



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

---

“ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023”

---

**Línea de Investigación**

Ciencia y tecnología de materiales e insumos en ingeniería

**Presentado por:**

Bach. Amau Cusicuna, Christian Dalmiro

**Orcid:** //orcid.org/0009-0009-6400-5402

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**Asesor:** Mgt. Ing. Álvaro Horacio Flores Boza

**Orcid:** //orcid.org/0000-0002-6504-1896

**CUSCO – PERÚ**

**2023**



### Metadatos

Datos del autor	
Nombres y apellidos	Christian Dalmiro Amau Cusicuna
Número de documento de identidad	70576490
URL de Orcid	//orcid.org/0009-0009-6400-5402
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	Mgt. Alvaro Horacio Flores Boza
Número de documento de identidad	23858562
URL de Orcid	//orcid.org/0000-0002-6504-1896
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	Mgt. Ing. Carmen Cecilia Gil Rodriguez
Número de documento de identidad	23877911
Jurado 2	
Nombres y apellidos	Mgt. Gabriela Oviedo Mena
Número de documento de identidad	44888919
Jurado 3	
Nombres y apellidos	Ing. Luis Alberto Cavero Peralta
Número de documento de identidad	23802030
Jurado 4	
Nombres y apellidos	Ing. Carlos Alberto Mosqueira Lovon
Número de documento de identidad	23874004
Datos de la investigación	
Línea de investigación de la Escuela Profesional	Ciencia y tecnología de materiales e insumos en ingeniería



# ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023

Fecha de entrega: 03-abr-2024 10:37 a.m. (UTC-0500)  
por CHRISTIAN DALMIRO AMAU CUSICUNA

Identificador de la entrega: 2338886514

Nombre del archivo: Tesis\_Amau\_Cusicuna\_27.03.pdf (1

Total de palabras: 18345

Total de caracteres: 177289

ALVARO HORACIO FLORES BOZA  
INGENIERO CIVIL CIP. 40221  
MAESTRO EN PLANIFICACION Y MEDIO AMBIENTE



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

---

“ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023”

---

**Línea de Investigación**

Ciencia y tecnología de materiales e insumos en ingeniería

**Presentado por:**

Bach. Amau Cusicuna, Christian Dalmiro

Orcid: [//orcid.org/0009-0009-6400-5402](https://orcid.org/0009-0009-6400-5402)

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

Asesor: Mgt. Ing. Álvaro Horacio Flores Boza

Orcid: [//orcid.org/0000-0002-6504-1896](https://orcid.org/0000-0002-6504-1896)

CUSCO – PERÚ

2023

ALVARO HORACIO FLORES BOZA  
INGENIERO CIVIL CIP. 40221  
MAGISTER EN PEDAGOGÍA DE LA EDUCACIÓN







# ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO - 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>bibdigital.epn.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.unsaac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>civilgeeks.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>"Influencia de las instalaciones de suministro de agua de edificios sobre el comportamiento hidráulico en régimen permanente y transitorio de la red general de distribución", 'Universitat Politecnica de Valencia'</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

ALVARO HORACIO FLORES BOZA  
INGENIERO CIVIL CIP. 40221  
MAESTRO EN INGENIERIA HIDRAULICA Y MEDIO AMBIENTE





## Dedicatoria

Dedico este trabajo a la memoria de mi padre, Dalmecio Amau Callañaupa, que a pesar de la distancia inexorable que nos separa ahora, nunca olvido.

Este pequeño logro se lo dedico a él, por haber sido mi compañero y soporte estos años de estudio.

De igual manera, este trabajo está dedicado para mi madre, Alicia Cusicuna Quispe, mis hermanos, Edith, José María y Gabriela, quienes me han brindado su apoyo y cariño incondicional en esta larga travesía.

**Christian Dalmiro Amau Cusicuna**



## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirme aún estar presente, cumpliendo su santa voluntad.

Agradezco a mi toda mi familia, por nunca haberme dejado solo en este camino, por su aliento y compañía incondicional, de tal manera que este pequeño triunfo es suyo también.

Un agradecimiento especial a mi asesor de tesis, al Mgt. Ing. Álvaro Horacio Flores Boza, a quien admiro mucho, por su capacidad como profesional y como persona, siendo uno de mis mayores referentes en el ámbito académico.

Del mismo modo agradecer al Ing. Carlos Mosqueira y al Ing. Luis Alberto Cavero, por haberme guiado y aconsejado en este proceso.

Agradezco a la Oficina de Proyectos Especiales de la E.P.S. SedaCusco, encabezado por el Ing. Gorky Flores, Ing. Franz del Carpio, Ing. Gonzalo Aragón, Ing. Emerson Quispe e Ing. Fabricio Olivera, por haberme recibido y acogido como parte del equipo estos dos largos años.

A todos ellos, un agradecimiento especial.

**Christian Dalmiro Amau Cusicuna**





## Resumen

El presente trabajo de investigación, cuenta con un extenso trabajo de recopilación de información para el Análisis comparativo en eficiencia de tuberías acerojadas y macizos de anclaje para soportar esfuerzos de empuje en transitorio hidráulico en el proyecto Sistema Vilcanota II, Cusco – 2023. Este proyecto de envergadura implica la instalación de tuberías de hierro dúctil con un diámetro nominal de 900 mm, abarcando aproximadamente 37 km de extensión, contando por el paso en tres estaciones de bombeo y un reservorio, operando tanto por impulsión (sistema con bombas), como por interconexión (sistema por gravedad).

La necesidad de proteger el sistema contra esfuerzos de empuje en transitorios hidráulicos motiva la investigación sobre la eficacia de los macizos de anclaje y las tuberías acerojadas, dada la complejidad del entorno y la magnitud de la infraestructura. El estudio no solo se centra en la comparación de estos métodos de protección, sino que también considera su aplicación específica en el contexto del proyecto, resaltando la importancia de adaptar las soluciones a las características únicas de la obra.

El proceso de análisis incluye dimensionamiento, donde las características específicas del proyecto son fundamentales, requiriendo una recolección detallada y sistematización de datos proporcionados por los responsables del diseño. Posteriormente, se procede a desarrollar hojas de cálculo para el dimensionamiento de estos sistemas de protección.

La investigación aborda la comparación entre macizos de anclaje y tuberías acerojadas, evaluando parámetros cruciales como el tiempo de instalación, costos de fabricación e instalación, y eficiencia espacial. Este enfoque integral busca proporcionar criterios sólidos que faciliten la elección adecuada entre estas dos alternativas de protección, contribuyendo así a la toma de decisiones informada en proyectos similares.

### Palabras clave:

- Empuje hidráulico
- Transitorios hidráulicos
- Macizos de Anclaje
- Tubería Acerrojada



### **Abstract**

This research endeavors to conduct a comprehensive analysis comparing the efficiency of jointed pipes and anchoring blocks in resisting thrust forces during hydraulic transients in the Sistema Vilcanota II project, located in Cusco – 2023. This large-scale project involves the installation of ductile iron pipes with a nominal diameter of 900 mm, spanning approximately 37 km, traversing three pumping stations, and incorporating a high-capacity reservoir. The system operates both by pumping (using pumps) and by gravity interconnection.

The imperative to safeguard the system against thrust forces during hydraulic transients propels an investigation into the effectiveness of anchoring blocks and jointed pipes, given the complexity of the environment and the scale of the infrastructure. The study not only concentrates on comparing these protective methods but also emphasizes their specific application within the project's context, underscoring the importance of tailoring solutions to the unique characteristics of the construction.

The analytical process encompasses sizing, wherein the specific features of the project are paramount, necessitating a meticulous collection and systematization of data provided by the design team. Subsequently, spreadsheets are developed for the sizing of these protective systems.

The research delves into the comparison between anchoring blocks and jointed pipes, evaluating crucial parameters such as installation time, manufacturing and installation costs, and spatial efficiency. This comprehensive approach aims to provide robust criteria to facilitate an informed choice between these two protective alternatives, thereby contributing to well-informed decision-making in similar projects.

### **Keywords**

- Hydraulic thrust
- Hydraulic transients
- Anchor blocks
- Jointed pipes





## Introducción

En ámbito de la ingeniería civil, la planificación y ejecución de proyectos hidráulicos representan desafíos significativos debido a la necesidad de diseñar estructuras capaces de resistir las fuerzas dinámicas o fuerzas hidrostáticas que actúan sobre ellas. En este contexto, el presente estudio se centra en analizar la eficiencia de dos enfoques estructurales en obras hidráulicas: las tuberías acerojadas y los macizos de anclaje, en la resistencia a los esfuerzos de empuje en transitorios hidráulicos. Esta investigación se lleva a cabo en el marco del Expediente Técnico del Proyecto “Ampliación de la producción de Agua 6 distritos de la provincia de Cusco – Departamento de Cusco, Sistema Vilcanota II”, ubicado en Cusco, Perú.

En el contexto específico del Proyecto Sistema Vilcanota II, se requiere una evaluación minuciosa de estos dos enfoques, considerando los factores geológicos, hidráulicos y de ingeniería que influyen en su desempeño. La selección de la estrategia de resistencia adecuada, no solo garantiza la estabilidad y la funcionalidad a largo plazo de la infraestructura hidráulica, sino que también puede tener impactos significativos en los costos y la viabilidad del proyecto.

