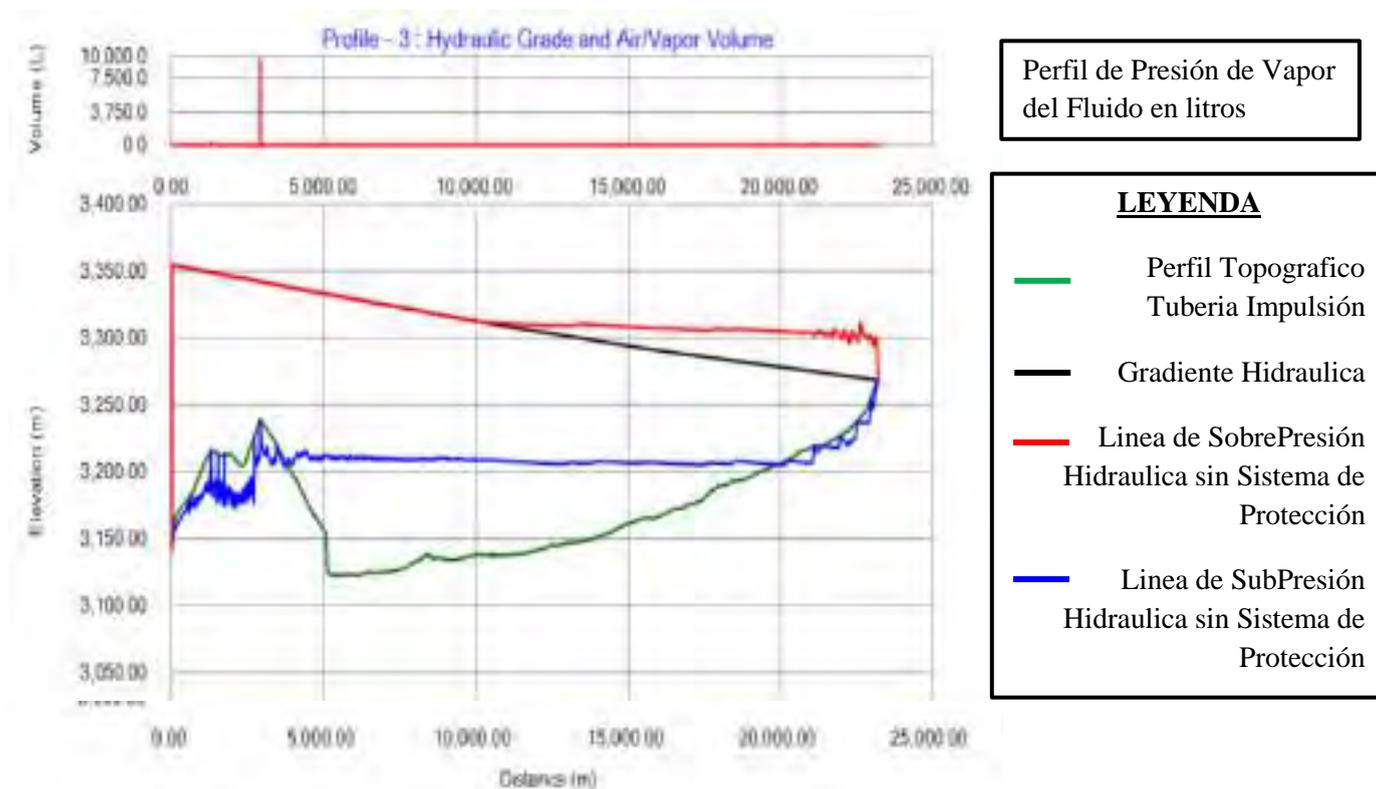


Figura 66 : Línea de Gradiente Hidráulica Tramo Rumicolca Collana – sin sistema de protección (Elaboración Propia)

Como se aprecia en el gráfico anterior, existen sobre presiones del orden de 170 m.c.a., estas podrían ser absorbidas por la clase de la tubería k7 que equivale a una (C-25); en el caso de las presiones negativas, estas sobrepasan los -9 mca.

Recomendados por la NTP ISO 3125, por consiguiente, se requiere considerar los sistemas de protección para evitar problemas de operación.

Es necesario señalar que los transitorios son solicitudes a la tubería ocasionales, al respecto la norma de tuberías HDF indica que la tubería de HDF⁴ debe tener una PMA⁵ de 1.2 veces la PFA⁶. Eso quiere decir que la tubería C-25 puede soportar transitorios del orden de 30 bares (300 m.c.a.).

➔ TRANSITORIOS HIDRÁULICOS CON SISTEMA DE PROTECCIÓN.

Para la simulación del Transiente Hidráulico se ha considerado la operación de 02 tanques hidroneumáticos con vejiga de 15,000 litros ubicado en la estación de bombeo 02 y el segundo de 48,000 litros cada uno ubicados en el sector de Pikillaqta.

Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se interpretan en el siguiente gráfico:

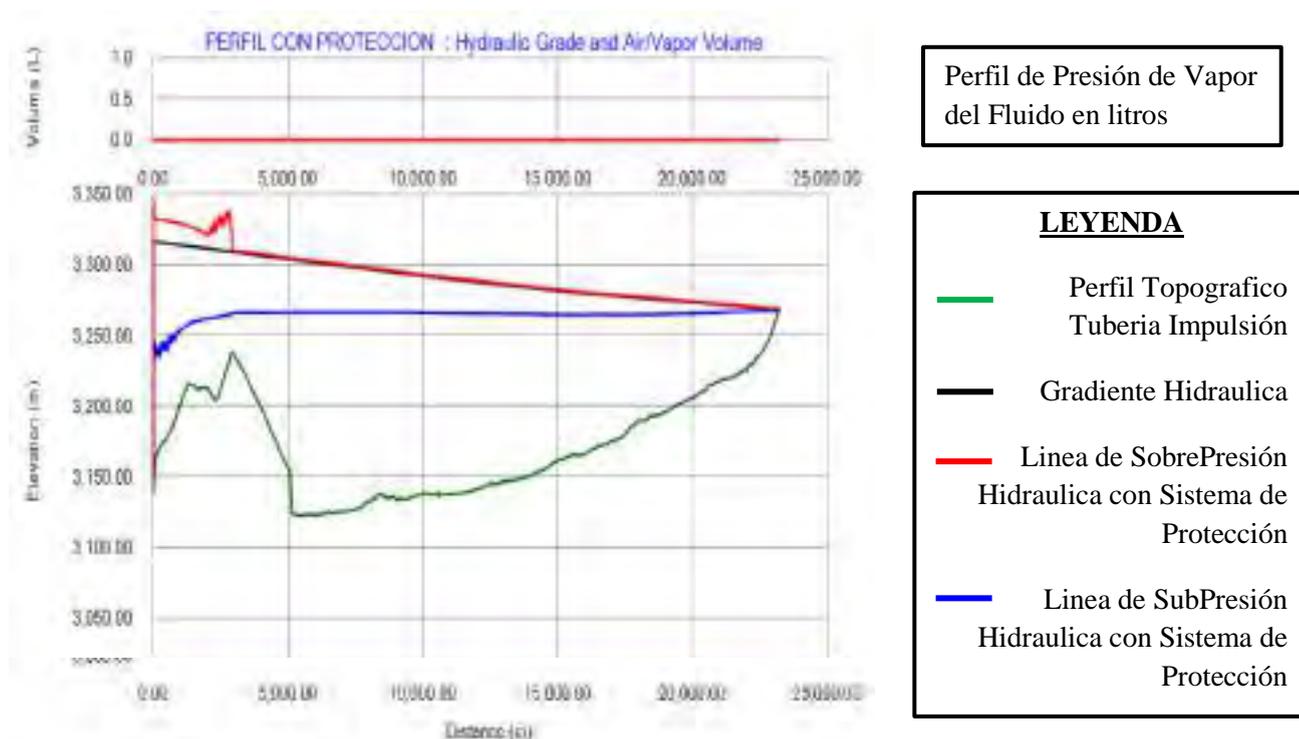


Figura 67 : Transitorio Hidraulico – Tramo Rumicolca Collana con Proteccion (Elaboración Propia)

⁴ HFD.- Hierro Fundido Dúctil.

⁵ PMA.- Presión Máxima Admisible (incluye la presión por golpe de ariete).

⁶ PFA.- Presión de Funcionamiento Admisible

Como se aprecia en el gráfico anterior, las sobre presiones han disminuido al orden de 175.00 m.c.a., estas serán absorbidas por la clase de la tubería k7 que equivale a una (C-25), y en el caso de las sub presiones estas se encuentran por la línea del perfil de tubería por lo tanto no está sometido a subpresiones, por consiguiente, la utilización de los 02 tanques hidro-neumáticos garantizan la operación de este tramo de la línea de impulsión sin problema alguno.

5.2.2.8.3 TRAMO 03 ESTACIÓN DE BOMBEO DE COLLANA A RESERVORIO R12 .

❖ SIMULACIÓN HIDRÁULICA.

Para la simulación del Transiente Hidráulico se ha considerado la operación de 01 tanque hidroneumáticos con vejiga de 15,000 litros ubicado en la estación de bombeo 03.

El perfil hidráulico del sistema es el siguiente:

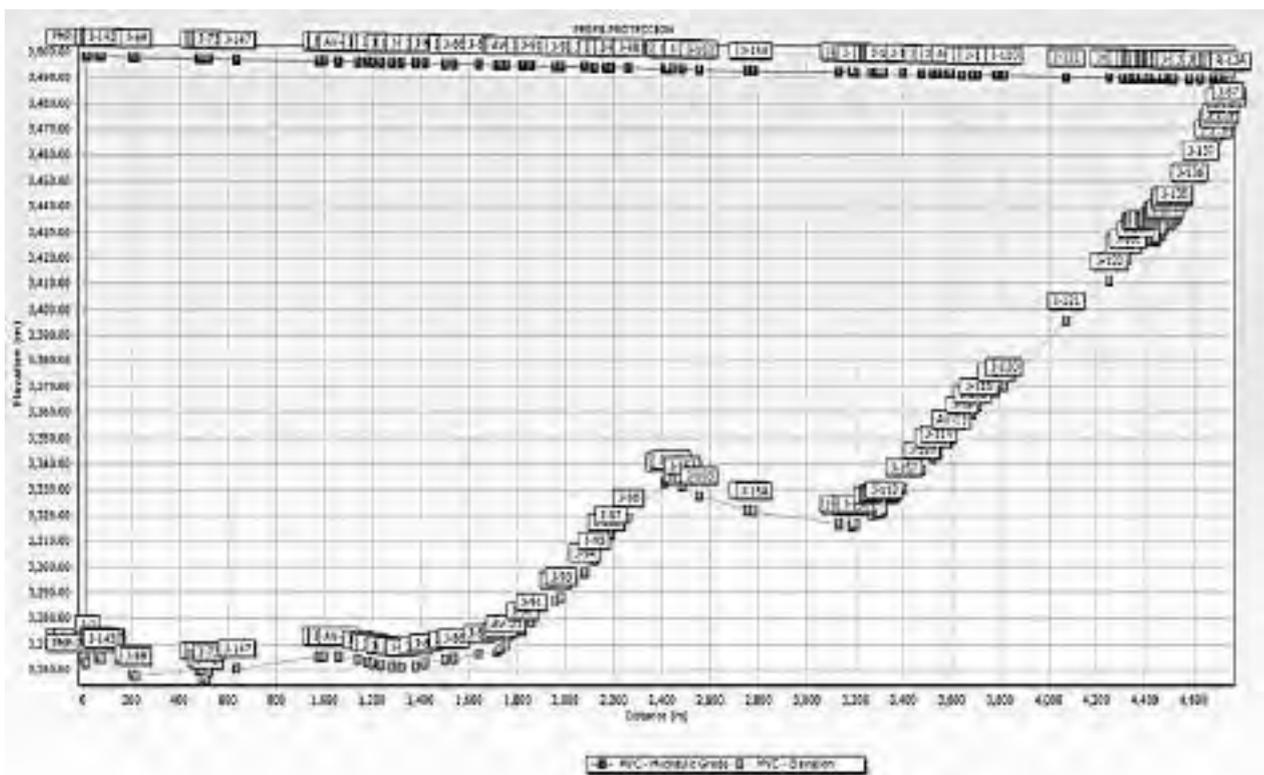


Figura 68 : Línea de gradiente hidráulica Tramo Collana a R12, condición de máxima explotación hidráulica (Elaboración Propia)

❖ SIMULACIÓN DE TRANSITORIO HIDRÁULICO

El escenario desarrollado para el análisis de los transitorios hidráulicos es la parada intempestiva de las 02 bombas en la cisterna en la estación de bombeo existente de Collana.