Los empujes hidráulicos aparecen en los cambios de dirección, en las reducciones de diámetro (codos, tees, conos) y en los extremos de las tuberías por donde circula un fluido a presión. Estos empujes pueden ser muy elevados y su acción debe ser contrarrestada por sistemas de acerojado apropiados o por macizos de concreto armado. Es necesario equilibrar estas fuerzas de empuje locales para evitar el desenchufado de las juntas en tuberías.

Este análisis se llevará a cabo mediante una combinación de investigaciones teóricas, pruebas prácticas y simulaciones hidráulicas, con el fin de proporcionar una evaluación integral y fundamentada de las ventajas y limitaciones de cada enfoque. Las tuberías acerojadas y los macizos de anclaje han surgido como alternativas para afrontar estos desafíos, cada una con sus propias características y ventajas potenciales.

Los sistemas de acerojado están sustituyendo cada vez más a los macizos de anclaje de concreto armado. Cuanto mayor sea el diámetro de las tuberías, mayores han de ser las dimensiones de los macizos. Esta circunstancia puede generar verdaderos problemas de ocupación del subsuelo, ya que múltiples redes (gas, saneamiento, telecomunicaciones) deben compartir un espacio limitado.

La estructura de la tesis propuesta se compone de tres capítulos, en el primer capítulo abarca el planteamiento del problema de investigación, las limitaciones, justificación y los objetivos. En el capítulo siguiente, se desarrollará el marco teórico, donde se incluyen antecedentes, fundamentos conceptuales, formulación de hipótesis, identificación de variables e indicadores.



En el tercer capítulo se detalla la metodología implementada y culmina con la descripción de los recursos y el presupuesto necesario para llevar a cabo el proyecto de investigación, seguida de la matriz de consistencia, para finalmente presentar el listado de referencias bibliográficas.



## Índice General

Metadatos .....	2
Dedicatoria .....	3
Agradecimientos.....	4
Resumen .....	5
Abstract .....	6
Introducción .....	7
Índice General .....	9
Índice de tablas.....	13
Índice de figuras .....	15
1 Capítulo I: Planteamiento del Problema: .....	1
1.1 Identificación del Problema.....	1
1.1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.2 Formulación interrogativa del problema .....	2
1.2 Justificación e Importancia de la investigación .....	3
1.2.1 Justificación por relevancia .....	3
1.2.2 Justificación por viabilidad .....	3
1.2.3 Justificación técnica .....	3
1.2.4 Justificación social .....	4
1.3 Delimitación de la Investigación .....	4
1.3.1 Delimitación Espacial .....	4
1.3.2 Delimitación Temporal .....	4
1.4 Objetivo de la investigación .....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
2 Capítulo II: Marco Teórico .....	5
2.1 Antecedentes de la tesis o Investigación Actual.....	5
2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional .....	5
2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional.....	7
2.2 Bases teóricas .....	8
2.2.1 Sistemas de Abastecimiento.....	8
2.2.2 Línea de Impulsión.....	12
2.2.3 Línea de Interconexión.....	13
2.2.4 Transitorios Hidráulicos .....	14
2.2.5 Fenómeno de Golpe de Ariete.....	16



2.2.6	Tubería de Hierro Dúctil: .....	20
2.2.7	Diámetro Nominal:.....	21
2.2.8	Macizos de Anclaje: .....	21
2.2.9	Tubería HD Acerrojada:.....	22
2.2.10	Estación de Bombeo.....	24
2.2.11	Punto de funcionamiento de un sistema de bombeo .....	25
2.2.12	Arreglo de bombas (Estaciones de bombeo).....	26
2.2.13	Cavitación.....	26
2.2.14	Presión de Vapor (Pv) .....	27
2.2.15	Altura máxima de succión ( $h_{s_{max}}$ ).....	27
2.2.16	Altura neta positiva de succión disponible (NPSHd).....	27
2.2.17	Altura neta positiva de succión requerida (NPSHr).....	28
2.2.18	Línea de gradiente hidráulica .....	28
2.2.19	Simulación Hidráulica.....	29
2.2.20	Altura Dinámica .....	29
2.2.21	Colapso de la tubería: .....	30
2.2.22	Válvula de Control: .....	30
2.2.23	Válvula de Aire: .....	31
2.2.24	Calderín Antiarriete: .....	34
2.2.25	Válvula Anticipadora de Onda:.....	35
2.3	Hipótesis .....	36
2.3.1	Hipótesis general .....	36
2.3.2	Hipótesis específicas .....	36
2.4	Definición de Variables y categorías.....	36
2.4.1	Variables.....	36
2.4.2	Cuadro de operacionalización de variables .....	37
3	Capítulo III: Método .....	38
3.1	Metodología de la Investigación.....	38
3.1.1	Enfoque de la investigación .....	38
3.1.2	Nivel o Alcance de la Investigación.....	38
3.2	Diseño de la Investigación.....	38
3.2.1	Diseño metodológico.....	38
3.2.2	Diseño de Ingeniería.....	40
3.3	Población y escenarios de estudio .....	41
3.3.1	Población.....	41



3.3.1.1	Descripción de la población .....	41
3.3.1.2	Cuantificación de la población .....	41
3.3.2	Muestra.....	41
	Descripción de la muestra.....	41
	Cuantificación de la muestra.....	41
3.4	Instrumentos .....	42
3.4.1	Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.....	42
3.4.2	Validez y confiabilidad de instrumentos.....	43
3.4.3	Instrumentos de Ingeniería.....	43
3.5	Procedimientos de Recolección y Análisis de Datos.....	43
3.5.1	Procedimiento realizado para la recolección de datos .....	43
3.5.2	Toma de datos .....	44
3.5.3	Simulaciones en software.....	47
3.5.4	Diseños.....	68
3.5.5	Verificación.....	83
4	Capítulo IV: Resultados.....	84
4.1	Macizos de anclaje.....	84
4.2	Tubería Acerrojada.....	87
4.2.1	Elección del sistema de protección – criterio económico .....	91
4.2.2	Elección del sistema de protección – criterio espacial.....	92
4.2.3	Elección del sistema de protección – criterio facilidad de instalación.....	93
4.3	Tipos de macizos de anclaje .....	94
4.3.1	Macizo de anclaje tipo I .....	94
4.3.2	Macizo de anclaje tipo II.....	95
4.3.3	Macizo de anclaje tipo III.....	95
4.3.4	Macizo de anclaje tipo IV .....	96
4.3.5	Macizo de anclaje tipo V.....	96
4.3.6	Macizo de anclaje tipo VI .....	97
4.3.7	Macizo de anclaje tipo VII.....	98
4.4	Tubería Acerrojada.....	100
4.4.1	Cálculo tubería acerrojada Tramo E.B. Rumicolca a la E.B. Collana – Línea de Impulsión .....	101
4.4.2	Cálculo tubería acerrojada Tramo Reservorio R12 a la Cámara de Empalme Bolívar– Línea de Interconexión .....	103
5	Capítulo V: Discusión.....	105



5.1	Contraste de los resultados obtenidos respecto a los antecedentes o con referentes del marco teórico .....	105
5.1.1	Discusión con antecedentes nacionales .....	105
5.2	Interpretación de los resultados encontrados en la investigación.....	105
5.3	Comentario de la demostración de la hipótesis .....	106
5.4	Aporte de la investigación .....	107
5.4.1	Desarrollo de Metodologías Específicas:.....	107
5.4.2	Propuesta de fórmulas y parámetros: .....	107
5.4.3	Consideración de Variables Específicas: .....	107
5.4.4	Guía para el dimensionamiento de macizos de anclaje y tuberías acorrojadas:107	
	Glosario .....	108
	Conclusiones .....	109
	Sugerencias.....	111
	Referencias Bibliográficas .....	113
	Apéndices .....	115
	Matriz de consistencia .....	115
	Hojas de cálculo de los macizos de anclaje tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca.....	116
	Hojas de cálculo de la tubería acorrojada línea de Impulsión .....	139
	Hojas de cálculo de la tubería acorrojada línea de Interconexión .....	148
	Panel Fotográfico .....	150
	ANEXOS.....	156





## Índice de tablas

Tabla N° 1 Coeficientes de fricción “C” en la fórmula de Hazen y Williams.....	10
Tabla N° 2 Reservorios Sistema Vilcanota .....	11
Tabla N° 3 Descripción del sistema Vilcanota actual. E.B. Piñipampa - E.B. Rumicolca .....	44
Tabla N° 4 Descripción del sistema Vilcanota actual. E.B. Rumicolca - E.B. Collana.....	44
Tabla N° 5 Descripción del sistema Vilcanota actual. E.B. Collana - Reservorio R12.....	45
Tabla N° 6 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca 01.....	48
Tabla N° 7 Consumos por conexión .....	49
Tabla N° 8 Cotas de infraestructura de Estaciones de bombeo.....	49
Tabla N° 9 Balance oferta y demanda de fuente de agua - sistema integral nuevo .....	50
Tabla N° 10 Resumen oferta demanda de fuente de agua.....	51
Tabla N° 11 Caudales de distribución de la línea de interconexión.....	64
Tabla N° 12 Cuadro de ángulos de rozamiento interno del terreno .....	73
Tabla N° 13 Cuadro de resumen de metrados del macizo de anclaje calculado prog. 0+036.57km.....	75
Tabla N° 14 Resumen de los precios unitarios de las subpartidas del macizo de anclaje .....	75
Tabla N° 15 Cuadro de costos de la partida Macizo de Anclaje.....	76
Tabla N° 16 Cuadro resumen del cálculo de Tubería Acerrojada.....	89
Tabla N° 17 Cuadro de costos de accesorios acerrojados para la prog. 0+036.57km .....	90
Tabla N° 18 Cuadro resumen de los costos finales de los accesorios acerrojados para la prog. 0+036.57km.....	91
Tabla N° 19 Cuadro comparativo entre Macizo de Anclaje y Tubería Acerrojado calculado.	91
Tabla N° 20 Valorizaciones de consecuencias.....	76
Tabla N° 21 Resumen de nivel de riesgo por inundación .....	78
Tabla N° 22 Resumen de nivel de riesgo por flujo de detritos .....	79
Tabla N° 23 Resumen de nivel de riesgo por fallas geológicas .....	80
Tabla N° 24 Resumen del nivel de riesgo por asentamiento.....	81
Tabla N° 25 Cuadro resumen de los tipos de macizo de anclaje .....	98
Tabla N° 26 Cuadro resumen de macizos de anclaje Línea de Impulsión E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca .....	100
Tabla N° 27 Cuadro de resumen de cantidades por tipo de macizo de anclaje.....	100
Tabla N° 28 Cuadro resumen de metrado de accesorios acerrojados Línea de Impulsión ....	102
Tabla N° 29 Cuadro de resumen de accesorios acerrojados Línea de Interconexión .....	104



Tabla N° 30 Lista de BM's del Levantamiento Topográfico.....	156
Tabla N° 31 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca 01.....	157
Tabla N° 32 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca 02.....	158
Tabla N° 33 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 01 .....	159
Tabla N° 34 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 02 .....	160
Tabla N° 35 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 03 .....	161
Tabla N° 36 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 04 .....	162
Tabla N° 37 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 05 .....	163
Tabla N° 38 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 06 .....	164
Tabla N° 39 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 07 .....	165
Tabla N° 40 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 08 .....	166
Tabla N° 41 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 09 .....	167
Tabla N° 42 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 01 .....	168
Tabla N° 43 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 01 .....	169
Tabla N° 44 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 02 .....	170
Tabla N° 45 Reporte de simulación Hidráulica Interconexión Tramo R12 – Cámara de Empalme Bolivar.....	171



## Índice de figuras

Figura N° 1 Sistemas de producción y abastecimiento de la ciudad del Cusco.....	1
Figura N° 2 Diagrama funcional del Sistema Vilcanota.....	12
Figura N° 3 Esquema genérico de un suministro por bombeo.....	13
Figura N° 4 Esquema explicativo de la generación de un flujo transitorio.....	14
Figura N° 5 Esquema del Golpe de Ariete.....	17
Figura N° 6 Evolución del golpe de ariete por paro accidental de un sistema de bombeo Evento 1 y Evento 2.....	19
Figura N° 7 Evolución del golpe de ariete por paro accidental de un sistema de bombeo Evento 1 y Evento 2.....	20
Figura N° 8 Tubería de hierro dúctil.....	20
Figura N° 9 Macizos de Anclaje Horizontal y Vertical.....	22
Figura N° 10 Tubería acorrojada con junta interna.....	23
Figura N° 11 Tubería acorrojada con junta externa.....	23
Figura N° 12 Estación de Bombeo de Rumicolca.....	25
Figura N° 13 Curvas del sistema de un sistema de bombeo.....	25
Figura N° 14 Variación de la presión de vapor absoluta vs temperatura - a 1atm de presión atmosférica.....	27
Figura N° 15 Línea de gradiente hidráulica en una línea de impulsión.....	29
Figura N° 16 Esquema de falla de una tubería por subpresión.....	30
Figura N° 17 Válvula de Control.....	31
Figura N° 18 Válvula de Aire Simple.....	32
Figura N° 19 Válvula de Aire doble efecto.....	32
Figura N° 20 Válvula de Aire Triple efecto.....	33
Figura N° 21 Válvula 4 efectos.....	34
Figura N° 22 Calderín Antiarriete.....	35
Figura N° 23 Válvula Anticipadora de Onda.....	35
Figura N° 24 Diagrama de flujo.....	40
Figura N° 25 Visita al sistema Vilcanota actual, sitio arqueológico de Pikilacta.....	45
Figura N° 26 Plano de ubicación general del sistema Vilcanota II.....	46
Figura N° 27 Línea de Gradiente Hidráulica Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca.....	52
Figura N° 28 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca (sin protección).....	53
Figura N° 29 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca (con protección).....	54
Figura N° 30 Cálculo de celeridad de onda tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana.....	56
Figura N° 31 Hoja de cálculo de sobrepresiones tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana.....	57
Figura N° 32 Hoja de cálculo de sobrepresiones tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana.....	58
Figura N° 33 Línea de Gradiente Hidráulica Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana.....	58
Figura N° 34 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana (sin protección).....	59
Figura N° 35 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana (con protección).....	60
Figura N° 36 Línea de Gradiente Hidráulica Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana.....	61
Figura N° 37 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 (sin protección).....	62



Figura N° 38 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 (con protección) .....	63
Figura N° 39 Línea de gradiente hidráulica Reservorio R12 - C. Bolivar .....	65
Figura N° 40 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo Reservorio R12 – Cámara de Empalme Bolivar .....	66
Figura N° 41 Reporte de cierre de válvula de control de 300mm.....	66
Figura N° 42 Metrado de accesorios horizontales E.B. Rumicolca - E.B. Collana .....	69
Figura N° 43 Metrado de accesorios verticales E.B. Rumicolca - E.B. Collana .....	69
Figura N° 44 Metrado de accesorios horizontales E.B. Collana - Reservorio R12 .....	69
Figura N° 45 Metrado de accesorios verticales E.B. Collana - Reservorio R12 .....	69
Figura N° 46 Metrado de accesorios horizontales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar .....	70
Figura N° 47 Metrado de accesorios verticales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar .....	70
Figura N° 48 Esquema de medición de sobrepresión por accesorio .....	71
Figura N° 49 Hoja de cálculo para el dimensionamiento de los macizos de anclaje .....	74
Figura N° 50 Imagen satelital con achurado del alineamiento desde la progresiva 0+000.0km hasta la progresiva 1+330.0km en el Tramo I E.B. Piñipampa – E.B Rumicolca .....	82
Figura N° 51 Perfil de la Simulación de Transitorio Hidráulico Tramo I E.B. Piñipampa - E.B. Rumicolca.....	82
Figura N° 52 Macizo de anclaje de 4m x 3m x 1.5m del Sistema Vilcanota actual, progresiva 0+235.40km, para un ángulo de 22.5° .....	83
Figura N° 53 Hoja de cálculo para el dimensionamiento de los macizos de anclaje .....	85
Figura N° 54 Hoja de cálculo para el dimensionamiento de Tuberías Acerrojadas .....	89
Figura N° 55 Hoja de Cotización Saint Gobain .....	90
Figura N° 56 Ubicación del codo en la progresiva 0+036.57km .....	92
Figura N° 57 Vista 3D del emplazamiento de un macizo de anclaje de 2m x 2m x 3.11m, prog. 0+036.57km .....	92
Figura N° 58 Vista 3D del emplazamiento de una tubería acerrojada, prog. 0+036.57km .....	93
Figura N° 59 Macizo de anclaje tipo I .....	95
Figura N° 60 Esquema macizo de anclaje tipo II.....	95
Figura N° 61 Esquema macizo de anclaje tipo III .....	96
Figura N° 62 Hoja de cálculo macizo de Anclaje progresiva: 0+000.00km.....	99
Figura N° 63 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 01 .....	101
Figura N° 64 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar 01 .....	103
Figura N° 65 Hoja de cálculo macizo de Anclaje progresiva: 0+000.00km.....	116
Figura N° 66 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+024.75km .....	117
Figura N° 67 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+145.45km .....	118
Figura N° 68 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+251.95km .....	119
Figura N° 69 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+405.76km .....	120
Figura N° 70 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+471.28km .....	121
Figura N° 71 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+665.91km .....	122
Figura N° 72 Hoja de Cálculo macizo de anclaje Progresiva: 0+821.98km.....	123
Figura N° 73 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+823.70km .....	124
Figura N° 74 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+913.12km .....	125



Figura N° 75 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+923.72km .....	126
Figura N° 76 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+935.91km .....	127
Figura N° 77 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+990.65km .....	128
Figura N° 78 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+127.85km .....	129
Figura N° 79 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+150.10km .....	130
Figura N° 80 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+322.08km .....	131
Figura N° 81 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+332.73km .....	132
Figura N° 82 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+337.96km .....	133
Figura N° 83 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+562.50km .....	134
Figura N° 84 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+630.79km .....	135
Figura N° 85 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+749.22km .....	136
Figura N° 86 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+798.98km .....	137
Figura N° 87 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+825.50km .....	138
Figura N° 88 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 01 .....	139
Figura N° 89 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 02 .....	140
Figura N° 90 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 03 .....	141
Figura N° 91 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 04 .....	141
Figura N° 92 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 05 .....	142
Figura N° 93 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios verticales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 01 .....	144
Figura N° 94 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Collana – Reservorio R12 01 .....	144
Figura N° 95 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Collana – Reservorio R12 02 .....	145
Figura N° 96 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios verticales E.B. Collana – Reservorio R12 01 .....	147
Figura N° 97 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar 02 .....	148
Figura N° 98 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar 01 .....	149