La Simulación del Transiente Hidráulico se ha realizado en dos escenarios:

- El primero para verificar las sobre presiones y sub presiones en caso no se considere ningún sistema de protección y
- El segundo escenario considerando los sistemas de protección para transitorios.

➔ TRANSITORIOS HIDRÁULICOS SIN PROTECCIÓN.

Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se

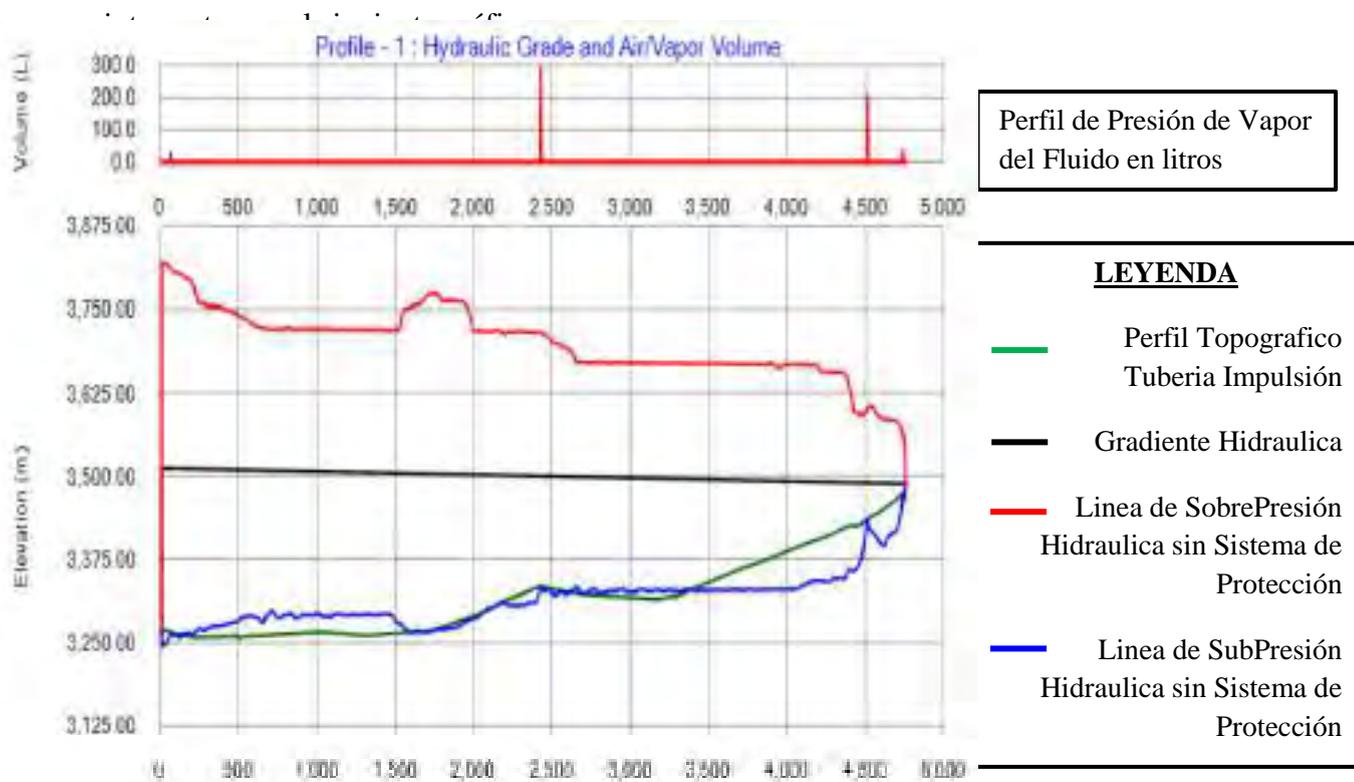


Figura 69 : Transitorio Hidraulico Tramo Collana a R12, sin sistema de protección (Elaboración Propia)

Como se aprecia en el gráfico anterior, existen presiones del orden de 505.88 m.c.a., estas no podrían ser absorbidas por la clase de la tubería k7 equivalente a una (C-25); en el caso de las presiones negativas, estas sobrepasan los -9 mca. (-67.60 m.c.a.). Recomendados por la NTP ISO 3125, por consiguiente, se requiere considerar los sistemas de protección para evitar problemas de operación.

Es necesario señalar que los transitorios son solicitudes a la tubería ocasionales, al respecto la norma de tuberías HDF indica que la tubería de HDF⁷ debe tener una PMA⁸ de 1.2 veces la PFA⁹. Eso quiere decir que la tubería C-25 puede soportar transitorios del orden de 30 bares (300 m.c.a.).

➔ TRANSITORIOS HIDRÁULICOS CON SISTEMA DE PROTECCIÓN.

Para la simulación del Transiente Hidráulico se ha considerado la operación de 01 tanque hidroneumático con vejiga, de 15,000 litros ubicada en la estación de bombeo de Collana.

Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se interpretan en el siguiente gráfico:

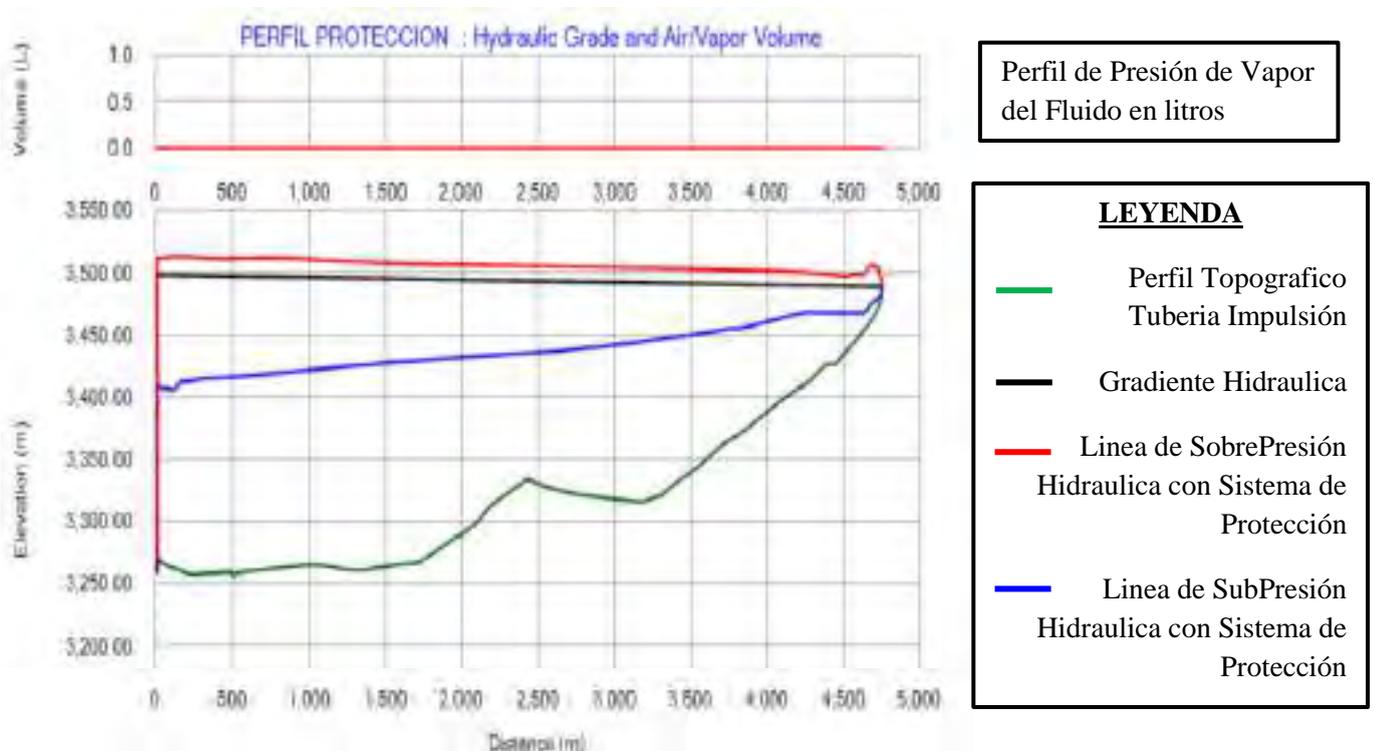


Figura 70 : Transitorio Hidraulico Tramo Collana a R12, con sistema de protección (Elaboración Propia)

Como se aprecia en el gráfico anterior, las sobre presiones han disminuido al orden de 249.46 m.c.a., estas serán absorbidas por la clase de la tubería k7 y k9 que equivale a una (C-25) y (C-30) respectivamente , y en el caso de las sub presiones estas se encuentran por encima del perfil de la tubería de impulsión por lo tanto estos valores

⁷ HFD.- Hierro Fundido Dúctil.

⁸ PMA.- Presión Máxima Admisible (incluye la presión por golpe de ariete).

⁹ PFA.- Presión de Funcionamiento Admisible

son absorbidos por los equipos de protección y la tubería de acuerdo a la NTP ISO 3125 (-9 m.c.a.), por consiguiente, la utilización de un tanque hidroneumático y la válvula anticipadora de onda, garantizan la operación de este tramo de la línea de impulsión sin problema alguno.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.3.1 RESULTADO Y DISCUSIÓN DE LA EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN

De la evaluación Hidráulica analizada se puede, observar que se tienen las condiciones hidráulicas necesarias en condiciones actuales para impulsar el recurso hídrico de una estación de bombeo a otra, a pesar de ya haber cumplido su periodo de vida útil la infraestructura existente , y el envejecimiento de la tubería.

Por otro lado para el escenario de máxima producción, se cumpliría las mismas condiciones hidráulicas similares a las evaluadas en condiciones actuales de explotación, dado que la línea de gradiente hidráulica .

A continuación se exponen el resumen de resultados para los 2 escenarios de análisis.

b) Para las condiciones actuales de operación:

- ❖ Altura dinámica total :
 - ✓ Tramo Pinipampa a Rumicolca: 32.87 m.c.a
 - ✓ Tramo Rumicolca a Collana: 179.21 m.c.a
 - ✓ Tramo Collana a R12 : 220.17 m.c.a
- ❖ Caudal de impulsión:
 - ✓ Tramo pinipampa Rumicolca : 473.28 L/S
 - ✓ Tramo rumicolca a Collana : 430.00 L/S
 - ✓ Tramo collana a R12 : 420.00 L/S
- ❖ Perdida de carga:
 - ✓ Tramo Pinipampa Rumicolca: 6.74 m.c.a
 - ✓ Tramo Rumicolca a Collana: 54.12 m.c.a
 - ✓ Tramo collana a r12 : 8.42 m.c.a

- ❖ Potencia Requerida por las bomba :
 - ✓ Tramo Pinipampa Rumicolca: 257.69 HP
 - ✓ Tramo Rumicolca a Collana: 1276.34 HP
 - ✓ Tramo Collana a R12 : 1531.62 HP
- c) Para las condiciones Máximas de Operación :
- ❖ Altura dinámica total :
 - ✓ Tramo pinipampa rumicolca: 42.97 m.c.a
 - ✓ Tramo rumicolca a collana: 251.08 m.c.a
 - ✓ Tramo collana a r12 : 237.47 m.c.a
 - ❖ Caudal de impulsión:
 - ✓ Tramo pinipampa rumicolca : 775.76 L/S
 - ✓ Tramo rumicolca a collana : 678.64 L/S
 - ✓ Tramo collana a r12 : 767.72 L/S
 - ❖ Perdida de carga:
 - ✓ Tramo pinipampa rumicolca: 16.84 m.c.a
 - ✓ Tramo rumicolca a collana: 125.99 m.c.a
 - ✓ Tramo collana a r12 : 25.72 m.c.a
 - ❖ Potencia Requerida por las bomba :
 - ✓ Tramo pinipampa rumicolca: 552.10 HP
 - ✓ Tramo rumicolca a collana: 2822.20 HP
 - ✓ Tramo collana a r12 : 3019.64 HP

TABLA N° 35 : CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR TRAMOS – ESCENARIO 1 (CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO)