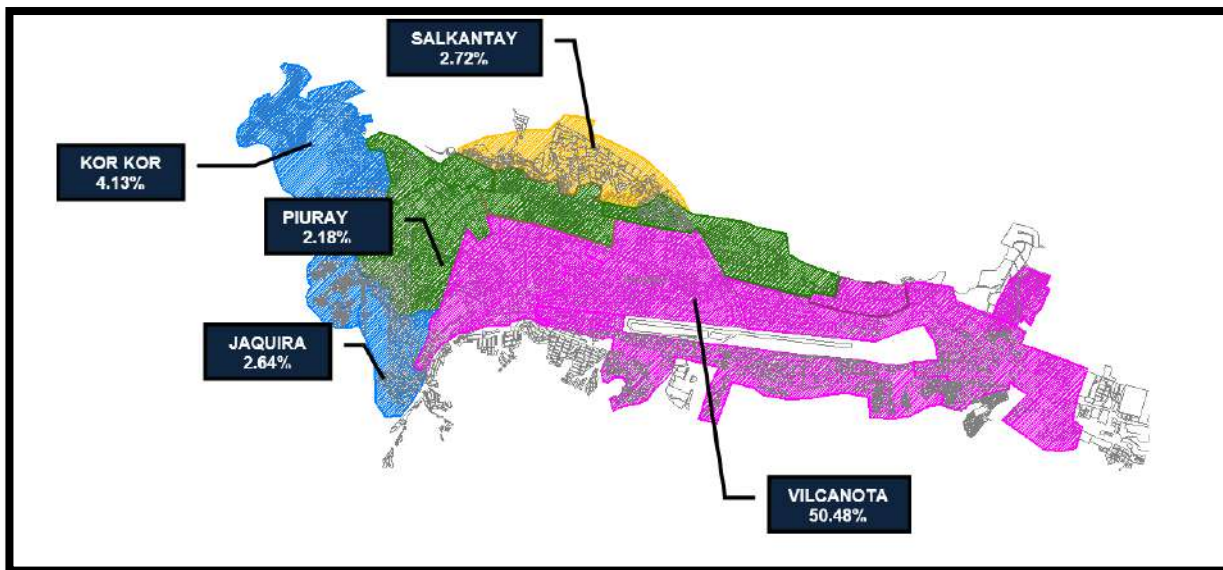
## 1 Capítulo I: Planteamiento del Problema:

### 1.1 Identificación del Problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

Siendo el Sistema Vilcanota el principal sistema de abastecimiento de agua de la ciudad del Cusco que está en funcionamiento más de 20 años y con el crecimiento poblacional que produce una mayor demanda, fue necesario el planteamiento de un nuevo sistema, que pueda afrontar el déficit de agua actual y futuro del Cusco.

*Figura N° 1 Sistemas de producción y abastecimiento de la ciudad del Cusco*



*Fuente: Tomado de EPS. SedaCusco 2021*

Debido al nuevo planteamiento hidráulico del proyecto “Ampliación de la producción de Agua 6 distritos de la provincia de Cusco – Departamento de Cusco, Sistema Vilcanota II”, que aumentará el caudal de producción en comparación al Sistema Vilcanota actual, se requiere medidas de protección para la Línea de Impulsión y Línea de Interconexión propuestas, que serán generados por los empujes hidráulicos en los cambios de dirección del tendido de tubería. La zona de estudio de la presente investigación comprende los tramos de:

#### **Línea de Impulsión – DN 900mm**

- Estación de Bombeo de Piñipampa - Estación de Bombeo de Rumicolca  
Longitud: 2,829.90 ml
- Estación de Bombeo de Rumicolca - Estación de Bombeo de Collana  
Longitud: 23,166.30 ml
- Estación de Bombeo de Collana – Reservorio R12





Longitud: 4,689.47 ml

### **Línea de Interconexión – DN 800mm**

- Reservorio R12 – Empalme en la Cámara Bolívar

Longitud: 5,760.00 ml

Teniendo en cuenta que la longitud de tubería es de 36,445.67 ml, este presenta muchos cambios de dirección, en muchos casos producidos por la misma topografía donde se emplaza el proyecto. Estos cambios de dirección también son producidos a las limitaciones en cuanto a espacio, debido al ancho de servidumbre que se requiere como mínimo para las tuberías de diámetro 900mm y 800mm en las zonas arqueológicas (1.35m de ancho), en la Vía nacional Cusco – Sicuani, en las calles en las cuales el límite con las propiedades es angosta; de igual manera se requirieron cambios de dirección para evitar interferencias sanitarias, interferencias eléctricas, interferencias de telecomunicaciones y las interferencias con las vías férreas por donde se realizó el trazado de la tubería.

El uso de macizos de anclaje de concreto es la técnica más utilizada para soportar los esfuerzos de empuje hidráulico, una propuesta que está entrando en desuso frente a la empleabilidad de las tuberías acerrojadas, por ende, se plantea un análisis comparativo de que técnica es más viable en este proyecto.

## **1.1.2 Formulación interrogativa del problema**

### **1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general**

¿La tubería acerrojada es la técnica más efectiva frente a los macizos de anclaje de concreto para resistir los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, producidos por los cambios de dirección, en el Proyecto Sistema Vilcanota II?

### **1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos**

- ¿La tubería acerrojada es la técnica de resistencia a los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos que proporciona ventajas económicas frente a los macizos de anclaje?
- ¿La tubería acerrojada es la técnica de resistencia a los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, que posee mayor facilidad de instalación frente a los macizos de anclaje?



- ¿La tubería acerrojada es la técnica de resistencia a los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, que posee una mejor eficiencia espacial de instalación frente a los macizos de anclaje?

## **1.2 Justificación e Importancia de la investigación**

### **1.2.1 Justificación por relevancia**

Con los resultados de la investigación se busca generar un impacto positivo en la mejora de la gestión y operación de sistemas de agua potable, lo que se traduce en beneficios tangibles para la sociedad en su conjunto. Al obtener una comprensión más profunda de los sistemas de protección en infraestructuras hidráulicas y desarrollar enfoques de cálculo más precisos, aspiramos a prevenir problemas como el golpe de ariete y empujes hidráulicos que pueden afectar la integridad de las redes de agua potable, que tienen implicancias directas en la eficiencia, seguridad y calidad del suministro de agua potable para comunidades y poblaciones.

### **1.2.2 Justificación por viabilidad**

El estudio del tema de investigación presentado es factible debido a:

- Los datos, equipos y materiales necesarios están al alcance, ya que la tesis centra sus datos en un Expediente Técnico para un nuevo sistema proyectado, la mayoría de recursos necesarios se encuentran en softwares de computadora.
- La información técnica necesaria para la realización de la tesis, será proporcionada por la Oficina de Proyectos Especiales de la E.P.S. SedaCusco, por lo que facilitará la investigación.
- Se cuentan con normas vigentes como, la normativa OS.010 – Captación y conducción de agua para consumo humano del Reglamento Nacional de Edificaciones y la norma ISO 2531 – Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil y sus empalmes para agua.

### **1.2.3 Justificación técnica**

La trascendencia teórica de este proyecto de investigación es de suma importancia, ya que los conceptos que se explorarán poseen un alto valor académico al iluminar aspectos fundamentales del comportamiento, diseño y cálculo de Líneas de Impulsión en Sistemas de Agua Potable. Contribuye al cuerpo de conocimientos en ingeniería civil en la línea de estudio hidráulico, al profundizar en la comprensión del comportamiento de las Líneas de Impulsión explorando las interacciones entre los factores hidráulicos y estructurales que afectan a estas



líneas, se generará un entendimiento más completo y matizado de cómo optimizar su diseño, operación y protección.

#### **1.2.4 Justificación social**

Con los resultados de la investigación se busca generar un impacto positivo en la mejora de la gestión y operación de sistemas de agua potable, lo que se traduce en beneficios tangibles para la sociedad en su conjunto. Al obtener una comprensión más profunda de los sistemas de protección en infraestructuras hidráulicas y desarrollar enfoques de cálculo más precisos, aspiramos a prevenir problemas como el golpe de ariete y empujes hidráulicos que pueden afectar la integridad de las redes de agua potable, que tienen implicancias directas en la eficiencia, seguridad y calidad del suministro de agua potable para comunidades y poblaciones.

### **1.3 Delimitación de la Investigación**

#### **1.3.1 Delimitación Espacial**

La presente investigación se circunscribe al área geográfica de influencia directa del proyecto, abarcando las instalaciones de las Líneas de Impulsión y Líneas de Interconexión de agua potable comprendidas en el alcance de Sistema Vilcanota II, comprendiendo los distritos de Andahuaylillas, Lucre, Oropesa, Tipón, Saylla, San Jerónimo y San Sebastián. Si bien los resultados y conclusiones derivados de este estudio podrían tener aplicabilidad a situaciones similares en otras regiones, el enfoque principal se centra en el contexto específico de la región de Cusco y sus necesidades de abastecimiento de agua potable.