TRAMO	DESCRIPCION	LONG. L (m)	DIAMET RO mm.	COTA DEL TERRENO		COEF RUGOCIDAD © - PARA TUBERIA ANTIGÜEDAD >20 AÑOS	DESNIVEL DE TERRENO (m)	CAUDAL Ips Q Producción Maxima (l/s)	PERDIDA DE CARGA CALCULADA hF (m/m)	VELOC V (m/s)	COTA LINEA DE GRADIENTE			PRESION FINAL (m)
				INICIAL (m.s.n.m)	FINAL (m.s.n.m)						INICIAL (m.s.n.m)	Perdida de carga del tramo	FINAL (m.s.n.m)	
1	Piñipampa a Rumicolca (2 Bombas)	2607.00	708.4	3121.76	3147.89	105	-26.13	473.28	0.003	1.20	3163.76	6.74	3157.02	9.13
2	Rumi a Collana (1 Bomba)	24988.70	708.4	3142.39	3267.48	105	-125.09	430.00	0.002	1.09	3342.39	54.12	3288.27	20.79
3	Collana - R-12 (1 Bombas)	4059.00	708.4	3261.98	3473.74	105	-211.755	420.00	0.002	1.07	3488.98	8.42	3480.56	6.83
TOTAL		31654.70												

ADT		POTENCIA		CUMPLE POTENCIA
ADT CALCULADO	ADT DE BOMBAS EXISTENTES	POTENCIA REQUERIDA (HP)	POTENCIA EXISTENTE (HP)	
32.87	42.00	257.69	300.00	SI
179.21	200.00	1,276.34	1,200.00	SI
220.17	227.00	1,531.62	1,600.00	SI

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 36 : CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR TRAMOS – ESCENARIO 2 (CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN)

TRAMO	DESCRIPCION	LONG. L (m)	DIAMET RO mm.	COTA DEL TERRENO		COEF RUGOCIDAD © - PARA TUBERIA ANTIGÜEDAD >20 AÑOS	DESNIVEL DE TERRENO (m)	CAUDAL Ips Q Producción Maxima (l/s)	PERDIDA DE CARGA CALCULADA hF (m/m)	VELOC V (m/s)	COTA LINEA DE GRADIENTE			PRESION FINAL (m)
				INICIAL (m.s.n.m)	FINAL (m.s.n.m)						INICIAL (m.s.n.m)	Perdida de carga del tramo	FINAL (m.s.n.m)	
1	Piñipampa a Rumicolca (4 Bombas)	2,607.00	708.40	3,121.76	3,147.89	105.00	-26.13	775.76	0.01	1.97	3,163.76	16.84	3,146.92	-0.97
2	Rumi a Collana (2 Bombas)	24,988.70	708.40	3,142.39	3,267.48	105.00	-125.09	678.64	0.01	1.72	3,342.39	125.99	3,216.40	-51.08
3	Collana - R-12 (2 Bombas)	4,059.00	708.40	3,261.98	3,473.74	105.00	-211.76	767.72	0.01	1.95	3,488.98	25.72	3,463.26	-10.47
TOTAL		31654.70												

ADT		POTENCIA		CUMPLE POTENCIA
ADT CALCULADO	ADT DE BOMBAS EXISTENTES	POTENCIA REQUERIDA (HP)	POTENCIA EXISTENTE (HP)	
42.97	42.00	552.10	600.00	SI
251.08	200.00	2,822.20	2,400.00	SI
237.47	227.00	3,019.64	3,200.00	SI

Fuente: Elaboración Propia

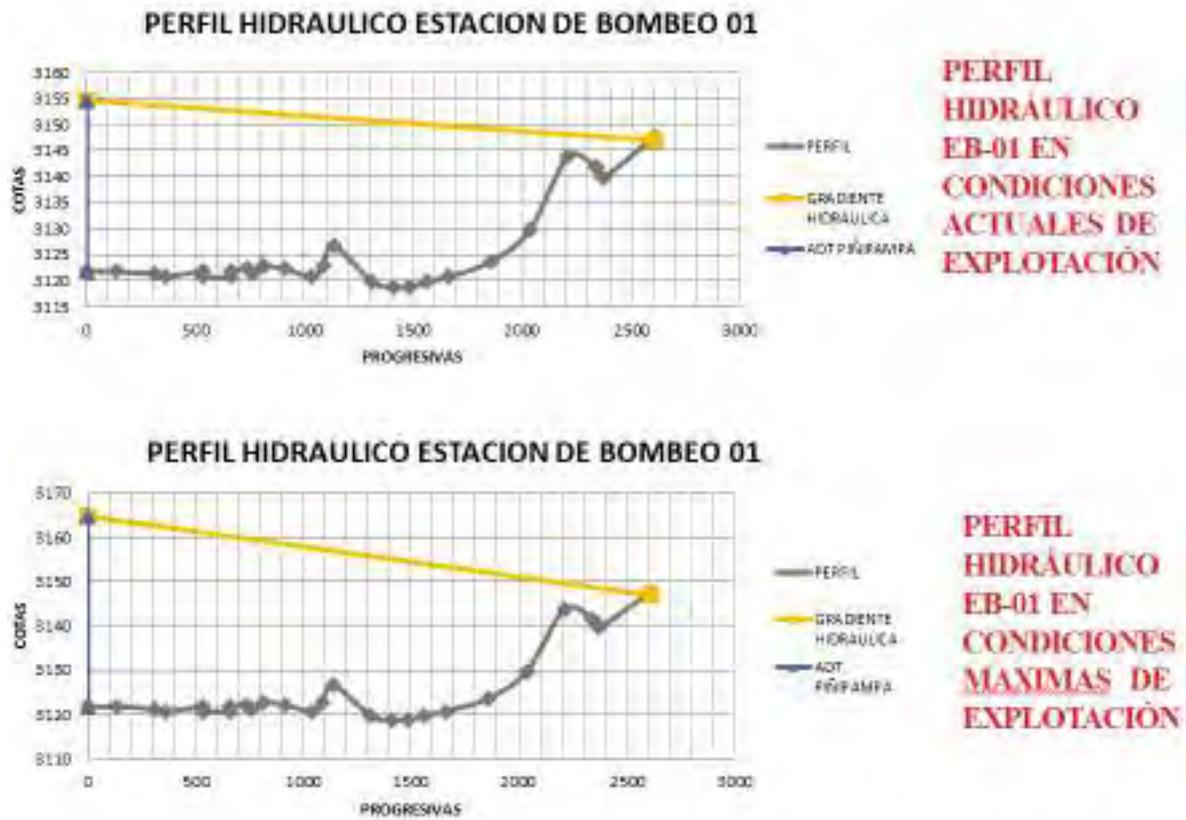


Figura 71 : Evaluación Hidráulica estación de bombeo 01 Pinipampa (Elaboración Propia)



Figura 72 : Evaluación Hidráulica estación de bombeo 02 Rumicolca (Elaboración Propia)



Figura 73 : Evaluación Hidráulica estación de bombeo 03 Collana (Elaboración Propia)

5.3.2 RESULTADO Y DISCUSIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL TRANSITORIO HIDRÁULICO EN CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN

De la evaluación Hidráulica de transitorio analizada se puede, observar que: para el escenario de máxima producción, sin los dispositivos de protección antigolpe de ariete, por la ocurrencia intempestiva del apagado de las bombas por un corte eléctrico, el sistema de abastecimiento Vilcanota colapsaría , dejando desabastecida a la ciudad del cusco; debido a que las presiones máximas y mínimas del Transitorio sobrepasarían las presiones de fabricación de las tuberías y demás componentes del sistema (válvulas de aire, purga, control, etc), por lo tanto se hace indispensable la ubicación de los mismos en la línea de impulsión.

Solo se ha simulado las condiciones de máxima producción hidráulica, debido a que en este escenario se producirán las máximas sobrepresiones y subpresiones a las cuales va a estar sometido el sistema de impulsión Vilcanota.

La medición en campo de transitorio hidráulico, demuestra el amortiguamiento y descenso progresivo de presión, para las estaciones de bombeo de Rumicolca y Collana respectivamente, esto debido a que en el recorrido de la línea de impulsión, se tiene Instalado dispositivos de protección antiarriete (Tanque Hidroneumatico) que reducen drásticamente las presiones asumidas por la tubería.

A continuación se exponen el resumen de resultados para los 2 escenarios de análisis.

a) Para las condiciones actuales de operación (Medición Insitu) :

❖ Ecuación de Ascenso de SOBREPRESIONES :

✓ Tramo Pinipampa Rumicolca: No se realizó medición por no contar el sistema con puntos de medición a la salida de las bombas (Limitante de estudio) .

✓ Tramo Rumicolca a Collana (curva amortiguada) :

$$\text{Tiempo(segundos)} = 24.344 * e^{-0.004 \text{ presión (bares)}}$$

✓ Tramo Collana a R12 : 237.47 m.c.a (curva sinusoidal) :

$$\text{Tiempo(segundos)} = 28.614 * e^{-0.002 \text{ presión (bares)}}$$

❖ Ecuación de descenso de SUBPRESIONES :

✓ Tramo Pinipampa Rumicolca: No se realizó medición por no contar el sistema con puntos de medición a la salida de las bombas (Limitante de estudio) ..

✓ Tramo Rumicolca a Collana (curva amortiguada) :

$$\text{Tiempo(segundos)} = 7.3848 * e^{-0.0014 \text{ presion (bares)}}$$

- ✓ Tramo Collana a R12 : 237.47 m.c.a (curva sinusoidal) :

$$\text{Tiempo(segundos)} = 13.056 * e^{0.0022 \text{ presion (bares)}}$$

b) Para las condiciones de Máxima Producción (SIMULACIÓN HIDRÁULICA) :

❖ ESCENARIO 01 SIN SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIARIETE :

- ✓ Tramo Pinipampa Rumicolca:

- Sobre presión máxima : 325 m.c.a
- Sub presión mínima : 50 m.c.a

- ✓ Tramo Rumicolca a Collana (curva amortiguada) :

- Sobre presión máxima : 170 m.c.a
- Sub presión mínima : 50 m.c.a

- ✓ Tramo Collana a R12 : 237.47 m.c.a (curva sinusoidal) :

- Sobre presión máxima : 505.88 m.c.a
- Sub presión mínima : 67.60 m.c.a

❖ ESCENARIO 02 SIN SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIARIETE :

- ✓ Tramo Pinipampa Rumicolca:

- Sobre presión máxima : 69.99 m.c.a
- Sub presión mínima : 1.61 m.c.a

- ✓ Tramo Rumicolca a Collana (curva amortiguada) :

- Sobre presión máxima : 175 m.c.a
- Sub presión mínima : 0 m.c.a (la línea de subpresión está por encima del perfil de la tubería de impulsión)

- ✓ Tramo Collana a R12 : 237.47 m.c.a (curva sinusoidal) :

- Sobre presión máxima : 249.46 m.c.a
- Sub presión mínima : 0 m.c.a (la línea de subpresión está por encima del perfil de la tubería de impulsión).

**TABLA N° 37 : RESUMEN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ANTIARIETE
POR TRAMO**

DESCRIPCIÓN	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN
ESTACIÓN DE BOMBEO 01 : PINIPAMPA	1 TANQUE HIDRO-NEUMATICO (15'000 LITROS) 04 CALDERINES ANTIARIETE (1'000 LITROS)
ESTACIÓN DE BOMBEO 02: RUMICOLCA	1 TANQUE HIDRONEUMATICO (15'000 LITROS) 02 VALVULAS ANTICIPADORAS DE ONDA 1 TANQUE HIDRONEUMATICO DE 47'000 LITROS)
ESTACIÓN DE BOMBEO 03: COLLANA	1 TANQUE HIDRONEUMATICO (15'000 LITROS) 02 VÁLVULAS ANTICIPADORAS DE ONDA 1'000 LITROS)

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- **CONCLUSIÓN 01.**

Se logró demostrar la Hipótesis General que dice: **“EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA VILCANOTA PUEDE FALLAR CUANDO ESTE TRABAJE A SU CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN POR LA FALTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN ANTI ARIETE”**, como se puede apreciar en los gráficos 47, 48, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 58 y 59 ; donde se expone las sobrepresiones y sub presiones que tiene que vencer la línea de impulsión en cada sub estación de bombeo, las mismas que superan la capacidad máxima de la tubería (catálogo de fabricante); por lo tanto el adecuado funcionamiento de cada una de estas, depende de los dispositivos y equipos de protección anti ariete y la falta de mantenimiento de los mismos, expone el abastecimiento de agua a la ciudad del cusco, además de presentar un incremento en los costos de producción de agua (operación y mantenimiento) (Tabla N°50) .