#### **1.3.2 Delimitación Temporal**

La investigación abarca un período de estudio desde noviembre de 2022 hasta octubre de 2023. Durante este intervalo, se llevaron a cabo la recopilación de datos, el análisis comparativo de eficiencia entre tuberías acorrojadas y macizos de anclaje, así como la evaluación de los resultados obtenidos.

### **1.4 Objetivo de la investigación**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Comparar la eficiencia entre el uso de tuberías acorrojadas y los macizos de anclaje, para soportar los esfuerzos de empuje en transitorios hidráulicos, en el proyecto Sistema Vilcanota II.



#### 1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar si usar tubería acerrojada proporciona ventajas económicas frente a los macizos de anclaje para soportar los esfuerzos de empuje en transitorio hidráulico.
- Analizar si la instalación de la tubería acerrojada es más sencilla que la instalación de macizos de anclaje para soportar los esfuerzos de empuje en transitorio hidráulico.
- Analizar la eficiencia espacial de la tubería acerrojada en comparación con los macizos de anclaje para soportar los esfuerzos de empuje en transitorio hidráulico

## 2 Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de la tesis o Investigación Actual

#### 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional

2.1.1.1 Según León, B. (2015), quién presentó la tesis titulada, Estudio de optimización de costos y productividad en la instalación de agua potable la presente tesis se centra en la optimización de proyectos de abastecimiento de agua potable en Lima debido al crecimiento urbano. Se analizó un proyecto específico para identificar obstáculos en la instalación de tuberías de agua y propongo mejoras. El objetivo es aumentar la eficiencia y reducir costos en estos proyectos. A través del análisis detallado de actividades clave, se ofrecen recomendaciones para futuros proyectos similares.

#### **Aporte:**

Esta tesis basa su investigación principalmente en el costo y productividad de la instalación de sistemas de agua potable, esto nos ayuda ya que uno de los criterios para elegir el enfoque de protección adecuado se basa en cuál de los métodos posee una mayor facilidad de instalación y cuál es el más económico. De esta manera la tesis tomada como antecedente, ayuda a evaluar nuevos criterios en cuestión de productividad, economía y seguridad. Así mismo presenta criterios en la parte económica a considerar, ya que en dicha tesis se muestra que existe un incremento en el costo del presupuesto en el expediente técnico y con el costo en la ejecución de la obra. En la tesis presentan un rendimiento de instalación de tubería HDF de 70ml/día.



2.1.1.2 Según Hinojosa, K. y Vigil, C. (2018), quiénes presentaron la tesis titulada: Modelamiento hidráulico para la interconexión de los sistemas de abastecimiento Piuray – Vilcanota de agua potable de la ciudad del Cusco; se enfocaron en la optimización de los sistemas de abastecimiento de agua potable en la ciudad del Cusco, específicamente en los sistemas Vilcanota y Piuray, que atienden a la mayoría de la población. El objetivo principal fue desarrollar una nueva infraestructura que permita la interconexión de estos sistemas en caso de emergencia debido a fugas en las líneas de conducción. Para lograr esto, se utilizó un modelo hidráulico que considera la interrupción del servicio durante 24 horas, el tiempo crítico para reparar una tubería, y la producción de cada sistema como límite de caudal trasvasado. Utilizo datos de la EPS SedaCusco y tesis previas para calcular caudales promedio y máximos por sistema.

Los resultados del modelo hidráulico llevaron a proponer la construcción de una tubería de fierro fundido de 500 mm de diámetro, con un cambio a 700 mm en la tubería que va de Koripata a Larapa. Esta infraestructura incluye una bomba y una válvula reguladora de flujo, dependiendo de la ubicación de la emergencia. Se consideraron 2 horas de trabajo simultáneo en caso de emergencia en el sistema Vilcanota y 3 horas en otros casos.

**Aporte:**

Esta tesis muestra el modelamiento hidráulico de la interconexión de los dos sistemas más importantes de la ciudad del Cusco, siendo uno de ellos el Sistema Vilcanota. Este modelamiento en Watercad ayuda a la comprensión de los criterios tomados respecto a los caudales y presiones de llegada en los diferentes nodos del modelamiento, permite entender de una manera más clara los puntos a ser considerados en una simulación hidráulica. De igual manera los criterios de toda simulación hidráulica, como son las longitudes de los tramos de tubería, diámetro nominal de la tubería a proyectar, cotas de terreno de inicio y fin de los tramos, coeficiente de Hazen – Williams (de acuerdo al material de la tubería), caudales a transportar en litros por segundo. Cabe resaltar que la simulación en esta tesis es en sistemas por gravedad, en líneas de aducción y no bombeo, por lo que no se obtiene las curvas de las bombas.



## 2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional

2.1.2.1 Según Vergara, L. (2005), quién presentó la tesis titulada, Diseño de Tubería de Impulsión para Enlace de Estación de Bombeo Chongón con el Canal Chongón Sube y Baja Provincia del Guayas; afirma que su investigación surge de la necesidad de diseñar una tubería que conecte la estación de bombeo en la represa Chongón con el canal Chongón Sube y Baja, con el propósito de abastecer la Represa Azúcar que ha enfrentado problemas de escasez de agua debido a la falta de lluvia y la sequía de sus afluentes.

### **Aporte:**

Esta tesis presenta el diseño de una tubería de impulsión desde una estación de bombeo hasta un canal, presenta criterios de diseño como el cálculo del diámetro económico que resulta 1600mm, diseño de la línea de conducción y el uso de valores para el cálculo de los macizos de anclaje como, presiones, pérdidas de carga, tipo de tubería, diámetro nominal, tipo de suelo y tipo de accesorio. Conjuntamente a estos criterios presentados, se pueden evaluar otros criterios adicionales que se utilizó para este diseño, tomando en cuenta los mismos puntos del tema de investigación propuesta, como la topografía del emplazamiento de la tubería, longitud del tendido de tubería y potencia de la bomba de su estación de bombeo.





2.1.2.2 Según Soriano, J. (2011), quien presentó la tesis titulada, Simulación del comportamiento hidráulico en régimen permanente y transitorio de un tramo de red residencial de distribución de agua utilizando consumos reales con alta resolución el trabajo aborda la creciente demanda de agua en áreas urbanas debido al crecimiento urbano; afirma que el aumento de la demanda puede superar la capacidad de las tuberías existentes, lo que requirió decisiones sobre la sustitución de secciones de la red de distribución de agua. Para poder abordar este problema, propuso una herramienta que ayude a elegir la tubería adecuada para una sección de la red o a validar los procedimientos existentes para la sustitución de tramos. También consideró el impacto de los sistemas auxiliares de aumento de presión en la red y cómo afectaron a la presión disponible en los edificios cercanos. El objetivo fue proporcionar directrices para decidir si se deben conectar estos sistemas directamente a la red sin elementos de aislamiento o si se deben usar depósitos auxiliares atmosféricos.

**Aporte:**

Esta tesis aporta específicamente en los criterios de las simulaciones de los transitorios hidráulicos en régimen permanente y en régimen de transitorio, utilizan el software EPANET, si bien es cierto, este no es el software utilizado en el proyecto de investigación, sin embargo, sirve como punto de comparación en los criterios tomados para la correcta simulación hidráulica de los transitorios en los dos regímenes que también son tomados en consideración para las simulaciones de las Líneas de Impulsión y Línea de Interconexión del Sistema Vilcanota II.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Sistemas de Abastecimiento**

Un sistema de abastecimiento de agua potable consiste en un conjunto de obras necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales ya sean subterráneas o superficiales hasta las viviendas de los habitantes que serán favorecidos con dicho sistema. Un correcto diseño del Sistema de abastecimiento de Agua Potable conlleva al mejoramiento de la calidad de vida, salud y desarrollo de la población. Por esta razón un sistema de abastecimiento de agua potable debe cumplir con normas y regulaciones vigentes para garantizar su correcto funcionamiento. (Cárdenas D y Patiño F., 2010)



### 2.2.1.1 Partes constitutivas de un sistema de abastecimiento de agua

#### a) Obras de captación

El diseño de las obras deberá garantizar como mínimo la captación del caudal máximo diario necesario protegiendo a la fuente de la contaminación. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

#### b) Obras de conducción

Se denomina obras de conducción a las estructuras y elementos que sirven para transportar el agua desde la captación hasta al reservorio o planta de tratamiento. La estructura deberá tener capacidad para conducir como mínimo, el caudal máximo diario. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

##### - Conducción por Gravedad en tuberías

- Para el diseño de la conducción con tuberías se tendrá en cuenta las condiciones topográficas, las características del suelo y la climatología de la zona a fin de determinar el tipo y calidad de la tubería. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

- La velocidad mínima no debe producir depósitos ni erosiones, en ningún caso será menor de 0,60 m/s (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

- La velocidad máxima admisible será:

En los tubos de concreto	3 m/s
--------------------------	-------

En tubos de asbesto-cemento, acero y PVC	5m/s
--	------

Para otros materiales deberá justificarse la velocidad máxima admisible. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

- Para el cálculo hidráulico de las tuberías que trabajen como canal, se recomienda la fórmula de Manning, con los siguientes coeficientes de rugosidad:

En los tubos de concreto	0.010
--------------------------	-------

En tubos de asbesto-cemento, acero y PVC	0.015
--	-------

Para otros materiales deberá justificarse los coeficientes de rugosidad. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

- Para el cálculo de las tuberías que trabajan con flujo a presión se utilizarán fórmulas racionales. En caso de aplicarse la fórmula de Hazen y Williams, se utilizarán los coeficientes de fricción que se establecen en la Tabla N° 1. Para



el caso de tuberías no consideradas, se deberá justificar técnicamente el valor utilizado. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

Tabla N° 1 Coeficientes de fricción “C” en la fórmula de Hazen y Williams

TIPO DE TUBERÍA	"C"
Acero sin costura	120
Acero soldado en espiral	100
Cobre sin costura	150
Concreto	110
Fibra de vidrio	150
Hierro fundido	100
Hierro fundido con revestimiento	140
Hierro galvanizado	100
Polietileno, Asbesto Cemento	140
Poli(cloruro de vinilo)(PVC)	150

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones 2019

- Conducción por Bombeo

- Para el cálculo de las líneas de conducción por bombeo, se recomienda el uso de la fórmula de Hazen y Williams. El dimensionamiento se hará de acuerdo al estudio del diámetro económico. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

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. (Rocha Felices, 2007)

d) Obras de distribución

- Línea de alimentación: Están constituidas por las tuberías que van de la fuente, del reservorio o de la planta de tratamiento a la zona de servicio. (Rocha Felices, 2007)
- Tuberías troncales: Conforman la Red principal d distribución debiendo formar en lo posible circuitos cerrados. Deberán instalarse a distancia de 400 a 600 metros entre ellos. (Rocha Felices, 2007)
- Tuberías de servicio: 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.  
(Rocha Felices, 2007)

#### 2.2.1.2 Sistema Vilcanota

Este sistema se abastece de agua potable del sistema de producción de Vilcanota, cuya fuente se halla en el sector de Piñipampa, comunidad campesina de Secsencalla, Andahuaylillas, Quispicanchis Cusco. La captación del agua se realiza del acuífero de aguas subterráneas a través de 04 pozos tubulares de 65 metros de profundidad, los que se hallan ubicados a 3,083 m.s.n.m. Abarca los distritos de San Jerónimo (parte), San Sebastián, Wanchaq (parte), Santiago (parte) y Cusco (parte).

#### **Almacenamiento**

El sistema de abastecimiento Vilcanota, cuenta con 7 reservorios, siendo el más importante el reservorio de Larapa R-12 con un volumen de 4,500 m<sup>3</sup>.

El volumen total de almacenamiento de este sistema es de 15,230 m<sup>3</sup>.

*Tabla N° 2 Reservorios Sistema Vilcanota*

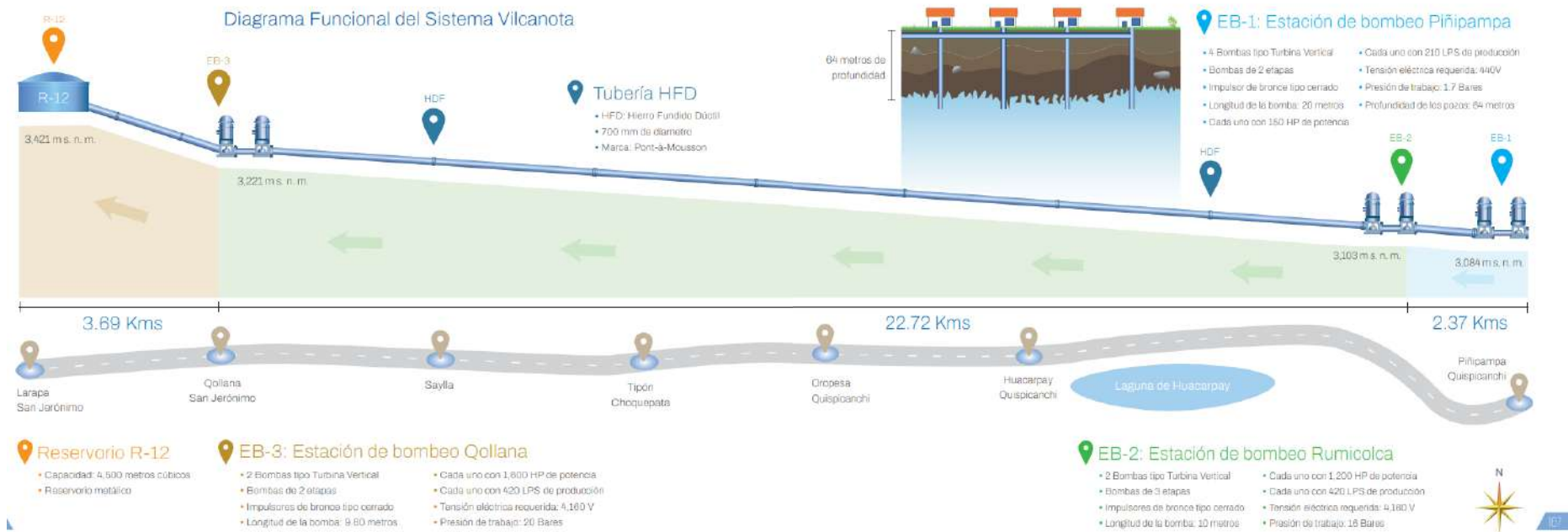
#### **Reservorios Sistema Vilcanota**

Sistema de Abastecimiento	Reservorio		Volumen Almacenamiento (m <sup>3</sup> )	Nivel Agua Máximo
Vilcanota	Larapa	R-12	4500.00	3433.33
	Los Andenes	R-1	1800.00	3369.95
	Qoripata Izquierdo	R-5	1050.00	3403.45
	Qoripata Derecho	R-5	1050.00	3403.51
	San Sebastian	R-10	3000.00	3342.89
	Ununchis	R-42	500.00	3330.48
	Wimpillay	R-13	1500.00	3404.79
	Caramascara	R-14	1830.00	
	Total		15230.00	

*Fuente: EPS. SedaCusco 2021*



Figura N° 2 Diagrama funcional del Sistema Vilcanota



Fuente: EPS. SedaCusco 2022

### Captación

#### 2.2.2 Línea de Impulsión

Es un sistema por bombeo, es el tramo de tuberías que conduce el agua desde una estación de bombeo hasta un reservorio o tanque cisterna. (Tixe, 2004)



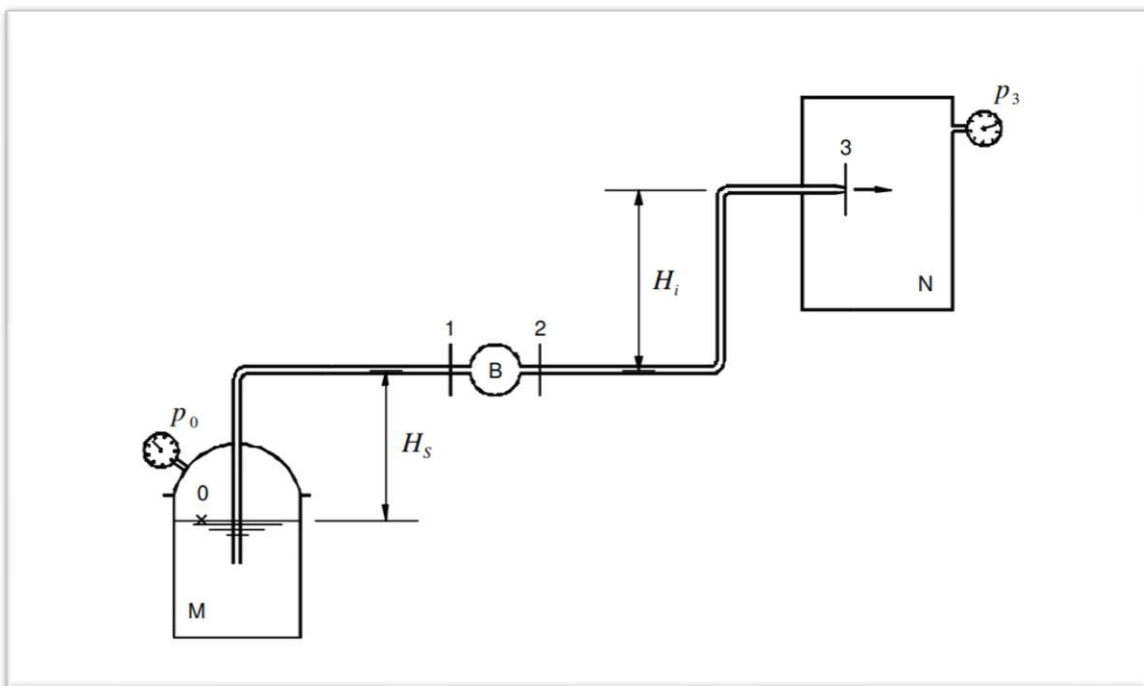
Las bombas aportan energía, están accionadas por un motor, la presencia de una bomba significa una elevación de la línea de energía. (Soriano Olivares, 2012)

Un sistema por bombeo es un arreglo de varias estructuras hidráulicas y equipamiento mecánico, que operando en conjunto permite elevar volúmenes de fluido en un desnivel topográfico con flujo presurizado; de manera general e indicativa. (Ríos Cando, 2016)

Esquema genérico de un suministro por bombeo

En la Figura N°3 se presenta esquemáticamente el caso más general de un suministro por bombeo de M a N. B representa una bomba. En M el líquido está confinado y sometido a una presión  $P_0$ . El tramo 0-1 (M-B) se denomina de aspiración (succión). El tramo 2-3 (B-N) se denomina de impulsión. Las alturas correspondientes se llaman de succión y de impulsión.