- **CONCLUSIÓN 02.**

Se logró demostrar la Sub-Hipótesis Especifica 01 que dice: **“EXISTE PICOS MÁXIMOS DE SOBREPRESIONES MÁXIMAS QUE INFLUIRÁN NEGATIVAMENTE EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO A LARGO PLAZO”**, como se puede apreciar en los gráficos 52, 55 y 58 ; y el resumen de resultados de la Pag 158 y 159 ; donde se expone las sobrepresiones Máximas en cada sub sistema de impulsión, existiendo picos de máximas presiones debido a la topografía y disposición en perfil de la tubería, las cuales solamente son vencidas por la clase de tubería, cuando están acompañadas de los dispositivos y/o equipos de protección anti ariete. (tanque hidroneumático y válvulas anticipadoras de onda) .

- **CONCLUSIÓN 03.**

Se logró demostrar la Sub-Hipótesis Especifica 02 que dice: **“EXISTE PICOS MÍNIMOS DE SUB PRESIÓN MÁXIMAS QUE INFLUIRÁN NEGATIVAMENTE EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO A LARGO PLAZO”**, como se puede

apreciar en los gráficos 52, 55 y 58; y el resumen de resultados de la página 143 ; donde se expone las sub presiones Mínimas en cada sub sistema de impulsión, existiendo picos de mínimos de presión que superan los 9 m.c.a de presión, según recomiendan los fabricantes de tuberías de hierro dúctil; las cuales solamente son vencidas por la clase de tubería, cuando están acompañadas de los dispositivos y/o equipos de protección anti ariete (tanque hidroneumático) .

- **CONCLUSIÓN 04.**

Se logró demostrar la Sub-Hipótesis Especifica 03 que dice: **“EXISTE UN INCREMENTO DE LA PERDIDA DE CARGA EN LAS LÍNEAS DE IMPULSIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA VILCANOTA QUE INFLUYEN NEGATIVAMENTE EN EL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO ”**, como se puede apreciar en los gráficos 71,72,73 ; donde se observa las pérdidas de carga en condiciones actuales y máximas de explotación de agua potable, las cuales se han visto incrementadas por el envejecimiento de la tubería de impulsión y el incrustamiento de carbonatos, los cuales han reducido el diámetro de la tubería y reducen la capacidad de conducción del sistema de abastecimiento actual.

RECOMENDACIONES

- **RECOMENDACIÓN N° 01:**

El análisis descriptivo de la Variable: Transitorio Hidráulico, nos muestra las variaciones de Presión Positiva (+) y Negativa (-) que experimentan las 03 líneas de Impulsión del Sistema de Abastecimiento de Agua Vilcanota, así como también la importancia de los dispositivos y/o equipos de protección antiariete, para un adecuado funcionamiento hidráulico y no se tenga desabastecida la ciudad del Cusco; por tal motivo, se recomienda que la EPS. SEDA CUSCO, realice un control más eficiente en la Producción de Agua, incrementando el número de mantenimientos periódicos a lo largo de todo el año de toda su infraestructura y adquiera de un mayor número de dispositivos de Protección Antiariete con fines de reserva en situaciones de emergencia.

- **RECOMENDACIÓN N° 02:**

Si bien es cierto, se ha demostrado la existencia de picos máximos de sobrepresión que influyen significativamente en el funcionamiento hidráulico del Sistema de Abastecimiento, sin embargo debido a la limitante de poder realizar mediciones de la presión máxima en condiciones sin protección, se recomienda que la EPS SEDA CUSCO instale a lo largo de la línea de impulsión puntos de medición intermedios, para monitorear las presiones de trabajo y no se presente deterioro prematuro de las tuberías.

- **RECOMENDACIÓN N° 03:**

Si bien es cierto, se ha demostrado la existencia de picos mínimos de sub presión que influyen significativamente en el funcionamiento hidráulico del Sistema de Abastecimiento, sin embargo debido a la limitante de poder realizar mediciones de la presión mínima en condiciones sin protección, se recomienda que la EPS SEDA CUSCO, realice la evaluación hidráulica para la instalación de Valvulas de aire de 4 efectos antigolpe de ariete, al inicio de cada estación de bombeo, y se minimice este parámetro.

- **RECOMENDACIÓN N° 04:**

Finalmente, se recomienda que la EPS SEDA CUSCO, a través de la Gerencia de Operaciones, dependencia que tiene a su cargo la operación y mantenimiento del Sistema de Abastecimiento de Agua Vilcanota, incluya dentro de su Plan Estratégico, la compra de

los equipos de protección antiariete para situaciones de emergencia, debido a que su comercialización en el mercado, es muy escasa por los pocos proveedores que ofrecen este producto, además de ser un bien material cuya adquisición está sujeta a procedimientos administrativos que demorarían mínimamente 06 meses.

REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu J. M., Guargua R., Izquierdo J. (1990).** “Transitorios y Oscilaciones en Sistemas Hidraulicos a Presión”, Primera Edición .
- Álvarez M. W. y Quispe O. W. (1992).** “*Proyecto de abastecimiento de agua potable y desagüe de la localidad de Qquehuar*”, Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
- Arocha R. S. (1985).** “*Abastecimiento de agua teoría y diseño*”, Primera Edición Caracas, Venezuela. Ediciones Vega S.R.L.
- Bentley Systems Institute (2009).** “ *Manual Bentley HAMMER™ V8i, Transient Analysis and Design(metric) – Version V8i*”, Mexico.
- BERMAD PERU (2020).** “*Tanque tipo vejiga*”, *Catalogo de fabricante protección contra golpes de ariete, Peru.*
- BERMAD PERU (2020).** “*Valvula de aire Combinada*”, *Catalogo de fabricante protección contra golpes de ariete – Serie C-70, Peru*
- BERMAD PERU (2020).** “*Valvula de Control anticipadora de onda*”, *Catalogo de fabricante protección contra golpes de ariete – Serie 700, Peru.*
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS,1992).** “*Agua Calidad y Tratamiento para Consumo Humano*”.
- Caceres Neira Alejandro (2005).** “*Problemas de Hidráulica II*” “ Universidad Nacional de Ingeniería , LIMA – PERÚ .
- De la Fuente S. J. (2000)** “*Planeacion y diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable* ”, Primer Edicion, México, Ediciones IPN ESIA.
- E.P.S Seda Cusco. (2022).** “*Manual De Operación Y Mantenimiento Sistema Vilcanota*”, Departamento de operaciones Seda Cusco, Perú.
- Gandarillas P. I. (2017),** “*transitorios hidráulicos en impulsiones. causas, herramientas de simulación y diseño de las protecciones. análisis comparativo de las principales soluciones con especial atención a las ventosa*”, Jornada Tecnica la función de las válvulas en redes de Riego, España.
- Hernández S. (2022).** “*Metodología de la investigación*”, Quinta Edicion, México. McGraw-HILL / Interamericana Editores, S.A.
- Herran S.A.(2014).** “*Tanque Hidroneumaticos . Calculo de la Capacidad* ”, Nota

Tecnica, Ingetec, S.A., Colombia

- Jimenez M. (2013).** “*Diseño óptimo de cámaras de aire para mitigar los efectos de los transitorios generados por paro de equipos de bombeo en acueductos* ”, XII Simposio Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento de agua y drenaje urbano, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Malpartida L. C. y Umeres M. (2005)** “*Evaluación y optimización hidráulica del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad del Cusco*”, Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2018)**, “*Reglamento Nacional de Construcciones*”, Versión Actualizada. Editorial Macro Lima, Perú.
- Miller M. R. (2000)**, “Protección contra transitorios hidráulicos de la instalación de refuerzo mediante depósito hidroneumático”, Revista DAW
- Monteagudo V. R. y Quispe R. E. (2013).** “*Determinación del comportamiento hidráulico del acuífero de piñipampa bajo condiciones actuales de explotación*”, Tesis de Grado, Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Mott R. (2006).** “*Mecánica de fluidos e hidráulica*”, Sexta edición, México, Ediciones Prentice Hall
- Netto Azevedo Guillermo (1975).** “*Manual de hidráulica*”, Sexta edición, Sao Paulo, Brasil, Editorial Edgard Blucher LTDA.
- Ormachea C. J. (2004).** “*Abastecimiento de agua y alcantarillado*”, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
- PAM SAINT GOBAIN(2018)** . “*Compendio técnico – abastecimiento de agua*”, Lima, Peru
- Sanz P. E. y Ignacio M. (2006).** “*Hidráulica Subterránea*”, Segunda edición, España, Ediciones Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Editorial Garceta.
- Vierendel. (2009).** “*Abastecimiento de Agua y Alcantarillado*”, Cuarta edición, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Villon B. M. (2005).** “*Drenaje*”, 2da edición, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Agrícola, Lima, Perú.

ANEXO 01: MARCO CONCEPTUAL (PALABRAS CLAVE).

A

I. ABATIMIENTO.

Reducción del nivel del agua en un pozo debido a una extracción sostenida. El abatimiento es una función de las propiedades del acuífero y las características del pozo incluyendo su construcción.

II. ACUÍFERO.

Estrato subterráneo saturado de agua del cual ésta fluye fácilmente.

III. ACUÍFERO LIBRE.

En estos acuíferos, al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente, el agua alcanza un nivel que sería el mismo que tendría dentro de la formación geológica, es decir el nivel freático (nivel real) coincide con el nivel Piezométrico (nivel ideal que alcanzaría el agua a presión atmosférica).

IV. ACUÍFEROS CONFINADOS.

Son aquellos que están recubiertos por un terreno impermeable. El agua se encuentra a una presión superior a la atmosférica. Cuando se perfora un pozo en este tipo de acuíferos el agua asciende por él hasta alcanzar una altura que se denomina nivel piezométrico.

V. AGUA SUBTERRÁNEA.

Agua localizada en el subsuelo y que generalmente requiere de excavación para su extracción.

VI. AFLORAMIENTO.

Son las fuentes o surgencias, que en principio deben ser consideradas como aliviaderos naturales de los acuíferos.

B

I. BOMBA.

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y/o a diferentes velocidades.

II. BOMBEO.

Es la adición de energía a un líquido por una bomba para ser desplazado de un punto a otro.

C

I. CALIDAD DE AGUA.

Características físicas, químicas, y bacteriológicas del agua que la hacen aptas para el consumo humano, sin implicancias para la salud, incluyendo apariencia, gusto y olor.

II. CAUDAL MÁXIMO DIARIO.

Caudal más alto en un día, observado en el periodo de un año, sin tener en cuenta los consumos por incendios, pérdidas, etc.

III. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (R.N.E.).

Caudal más alto en un día, observado en el periodo de 1 año, sin tener en cuenta los consumos por incendios, pérdidas, etc.

D

I. DEPRESIÓN.

Entendido como abatimiento, es el descenso que experimenta el nivel del agua cuando se está bombeando o cuando el pozo fluye naturalmente. Es la diferencia, medida en metros, entre el nivel estático y el nivel dinámico.

II. DOTACIÓN.

Viene a ser el resultado de un estudio de la demanda de agua de una población técnicamente justificado, sustentado en informaciones estadísticas comprobadas.

E

I. ESTACIÓN DE BOMBEO (SIMÓN AROCHA R.).

Consideraremos como estación de bombeo a aquellas que toman el agua directa e indirectamente de la fuente de abastecimiento y la elevan al estanque de almacenamiento, a una estación de rebombeo o a la red.

II. EVALUACIÓN HIDRÁULICA.

La evaluación hidráulica consiste en obtener parámetros de la situación y comportamiento de un sistema hidráulico.

F

I. FLUIDO.

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente al ser sometida a un esfuerzo cortante (esfuerzo tangencial) no importa que tan pequeño sea.

II. FILTRO.

Es la rejilla del pozo que sirve como sección de captación de un pozo que toma el agua de un acuífero de material no consolidado.

III. FORRO DE POZOS.

Es la tubería de revestimiento colocada unas veces durante la perforación, otras después de acabada ésta. La que se coloca durante la perforación puede ser provisional o definitiva. La finalidad más frecuente de la primera es la de sostener el terreno mientras se avanza con la perforación. La finalidad de la segunda es revestir definitivamente el pozo.

H

I. HIDRÁULICA.

La hidráulica es una de las ramas de la Ingeniería y se ocupa de la proyección y ejecución de obras relacionadas con el agua, sea para su uso, como en la obtención de energía hidráulica, la irrigación, potabilización, canalización u otras .

I

I. INGENIERÍA HIDRÁULICA.

La ingeniería hidráulica, es una de las ramas de la ingeniería civil esta se encarga de proyectar y ejecutar obras que tienen relación directa con el agua.

N

I. NIVEL ESTÁTICO.

Es el nivel de agua presente en la formación acuífera antes de comenzar el bombeo. Este nivel se ve afectado por efectos meteorológicos (precipitación, infiltración)

estacionales o por cargas adicionales (edificaciones), o por la descarga producida por pozos cercanos.