Figura N° 3 Esquema genérico de un suministro por bombeo



Fuente: (Rocha Felices, 2007)

### 2.2.3 Línea de Interconexión

Es el sistema que transporta el agua desde la planta de tratamiento o del tanque de almacenamiento (reservorio), hasta la conexión del servicio, es decir, el punto en el que



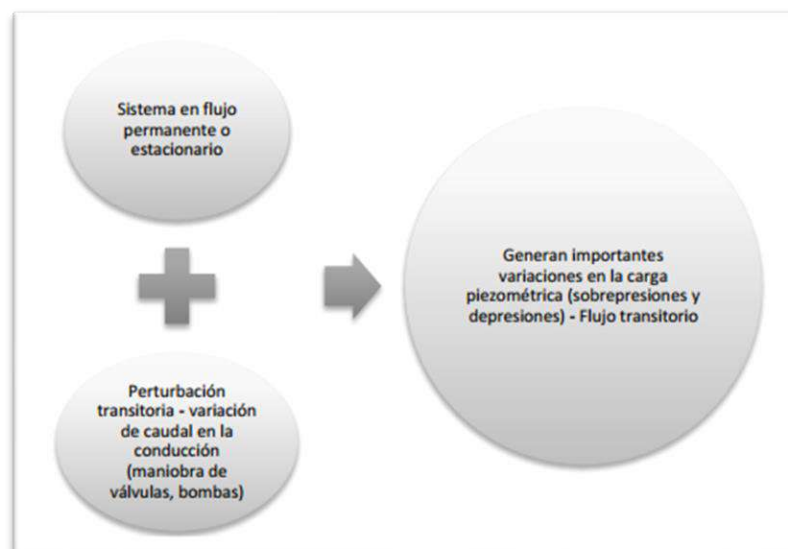
el usuario puede hacer uso de ella, ya sea una toma de agua comunitaria o conexiones domiciliarias. (Bhardwaj & Metzgar, 2001)

#### 2.2.4 Transitorios Hidráulicos

Es un término general que se refiere a cualquier cambio repentino en la presión, velocidad o caudal de un fluido en movimiento dentro de un sistema de tuberías o conductos. Este cambio puede deberse a una variedad de factores, como la apertura o cierre de válvulas, el arranque o parada de bombas, cambios en la velocidad del flujo, etc. Abarca una amplia gama de fluctuaciones de presión y flujo en un sistema y no necesariamente implica un golpe de ariete en el sentido estricto.

Se caracteriza por existir una variación de los parámetros hidrodinámicos de un instante a otro, es decir no son constantes en el tiempo. En cada uno de estos instantes se producen condiciones de flujo permanente de eventual equilibrio y varían rápidamente hasta alcanzar una nueva condición estacionaria; estas nuevas condiciones estacionarias pueden asociar magnitudes extraordinarias de los parámetros hidrodinámicos sobre todo en la carga de presión del sistema, situación que resulta ser perjudicial para los componentes de un arreglo hidráulico. Este tipo de flujo puede originarse tanto para flujos a superficie libre como para flujos presurizados, o la combinación de estos dos (Ríos Cando, 2016)

*Figura N° 4 Esquema explicativo de la generación de un flujo transitorio*



*Fuente: Ríos Cando, 2016*

- **Sobrepresión:** Se denomina a toda presión superior a la de trabajo en cualquier punto de una conducción a presión, una sobrepresión provoca un incremento de





tensiones en el material de la tubería que se puede prever desde el proyecto a fin de evitar deformaciones plásticas y roturas en la instalación. (Carmona Paredes, 2017)

Por estas razones la determinación de los espesores y/o clase del material de los conductos bajo régimen de transitorio, es de gran importancia para asegurar un correcto funcionamiento de los sistemas. (Ríos Cando, 2016)

- **Subpresión, Depresión o Presión de Vacío:** Es toda presión absoluta menor que la atmosférica. Si la tubería está enterrada, la presión media exterior que tolera es mayor que la atmosférica, dependiendo del tipo de suelo y de la profundidad. (Carmona Paredes, 2017)

Son todas aquellas presiones que tienen lugar en cualquier punto de las conducciones y están por debajo de la carga piezométrica de diseño, las depresiones más perjudiciales son aquellas presiones relativas menores a la presión atmosférica local. Producto de estas depresiones críticas se pueden generar los siguientes problemas adicionales:

- Colapso de la tubería: al reducirse la presión interna y alcanzar valores por debajo de la presión exterior, la tubería trabajará a compresión y producirá pandeo (deformación) en el contorno de la tubería hasta colapsar. (Ríos Cando, 2016)
- Separación de columna líquida: si la tubería soporta este efecto de compresión, adicionalmente se puede producir la vaporización del agua por efecto de la disminución de presión relativa y formar burbujas o cavidades de aire, que al ser sometidas a una presión superior a la de vaporización pueden reducir con rapidez su volumen, provocando que la columna líquida separada choque violentamente. (Ríos Cando, 2016)

#### 2.2.4.1 Flujo transitorio rápido o flujo no permanente rápidamente variado

Esta primera clasificación corresponde al denominado golpe de ariete, el mismo que tiene lugar cuando se modifica el caudal del sistema y su ocurrencia se remite a cortos intervalos de tiempo dependiendo de las características de la conducción.

Este flujo rápido está relacionado directamente con el fenómeno de traslación de ondas que se produce posterior a una perturbación transitoria que modifique el caudal



estacionario, por ejemplo, la maniobra de una válvula, maniobra de encendido y/o apagado de un sistema de bombeo, entre otras.

El flujo transitorio rápido es más drástico generalmente cuando las maniobras que generan el transitorio tienen un tiempo de duración menor al periodo de la conducción y las variaciones en la carga piezométrica suelen ser de importantes magnitudes. Para el análisis de este transitorio es necesario tomar en consideración las propiedades elásticas del fluido y del material de la conducción. La representación matemática de este flujo está dada con ecuaciones en derivadas parciales (modelo elástico)

#### 2.2.4.2 Flujo transitorio lento o flujo no permanente gradualmente variado

Este flujo transitorio se caracteriza porque las variaciones del caudal que generan el transiente por lo general ocurren en un tiempo mayor al periodo de la conducción y se produce el denominado fenómeno de oscilación de masa. Para el análisis de este transitorio se desprecian los parámetros elásticos del fluido y de la conducción, se asume que la masa de agua se transporta como un 'sólido' a velocidades equivalentes a 1 mach, la energía cinética se transforma en energía potencial.

La oscilación de masa es un fenómeno cuya ocurrencia se remite a varios minutos y tiene lugar en sistemas donde existen estructuras que están expuestas a presión atmosférica, el caso de tanques y chimeneas de equilibrio.

La resolución de este transitorio es más simple ya que las ecuaciones que rigen el movimiento son del tipo diferenciales ordinarias, con mayores facilidades para su resolución (modelo rígido).

#### 2.2.5 Fenómeno de Golpe de Ariete

Es el fenómeno que se produce en una tubería en la que bruscamente se cierra una válvula generando una onda de sobrepresión que se propaga hacia aguas arriba. Es la sobreelevación súbita de la presión. (Rocha Felices, 2007)

El golpe de ariete es un término que se utiliza para describir el choque producido por una súbita disminución en la velocidad del fluido. (Giles, 2003)

En una tubería, al cerrar una válvula, el tiempo que tarda la onda de presión en viajar aguas arriba hasta la embocadura de la tubería y volver aguas abajo hasta la válvula viene dada por:

$$T := \frac{2 \cdot L}{c}$$



T: Tiempo (segundos)

L: Longitud de la tubería (metros)

c: Celeridad de onda de presión (m/seg)

(Giles, 2003)

El aumento de presión producido por el cierre rápido de una válvula se calcula por:

$$dP := \rho \cdot c \cdot dV$$

dP: Variación de presión (kg/m<sup>2</sup>)

$\rho$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

c: Celeridad de onda de presión (m/seg)

dV: Variación de velocidad

Para tuberías rígidas, la celeridad de la onda de presión es:

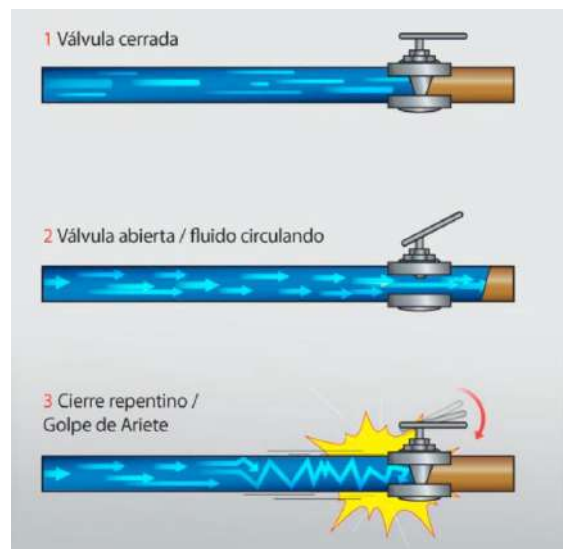
$$c := \sqrt{\frac{E_n}{\rho}}$$

$E_n$ : Módulo de elasticidad volumétrico en kg/m<sup>2</sup>

$\rho$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

(Giles, 2003)