II. NIVEL DINÁMICO.

También llamada nivel de bombeo, porque es producido cuando comienza la descarga del acuífero por el pozo.

Este nivel depende del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero.

P

6 PERFIL HIDRÁULICO.

El perfil hidráulico de una tubería, como parte de un sistema de distribución de agua potable, es un gráfico en el que se puede hacer una comparación entre el perfil topográfico de la tubería y los perfiles de la Línea de Gradiente Hidráulica y la Línea de Gradiente de Energía.

La Gradiente Hidráulica es la suma de la energía de presión (p/γ) y la energía de elevación (z). Esta línea representa la altura a la que una columna de agua subiría en un piezómetro.

La gradiente de energía es la suma de la Gradiente Hidráulica y la energía de velocidad ($V^2/2g$). Ésta es la altura a la que una columna de agua subiría en un tubo conectado a la tubería principal

7 PESO ESPECÍFICO.

Es el peso por unidad de volumen de un fluido, se designa con la letra griega (ρ) “ γ ” se calcula con:

$$\gamma = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} = \frac{m \cdot g}{\text{volumen}} = \rho * g$$

Dónde: $\rho = \text{densidad}$ y $g = \text{aceleración de la gravedad}$

Unidades Internacionales: $\frac{kg-f}{m^3}$, $\frac{newton}{m^3}$

Unidades Inglesas: $\frac{lb}{pie^3}$, $\frac{gr-f}{cm^3}$

El agua tienen los siguientes valores para una temperatura de 20 C°

$$\gamma = 1.000 \frac{kg-f}{m^3} = 9.800 \frac{newton}{m^3} = 62.4 * \frac{lb}{pie^3} = 1. * \frac{gr-f}{cm^3}$$

8 POZO EXCAVADO.

Es la penetración del terreno en forma manual. El diámetro mínimo es aquel que permite el trabajo de un operario en su fondo.

9 POZO PERFORADO.

Es la penetración del terreno utilizando maquinaria. En este caso la perforación puede ser iniciada con un ante pozo hasta una profundidad conveniente y, luego, se continúa con el equipo de perforación.

10 PRESIÓN DE UN FLUIDO.

Es la fuerza por unidad de área ejercida por un fluido sobre el elemento (tubería) que lo contiene. se mide en:

$$\text{PRESIÓN} = \frac{\text{FUERZA}}{\text{AREA}}$$

Unidades Internacionales: $\frac{kg-f}{CM^2}$, $\frac{NEWTON}{M^2}$ = pascal

Unidades Inglesas: $\frac{LB}{PIE^2}$, $\frac{LIBRA}{PULG^2}$ = psi

S

I. SELLO SANITARIO.

Elementos utilizados para mantener las condiciones sanitarias óptimas en la estructura de ingreso a la captación.

II. SISTEMA HIDRÁULICO.

Es un mecanismo operado por la resistencia que ofrece la transmisión o la presión cuando el líquido es forzado a través de una pequeña abertura o tubo.

T

I. TOMA DE AGUA.

Dispositivo o conjunto de dispositivos destinados a desviar el agua desde una fuente hasta los demás órganos constitutivos de una captación

ANEXO 02: MATRIZ mDE CONSISTENCIA

TABLA N° 38 : MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TITULO: "ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DEL FENOMENO DE GOLPE DE ARIETE EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA VILCANOTA DE LA CIUDAD DEL CUSCO"			
MATRIZ DE CONSISTENCIA			
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	FORMULACIÓN DE HIPOTESIS	VARIABLE
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	
1.- ¿Cuál es la influencia del golpe de ariete producido por el apagado de bombas hidráulicas en el sistema de abastecimiento Vilcanota, en la producción de agua potable para la ciudad del Cusco 2021?	Analizar el fenómeno de golpe de ariete producido por apagado de bombas hidráulicas en el sistema de abastecimiento de agua Vilcanota para la ciudad del Cusco 2021.	El Sistema De Abastecimiento De Agua Vilcanota puede fallar cuando este trabaje a su capacidad máxima de producción por la falta de mantenimiento preventivo de los equipos de protección Antiariete.	
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICO	TRANSITORIO HIDRAULICO
I ¿Cuál es la sobre presión máxima de trabajo que puede producirse en los sistemas de impulsión a su capacidad máxima de producción?	I. Analizar las sobrepresiones máximas producidas en los sistemas de impulsión, trabajando a capacidad máxima de producción.	I. Existe picos máximos de sobrepresiones máximas que influirán negativamente en el sistema de abastecimiento a largo plazo.	
II. ¿Cuál es la sub presión mínima de trabajo que puede producirse en los sistemas de impulsión a su capacidad máxima de producción?	II. Analizar la sub- presiones mínimas producidas en los sistemas de impulsión, trabajando a capacidad máxima de producción.	II. Existe picos mínimos de Sub- Presiones Mínimas que influirán negativamente en el sistema de abastecimiento a largo plazo.	
III.¿Como es el comportamiento Hidraulico del Sistema de Abastecimiento Vilcanota en Condiciones de Maxima Producción de Agua Potable ?	III. Analizar el Comportamiento Hidraulico del Sistema de Abastecimiento Vilcanota en Condiciones de Maxima Producción de Agua Potable	III. Existe un incremento de la Perdida de Carga en las líneas de impulsión del sistema de Abastecimiento de Agua Vilcanota que influyen negativamente en el comportamiento hidraulico.	

Fuente: Elaboración Propia

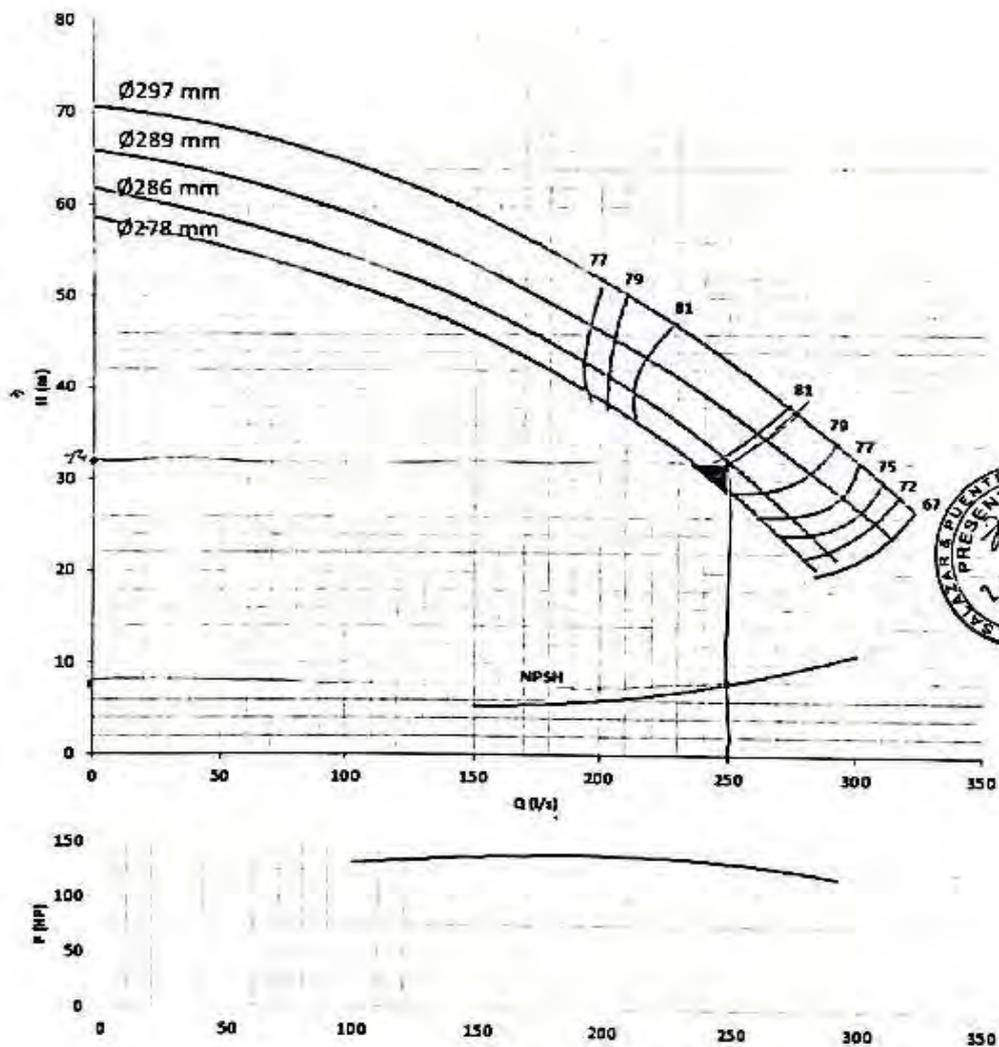
ANEXO 03: CURVAS DE OPERACIÓN Y SIMULACIÓN

CURVA DE LA BOMBA EXISTENTE EN PIÑIPAMPA

CURVA OPERACION

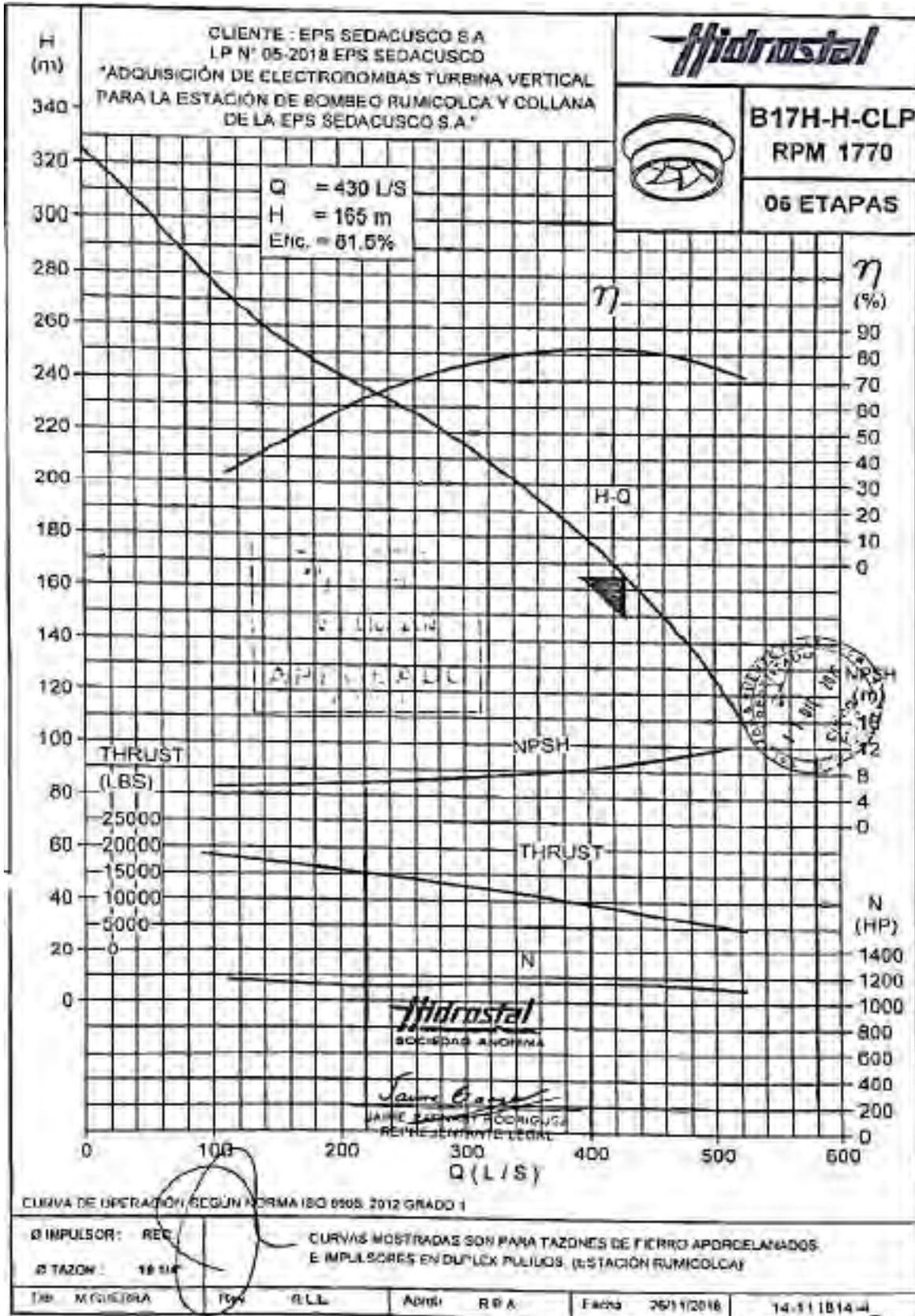


MODELO	: TV 297-B		
Caudal (l/s)	: 250	Diam. Max. Impulsor	: 297 mm
A.D.T. (m)	: 32	Diam. Min. Impulsor	: 278 mm
Potencia (BHP)	: 130.6	Diam. Nom. Impulsor	: 286 mm ✓
Eficiencia (%)	: 80.6	Nro etapas	: 2
NPSH (m)	: 7.7 ✓	Potencia Motor	: 150 HP



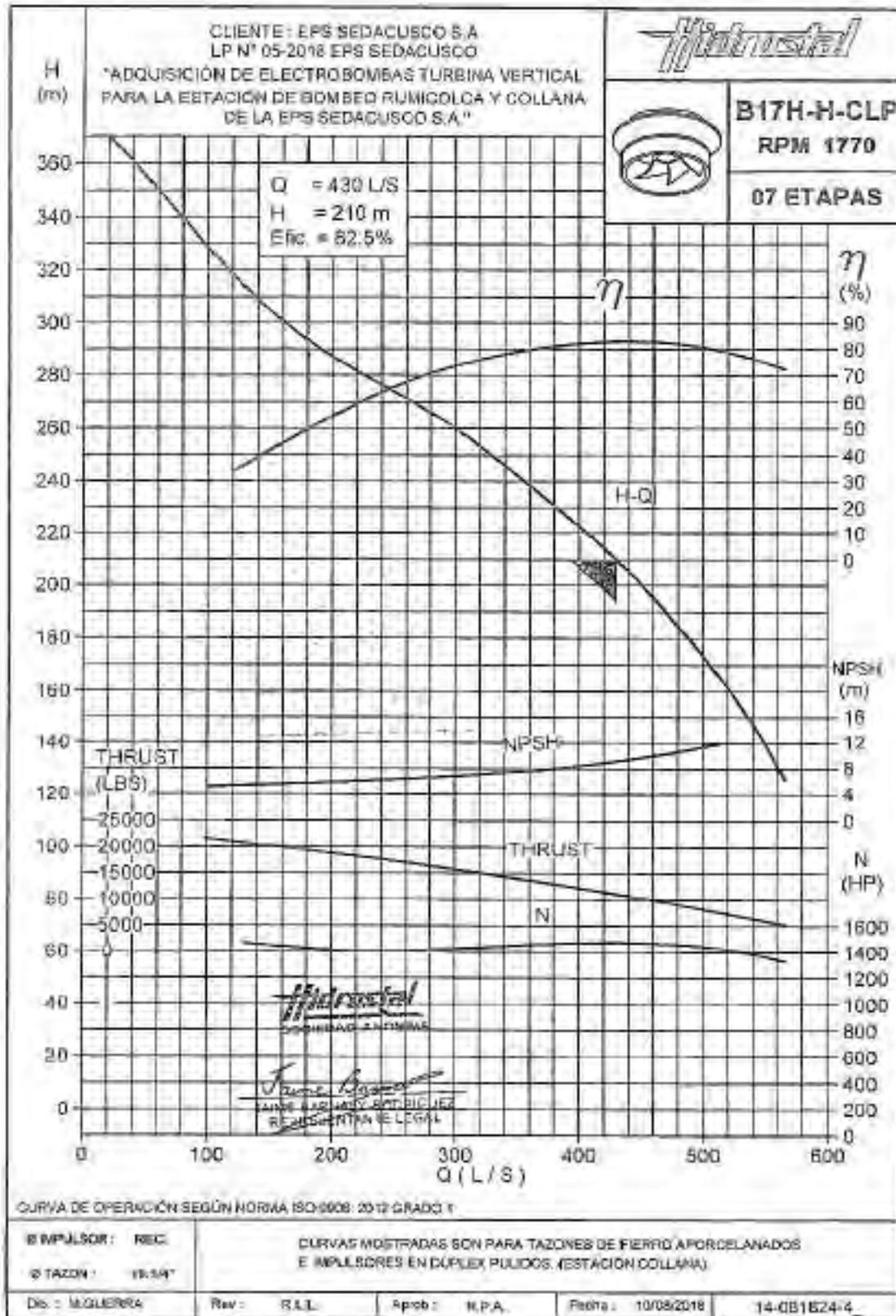
POTENCIA DE MOTOR: 150 HP

CURVA DE LA BOMBA EXISTENTE EN RUMICOLCA



POTENCIA DE MOTOR: 1200 HP

CURVA DE LA BOMBA EXISTENTE EN COLLANA



A:\Curvas\Curvas 433 - DATOS-03-ENTRES-LINEA-2171714-REPT-H-H-CUR-37-1770-RPM-0.188-DUPLEX-SEDACUSCO.DWG

000049

POTENCIA DE MOTOR: 1600 HP

ANEXO 04 : PANEL FOTOGRÁFICO

A. PANEL FOTOGRÁFICO – ESTACIÓN DE BOMBEO 01 PIÑIPAMPA

**FOTO N° 1 : ESTACIÓN DE BOMBEO 01: PIÑIPAMPA VISTA GENERAL CAPTACIÓN DE
AGUAS SUBSUPERFICIALES**



**FOTO N° 2 : PUENTE METALICO PINIPAMPA DE 138 METROS DE LONGITUD CON 2
ESTRIBOS Y PILAR CENTRAL, PARA ACCESO A LA ESTACIÓN DE BOMBEO 01 Y
PROTECCIÓN DE TENDIDO DE TUBERIA DE IMPULSIÓN**



FOTO N° 3 : CAPTACIÓN DE AGUAS SUB-SUPERFICIALES MEDIANTE 04 CASETAS DE BOMBEO



FOTO N° 4 : TUBERÍA DE 350 MM, A LA SALIDA DE CADA CASETA DE BOMBEO PARA TENDIDO DE LINEA DE IMPULSIÓN



FOTO N° 3 : CASETA DE BOMBEO DE CAPTACIÓN DE POZO 02



FOTO N° 4: ELECTRO BOMBAS, TIPO TURBINA VERTICAL PARA CAPTACIÓN DE AGUAS SUB-SUPERFICIALES CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTI ARIETE



ÁRBOL DE DESCARGA - CASETA DE BOMBEO



FOTO N° 5 : SALAS DE MANDOS, TRANSFORMADOR Y TABLEROS DE CONTROL DE LAS ELECTRO BOMBAS



SALA DE MANDOS Y CONTROL SISTEMA ELECTRICO DE ELECTROBOMBAS.



TABLERO DE MANDO DE CONTROL ELÉCTRICO



TRANSFORMADOR ELÉCTRICO – SALA DE CONTROL DE 1MVA

FOTO N° 6 : SISTEMA DE PROTECCIÓN HIDRÁULICO PARA GOLPE DE ARIETE EN TUBERÍA DE IMPULSIÓN - CALDERIN ANTIARIETE



CALDERIN ANTIARIETE – LÍNEA DE IMPULSIÓN PINIPAMPA 1000 LITROS



CALDERIN ANTIARIETE POZO 03 DE 1000 LITROS

FOTO N° 7 : INSTRUMENTACIÓN PARA MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA – ESTACIÓN DE BOMBEO 01



PRESOSTATO ELECTRÓNICO, A LA SALIDA DE ÁRBOL DE DESCARGA DE ELECTROBOMBA.



SENSOR DE NIVEL PIEZÓMETRO DE POZO DE CAPTACIÓN



CAUDALIMETRO ELECTROMAGNÉTICO—PARA MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE UN POZO EN LITROS/SEGUNDOS

FOTO N° 8 : VÁLVULAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN



VALVULA CHECK-PROTECCIÓN Y CONTROL A SALIDA ARBOL DE DESCARGA



VÁLVULA PURGA –LIMPIA A L A SALIDA ÁRBOL DE DESCARGA



VALVULA DE AIRE, A SALIDA DE CAPTACIÓN POZO 01



VÁLVULA MARIPOSA DE CONTROL - A L A SALIDA ÁRBOL DE DESCARGA

**FOTO N° 9 : MEDICIÓN DE CAUDALES DE PRODUCCIÓN EN LITROS /
SEGUNDO EN ESTACIÓN DE BOMBEO 01 DE PINIPAMPA CON
CAUDALIMETRO ULTRASÓNICO DIGITAL PT8 78**



MEDICIÓN DE DIÁMETRO EXTERIOR DE TUBERÍA DE IMPULSIÓN – CASETA DE BOMBEO 01 PIÑIPAMPA



INSTALACIÓN DE CAUDALIMETRO ULTRASÓNICO DIGITAL P-T878 - Y MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE POZO 01

**FOTO N° 10 : VISITA INSITU ESTACIÓN DE BOMBEO 01 – PINIPAMPA ,
CASETAS DE BOMBEO**



BOMBA DE IMPULSIÓN AKIPUMP DE LA CASETA DE BOMBEO 01



VERIFICACIÓN DE CAUDAL DE PRODUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO – SALA DE MANDOS EB PINIPAMPA.



VISITA INSITU – CASETA DE BOMBEO 01 ESTACIÓN DE BOMBEO 01 PINIPAMPA



CALDERIN ANTIARIEDE DE 1'000 L (MIL LITROS) – CASETA DE BOMBEO 01 EB PIÑIPAMPA



CALDERIN ANTIARIEDE 10'000 L (DIEZ MIL LITROS) – SALIDA DE IMPULSIÓN EB. PINIPAMPA

B. PANEL FOTOGRÁFICO – ESTACIÓN DE BOMBEO 02

RUMICOLCA

FOTO N° 11 : ESTACIÓN DE BOMBEO 02, VISTA GENERAL



**FOTO N° 12 : SALA DE BOMBAS BOMBAS INSTALADAS HIDROSTAL,
ESTACIÓN DE BOMBEO 02**



FOTO N° 13 : ELECTRO BOMBAS TIPO TURBINA VERTICAL PARA REBOMBEO A ESTACIÓN DE BOMBEO 03



FOTO N° 14 : SISTEMA DE PROTECCIÓN HIDRÁULICO PARA GOLPE DE ARIETE EN TUBERÍA DE IMPULSIÓN - ARBOL DE DESCARGA ESTACIÓN DE BOMBEO 02





VÁLVULA MARIPOSA – CONTROL/ BOMBA 01



VÁLVULA MARIPOSA – CONTROL/ BOMBA 02



VÁLVULA CHECK – CONTROL/ ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN



VÁLVULA DE PURGA / ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN



VÁLVULA CHECK – CONTROL/ ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN



VÁLVULA DE AIRE – CONTROL/ ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN

FOTO N° 16 : INSTRUMENTACIÓN PARA MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA – ESTACIÓN DE BOMBEO 02



MANÓMETRO – PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN A SALIDA DE ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN



MEDIDOR DE NIVEL DE TANQUE CISTERNA RUMICOLCA ULTRASONICO



PRESOSTATO ELECTRÓNICO



CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO DE MEDICIÓN DE CAUDAL DE PRODUCCIÓN EN LITROS / SEGUNDO

FOTO N° 17 : PATIO DE LLAVES – ESTACIÓN DE BOMBEO 02



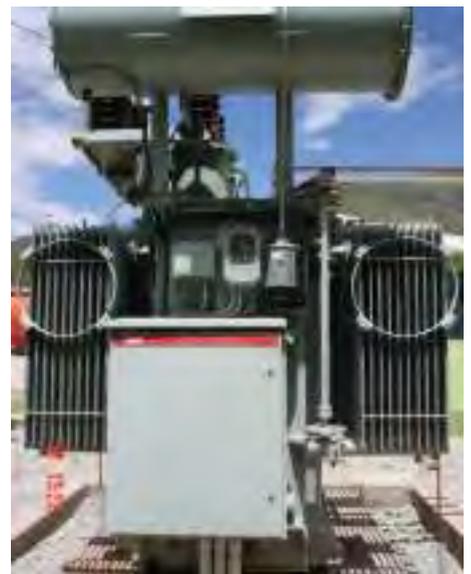
**FOTO N° 18 : TABLEROS DE CONTROL Y TRANSFORMADORES DE ENERGÍA,
PATIO DE LLAVES.**



INTERRUPTORES PRINCIPALES 60KV



**TRANSFORMADORES DE VOLTAJE
MEDIA TENSIÓN**



**TRANSFORMADOR DE POTENCIA 4
MVA**



SECCIONADORES DE 60KV



TABLERO DE INTERRUPTOR PRINCIPAL



TABLERO SECCIONADOR DE 60 KV

FOTO N° 19 : SALAS DE MANDOS, TRANSFORMADOR Y TABLEROS DE CONTROL DE LAS ELECTRO BOMBAS



TABLERO DE MANDO DE CONTROL ELÉCTRICO



SALA DE MANDOS Y CONTROL SISTEMA ELÉCTRICO DE ELECTROBOMBAS.

FOTO N° 20 : TUBERÍA DE IMPULSIÓN – TRAMO RUMICOLCA COLLANA



MEDICIÓN DE CAUDAL DE PRODUCCIÓN EN PUNTOS INTERMEDIO DE TUBERÍA DE IMPULSIÓN: TRAMO RUMICOLCA COLLANA RUMICOLCA COLLANA

FOTO N° 21 : CALDERIN ANTI ARIETE - ZONA PIQUILLACTA PARA PROTECCIÓN LÍNEA DE IMPULSIÓN RUMICOLCA COLLANA



FOTO N° 22 : COMPROBACIÓN DE COTAS TOPOGRÁFICAS PARA CÁLCULOS Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA.



FOTO N° 23 : VISITA INSITU ESTACIÓN DE BOMBEO 02 – RUMICOLCA



VERIFICACIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO HIDROSTAL , Y DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN EN ARBOL DE DESCARGA – EB RUMICOLA



VISTA PANORÁMICA ESTACIÓN DE BOMBEO 02 RUMICOLCA



CALDERIN ANTIARIEETE 15'000 L (QUINCE MIL LITROS) – EB RUMICOLCA

C. PANEL FOTOGRÁFICO – ESTACIÓN DE BOMBEO 3 COLLANA

FOTO N° 24 : ESTACIÓN DE BOMBEO 02, VISTA GENERAL



**FOTO N° 25 : SALA DE BOMBAS BOMBAS INSTALADAS HIDROSTAL,
ESTACIÓN DE BOMBEO 03**



FOTO N° 26 : ELECTRO BOMBAS TIPO TURBINA VERTICAL PARA REBOMBEO A ESTACIÓN DE BOMBEO 03



FOTO N° 27 : SISTEMA DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA PARA GOLPE DE ARIETE EN TUBERÍA DE IMPULSIÓN - ÁRBOL DE DESCARGA ESTACIÓN DE BOMBEO 02



FOTO N° 28 : VÁLVULAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN



VÁLVULA MARIPOSA – CONTROL/ BOMBA 01



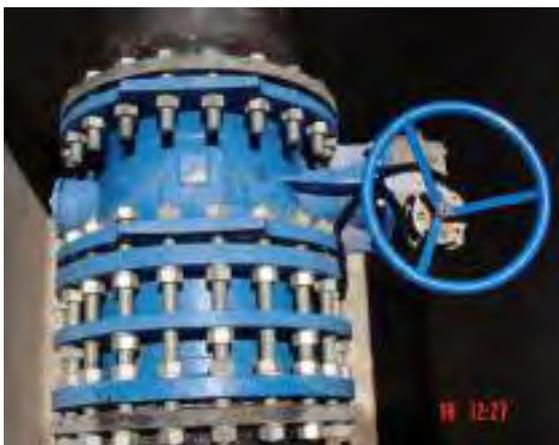
VALVULA ANTICIPADORA DE ONDA, PARA PROTECCIÓN DE GOLPE DE ARIETE EN ESTACIÓN DE BOMBEO



VÁLVULA CHECK – CONTROL/ ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN



VÁLVULA DE PURGA / ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN



VÁLVULA MARIPOSA – CONTROL/ ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN



VÁLVULA DE AIRE – CONTROL/ ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN

FOTO N° 29 : INSTRUMENTACIÓN PARA MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA – ESTACIÓN DE BOMBEO 03



MANÓMETRO – PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN A SALIDA DE ÁRBOL DE DESCARGA LÍNEA DE IMPULSIÓN



PRESOSTATO ELECTRÓNICO



MEDIDOR DE NIVEL DE TANQUE CISTERNA RUMICOLCA ULTRASONICO



CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO DE MEDICIÓN DE CAUDAL DE PRODUCCIÓN EN LITROS / SEGUNDO

FOTO N° 30 : PATIO DE LLAVES – ESTACIÓN DE BOMBEO 03



**FOTO N° 31 : TABLEROS DE CONTROL Y TRANSFORMADORES DE ENERGÍA,
PATIO DE LLAVES.**



INTERRUPTORES PRINCIPALES 60KV



**TRANSFORMADORES DE VOLTAJE
MEDIA TENSIÓN**



**TRANSFORMADOR DE POTENCIA 3
MVA**



SECCIONADORES DE 60KV



TABLERO DE INTERRUPTOR PRINCIPAL



TABLERO SECCIONADOR DE 60 KV

FOTO N° 32 : SALAS DE MANDOS, TRANSFORMADOR Y TABLEROS DE CONTROL DE LAS ELECTRO BOMBAS



TABLERO DE MANDO DE CONTROL ELÉCTRICO



SALA DE MANDOS Y CONTROL SISTEMA ELÉCTRICO DE ELECTROBOMBAS.

**FOTO N° 33 : MEDICIÓN PRESIÓN INSITU DE TRANSITORIO
HIDRAULICO EN ESTACIONES DE BOMBEO RUMICOLCA- COLLANA**



19L 208633 8490423
22° N
3S
Altitud:3152.1m
Velocidad:0.0km/h

MEDICIÓN DE TRANSITORIO HIDRAULICO INSITU – APAGADO DE BOMBAS – CON MANOMETRO DE GLICERINA



PRESIÓN DE ARRANQUE ESTACIÓN DE BOMBEO 03 COLLANA



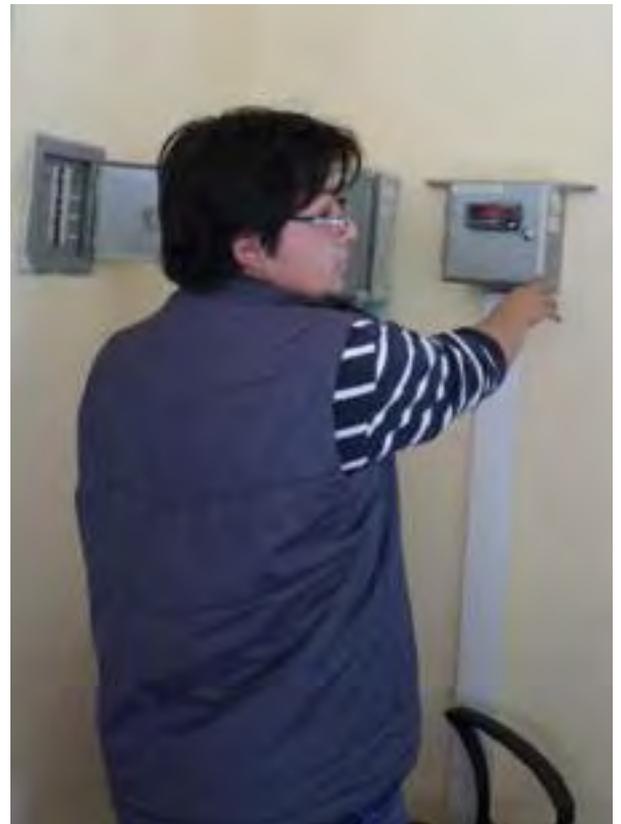
FOTO N° 34 : VISITA INSITU ESTACIÓN DE BOMBEO 03 – COLLANA



VISTA PANORÁMICA ESTACIÓN DE BOMBEO 03 - COLLANA

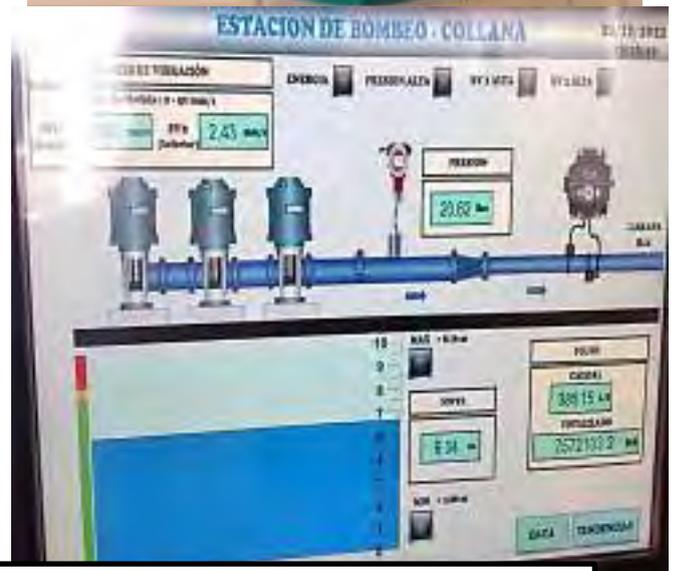


**CALDERIN DE 15'000 (QUINCE MIL LITROS) –
ESTACIÓN DE BOMBEO 03 COLLANA**



**VERIFICACIÓN Y COMPROBACIÓN DE CAUDALIMETRO
ELECTROMAGNETICO VS CAUDALIMETRO
ULTRASÓNICO PT58**

FOTO N° 35 : MEDICION DEL CAUDAL DE PRODUCCIÓN CON CAUDALIMETRO ULTRASONICO PT8 Y CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO SIEMENS EN LITROS /SEGUNDO



VERIFICACIÓN SISTEMA SCADA DE MONITOREO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA VILCANOTA

D.PANEL FOTOGRÁFICO – RESERVORIO DE ALMACENAMIENTO Y REGULACIÓN

R12

FOTO N° 36 : RESERVORIO R12 – LARAPA SAN JERÓNIMO VISTA GENERAL



FOTO N° 37 : VÁLVULAS DE CONTROL MARIPOSA, SALIDA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DEL CUSCO



FOTO N° 38 : VÁLVULAS ANTICIPADORAS DE ONDA PARA PROTECCIÓN SISTEMA ANTI ARIETE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN





**FOTO N° 39 : LIMNIMETRO DE MEDICIÓN DE NIVEL DE AGUAS DE
RESERVORIO DE ALMACENAMIENTO R12**



FOTO N° 40 : CASETA DE VÁLVULAS DE CONTROL RESERVORIO R12



FOTO N° 41 : TUBERÍA DE VENTILACIÓN RESERVORIO R12



CONSTANCIA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Por medio del presente se deja constancia que el Bach. Fabricio Rubén Olivera Tapia, aspirante al grado académico de Maestro en Ingeniería Civil mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ha realizado el trabajo de investigación denominado **"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA VILCANOTA DE LA CIUDAD DEL CUSCO"**, habiéndose brindado durante el tiempo de su permanencia (Marzo – Noviembre 2022), información correspondiente al Sistema de Abastecimiento Vilcanota Actual y acompañamiento técnico en las mediciones y recolección de data realizada en campo tales como Caudales de producción, Presiones de trabajo, y presiones producidas en el apagado de bombas (golpe de ariete) para cada línea de impulsión, por lo tanto los datos obtenidos corresponden a la realidad y los resultados son los más representativos posibles.

Cusco, Febrero 2023

Atte:



EPS
SEDACUSCO
SA

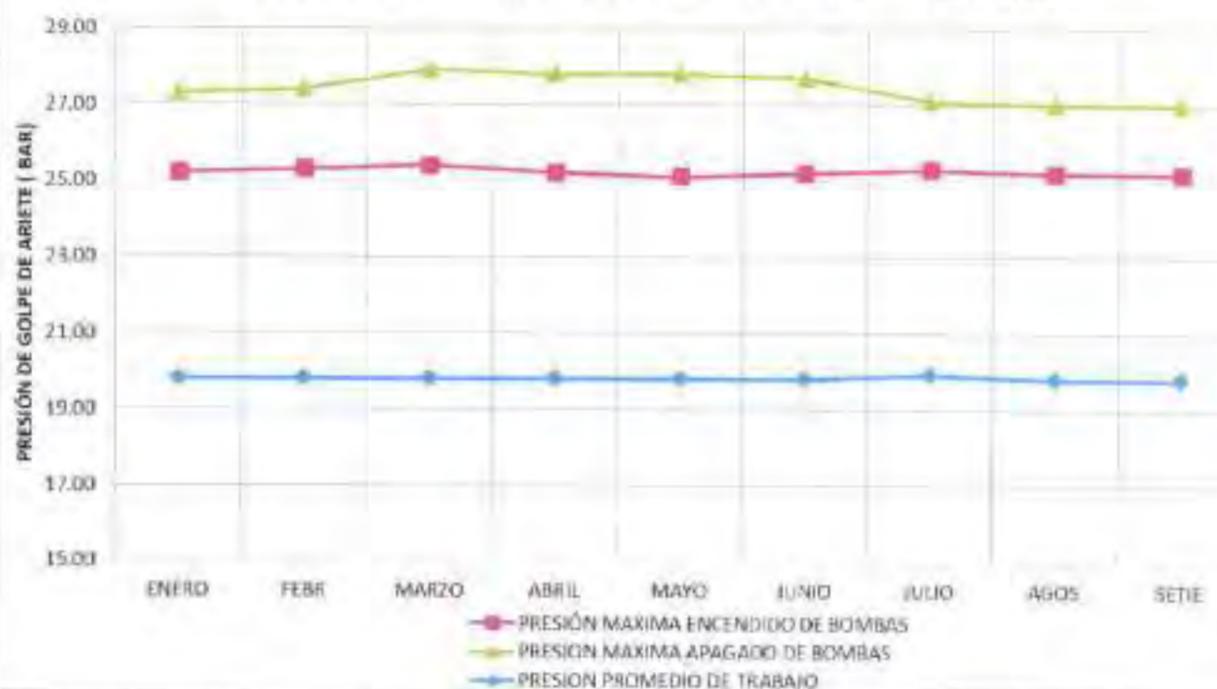
Ing. Flavio Del Corral Jimenez



INDICADORES DE PRODUCCION SISTEMA VILCANOTA ESTACION DE BOMBEO EB-3 COLLANA AÑO 2022

	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SETIE
ELECTROBOMBA N° 01									
Sistema Eléctrico									
Potencia Consumida Promedio P (KW)	0.00	0.00	1195.00	1196.00	1165.00	1163.00	1167.00	1170.00	1168.00
Sistema Mecánico									
Horas de operación	0.00	0.00	243.46	305.73	609.41	590.91	607.85	298.23	627.85
Sistema Hidráulico									
Producción de agua (m3)	0.00	0.00	292352.00	366900.00	726777.00	693016.00	721266.00	363861.00	674582.00
Caudal Promedio de Bombeo (LPS)	0.00	0.00	419.00	418.00	415.00	415.00	413.00	412.00	373.00
Presion Promedio (Bars)	0.00	0.00	19.80	19.80	19.80	19.80	19.90	19.80	19.80
Golpe de ariete maximo al Encendido (BARS)	0.00	0.00	25.40	25.20	25.10	25.20	25.30	25.20	25.20
Golpe de Ariete maximo al Apagado (BARS)	0.00	0.00	27.90	27.80	27.80	27.70	27.10	27.00	27.00
ELECTROBOMBA N° 02									
Sistema Eléctrico									
Potencia Consumida Promedio P (KW)	1190.00	1190.00	1192.00	1190.00	0.00	0.00	0.00	1190.00	0.00
Sistema Mecánico									
Horas de operación	298.58	426.43	287.00	219.03	0.00	0.00	0.00	255.97	0.00
Sistema Hidráulico									
Producción de agua (m3)	403532.00	834190.00	394874.00	3010.36	0.00	0.00	0.00	355749.00	0.00
Caudal Promedio de Bombeo (LPS)	401.00	402.00	402.00	400.00	0.00	0.00	0.00	405.00	0.00
Presion Promedio de Bombeo (Bars)	19.80	19.80	19.80	19.70	0.00	0.00	0.00	19.80	0.00
Golpe de ariete maximo al Encendido (BARS)	25.20	25.30	25.40	25.40	0.00	0.00	0.00	25.40	0.00
Golpe de Ariete maximo al Apagado (BARS)	27.30	27.40	27.50	27.30	0.00	0.00	0.00	27.30	0.00
RESUMEN DE VALORES DE GOLPE DE ARIETE REGISTRADO									
	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SETIE
Golpe de ariete maximo al Encendido (BARS)	25.20	25.30	25.40	25.20	25.10	25.20	25.30	25.20	25.20
Golpe de Ariete maximo al Apagado (BARS)	27.30	27.40	27.90	27.80	27.80	27.70	27.10	27.00	27.00

GOLPE DE ARIETE PROMEDIO REGISTRADO EB COLLANA - 2022



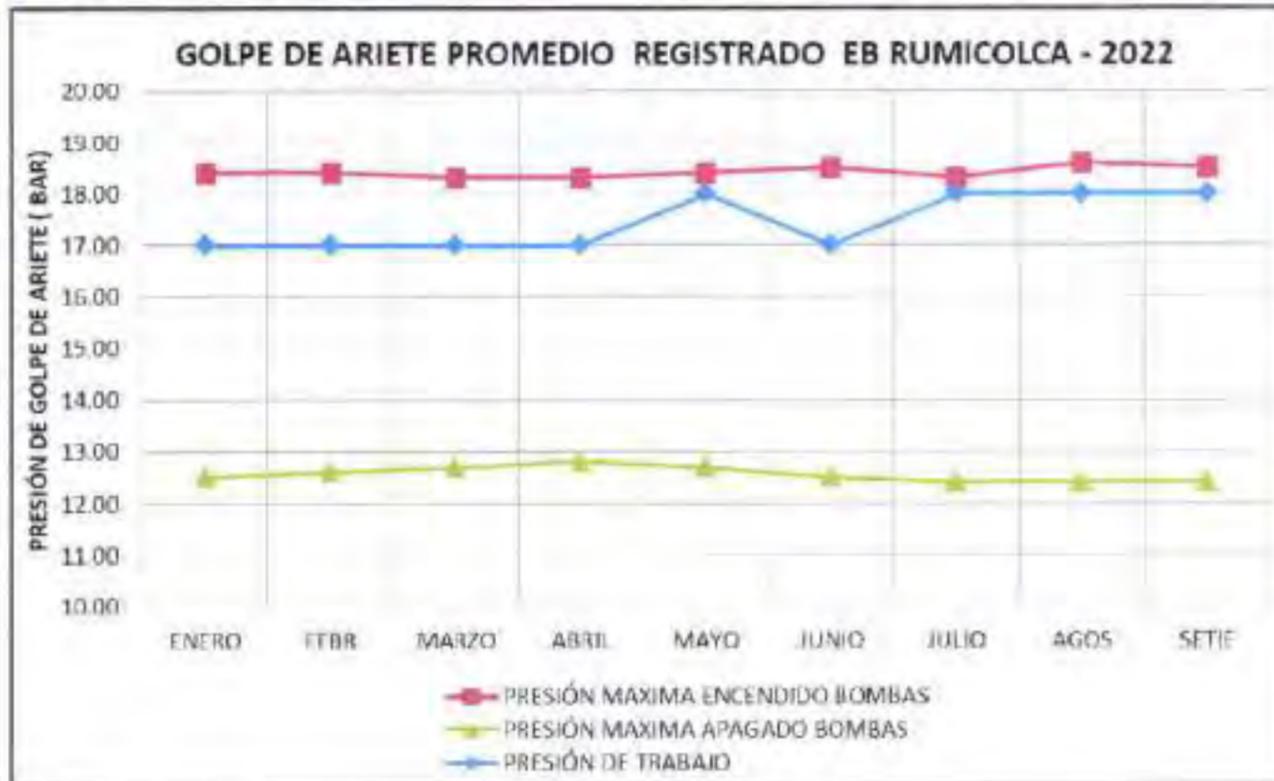
PRODUCCIÓN PROMEDIO REGISTRADO EB COLLANA - 2022




 Ing. Henz Del Carpio Arámbaz
 Oficina de Estudios de Proyectos Especiales

INDICADORES DE PRODUCCION SISTEMA VILCANOTA ESTACION DE BOMBEO EB-2 RUMICOLCA AÑO 2022

	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SETIE
ELECTROBOMBA N° 01									
Sistema Eléctrico									
Potencia Consumida Promedio P (KW)	982.00	985.00	0.00	0.00	0.00	980.00	978.00	980.00	981.00
Sistema Mecánico									
Horas de operación	367.78	250.33	0.00	0.00	0.00	682.81	612.80	616.90	628.88
Sistema Hidráulico									
Producción de agua (m3)	401895.00	302072.00	0.00	0.00	0.00	698623.75	736863.00	891216.00	674826.00
Caudal Promedio de Bombeo (LPS)	405.00	433.00	0.00	0.00	0.00	429.00	429.00	415.00	387.00
Presión Promedio (Bars)	17.00	17.00	0.00	0.00	0.00	17.00	18.00	18.00	18.00
Golpe de ariete máximo al Encendido (BARS)	18.50	18.60	0.00	0.00	0.00	18.50	18.30	18.60	18.50
Golpe de Ariete máximo al Apagado (BARS)	12.50	12.40	0.00	0.00	0.00	12.50	12.40	12.40	12.40
ELECTROBOMBA N° 02									
Sistema Eléctrico									
Potencia Consumida Promedio P (KW)	980.00	982.00	980.00	981.00	980.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistema Mecánico									
Horas de operación	244.24	364.84	761.13	724.89	764.47	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistema Hidráulico									
Producción de agua (m3)	320748.00	341750.00	688264.00	671124.00	711679.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Caudal Promedio de Bombeo (LPS)	406.00	433.00	423.00	417.00	419.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Presión Promedio (Bars)	17.00	17.00	17.00	17.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Golpe de ariete máximo al Encendido (BARS)	18.40	18.40	18.30	18.30	18.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Golpe de Ariete máximo al Apagado (BARS)	12.50	12.60	12.70	12.80	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO DE VALORES DE PRODUCCIÓN DE AGUA LITROS /SEGUNDO									
	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SETIE
ELECTROBOMBA N° 01	405.00	433.00	0.00	0.00	0.00	429.00	429.00	415.00	387.00
ELECTROBOMBA N° 02	406.00	433.00	423.00	417.00	419.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RESUMEN DE VALORES DE GOLPE DE ARIETE REGISTRADO									
	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SETIE
Golpe de ariete máximo al Encendido (BARS)	18.40	18.40	18.30	18.30	18.40	18.50	18.30	18.60	18.50
Golpe de Ariete máximo al Apagado (BARS)	12.50	12.60	12.70	12.80	12.70	12.50	12.40	12.40	12.40



INDICADORES DE PRODUCCION SISTEMA VILCANOTA ESTACION DE BOMBEO EB-1 PIÑIPAMPA AÑO 2022



	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SETIE
ELECTROBOMBA N° 01									
Sistema Eléctrico									
Potencia Consumida Promedio P (KW)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistema Mecánico									
Horas de operación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistema Hidráulico									
Producción de agua (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Caudal Promedio de Bombeo (LPS)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Presión Promedio (Bars)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Abatimiento Promedio en Pozo (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ELECTROBOMBA N° 02									
Sistema Eléctrico									
Potencia Consumida Promedio P (KW)	91.00	90.00	91.00	91.00	90.00	91.00	90.00	90.00	91.00
Sistema Mecánico									
Horas de operación	642.66	678.83	609.31	681.51	612.18	583.59	614.31	618.93	628.06
Sistema Hidráulico									
Producción de agua (m3)	476815.00	431413.78	454050.75	436436.25	456192.50	438091.25	462207.50	466785.00	465771.25
Caudal Promedio de Bombeo (LPS)	236.00	237.00	237.00	236.00	237.00	239.00	239.00	235.00	236.00
Presión Promedio (Bars)	1.70	1.80	1.80	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71
ELECTROBOMBA N° 03									
Sistema Eléctrico									
Potencia Consumida Promedio P (KW)	0.00	0.00	116.00	119.00	118.00	117.00	116.00	115.00	114.00
Sistema Mecánico									
Horas de operación	0.00	0.00	809.94	581.29	612.34	583.88	614.04	619.05	627.95
Sistema Hidráulico									
Producción de agua (m3)	0.00	0.00	462326.75	436267.50	456192.50	438091.25	462207.50	454830.00	467947.50
Caudal Promedio de Bombeo (LPS)	0.00	0.00	206.00	208.00	208.00	209.00	209.00	204.00	207.00
Presión Promedio (Bars)	0.00	0.00	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.82
ELECTROBOMBA N° 04									
Sistema Eléctrico									
Potencia Consumida Promedio P (KW)	115.00	116.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistema Mecánico									
Horas de operación	642.51	679.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistema Hidráulico									
Producción de agua (m3)	465738.75	438007.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Caudal Promedio de Bombeo (LPS)	230.00	230.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Presión Promedio (Bars)	1.80	1.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00





Ing. Franz Del Carpio Jimenez