Figura N° 5 Esquema del Golpe de Ariete



Fuente: Juan, D. S. (2016). *Golpe de ariete. consecuencias y prevenciones*



El caso más importante de golpe de ariete en una línea de impulsión de bombas accionadas por motores eléctricos es el que ocurre justo después de una interrupción del suministro de energía eléctrica. En este caso, debido a la inercia de las partes giratorias de los conjuntos de elevación, inmediatamente después de la falta de corriente, la velocidad de las bombas comienza a disminuir, reduciendo rápidamente el flujo. La columna líquida continúa subiendo por la canalización de represión, hasta el momento en que la inercia es vencida por la acción de la gravedad. Durante este período, se produce una descompresión en el interior de la canalización. Luego se produce la inversión en la dirección de flujo y la columna líquida regresa a las bombas. Si no hubiera válvulas de retención, las bombas comenzarían a funcionar como turbinas, en sentido contrario. (Azevedo Netto, 1998)

#### 2.2.5.1 EXPLICACIÓN FÍSICA DEL FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE EN SISTEMAS DE BOMBEO

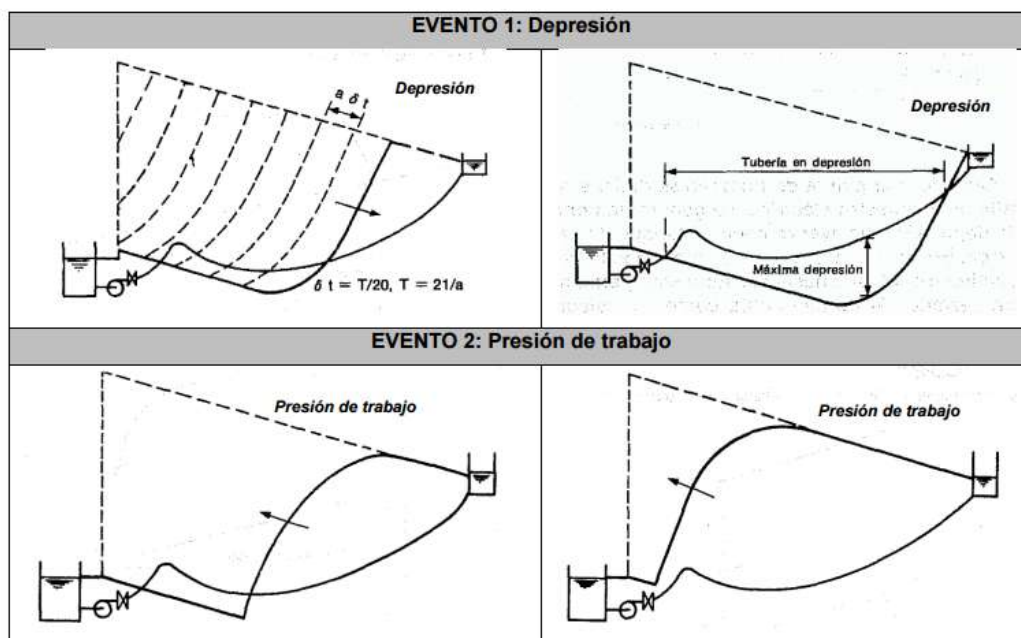
- EVENTO 1: consecuencia del paro accidental de la estación de bombeo, el rodete soporta una disminución de velocidad angular, por tanto, el caudal que suministraba la bomba varía, la línea piezométrica empieza a “descolgarse” de su condición de régimen estacionario, a medida que una onda de depresión se traslada desde el sitio de las bombas hasta el tanque de descarga. La onda de presión negativa (depresión) se produce por efecto de la disminución de caudal suministrado por la bomba. (Ríos Cando, 2016)
- EVENTO 2: una vez que la onda de presión negativa llega al tanque de descarga, esta onda se refleja y se dirige hacia la estación de bombeo. En su retorno hacia la estación de bombeo, esta onda genera las condiciones de flujo estacionario iniciales, es decir la línea piezométrica se reestablece. Al cabo de este evento se ha cumplido el periodo fundamental de la tubería. (Ríos Cando, 2016)
- EVENTO 3: cuando la onda de presión arriba al sitio de la estación de bombeo, se pueden producir dos escenarios:
  - Cuando la válvula de retención se encuentre abierta y exista un flujo inverso que ingrese a las bombas y produzca un funcionamiento de disipación de energía (como turbina), en este caso el análisis de reflexión



de la onda es complejo y puede originar sobre velocidad en las máquinas con sus posteriores consecuencias.

- Cuando la válvula de retención se encuentra totalmente cerrada, produciendo una reflexión de la onda de presión y a reglón seguido una sobrepresión porque el gasto se anula; esta sobrepresión se traslada hacia la descarga. La presencia de esta válvula de retención es una protección de la estación de bombeo, sin embargo, produce una sobrepresión importante. En este trabajo nos ocuparemos tan solo del transitorio en el cual la válvula de retención se encuentra totalmente cerrada al iniciar este evento.
  - o EVENTO 4: La onda de sobrepresión llega al tanque de descarga y se refleja con dirección a la estación de bombeo haciendo que las presiones sean similares a las de régimen transitorio. Una vez que esta onda de depresión llega hasta la válvula de descarga se refleja y produce una onda de presión negativa para iniciar un nuevo ciclo. (Ríos Cando, 2016)

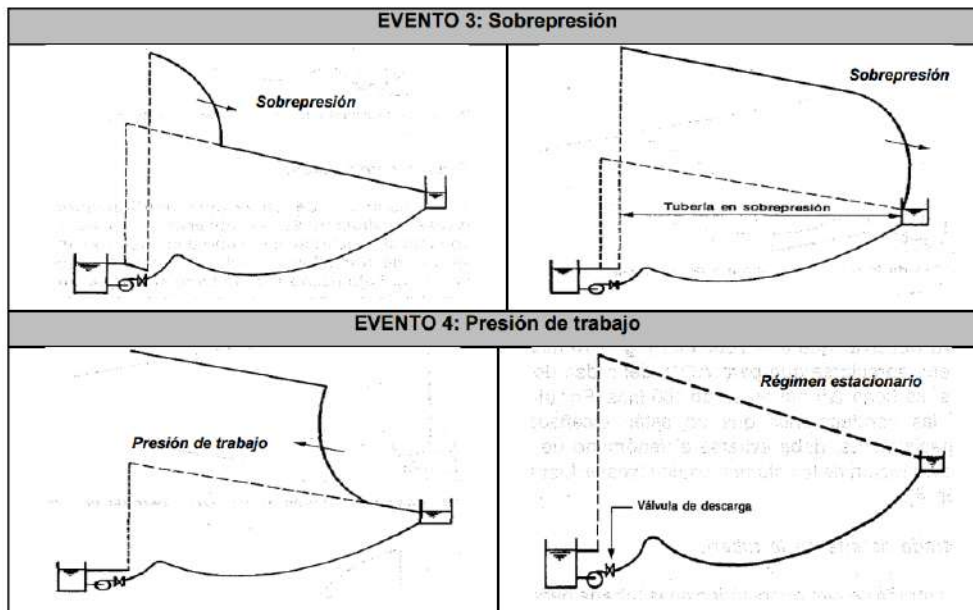
Figura N° 6 Evolución del golpe de ariete por paro accidental de un sistema de bombeo  
Evento 1 y Evento 2



Fuente: Carmona Paredes, 2017



Figura N° 7 Evolución del golpe de ariete por paro accidental de un sistema de bombeo  
Evento 1 y Evento 2



Fuente: Carmona Paredes, 2017

### 2.2.6 Tubería de Hierro Dúctil:

La tubería de hierro dúctil posee la calidad del hierro y el rendimiento del acero y tiene características de alta resistencia, alta elongación y resistencia a la corrosión. (ISO. 2531- 2009)

Se diferencia de los hierros fundidos grises tradicionales por sus notables propiedades mecánicas (elasticidad, resistencia a los choques, alargamiento) que se deben a la forma esterooidal de las partículas de grafito. (Saint Gobain, 2010)

Figura N° 8 Tubería de hierro dúctil



Fuente: Agua y fluido. Import SAC



### 2.2.7 Diámetro Nominal:

Medida que corresponde al diámetro exterior, mínimo de una tubería. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

Es una designación dimensional numérica común a todos los elementos de una canalización. Es un número entero utilizado con fines de referencia y que solo tiene una relación aproximada con las dimensiones de fabricación. (ISO. 2531- 2009)

2.2.7.1 **Diámetro Exterior:** Es la medida del diámetro exterior real de la tubería, es decir, la distancia desde el borde exterior de la tubería hasta el borde exterior opuesto. Se expresa en unidades de longitud, como milímetros o pulgadas. Es importante para determinar si una tubería encajará en accesorios o conexiones específicas, como codos, juntas o bridas. Es la medida que se utiliza para dimensionar los componentes del sistema de tuberías. (Saint Gobain, 2010)

2.2.7.2 **Diámetro Interior:** Es la medida del diámetro real del espacio interior de la tubería, es decir, la abertura a través de la cual fluye el fluido. Al igual que el DE, se expresa en unidades de longitud, como milímetros o pulgadas. Es importante para calcular el área de flujo y determinar la capacidad de transporte de una tubería. También es relevante para el cálculo de la velocidad y la presión del fluido en el interior de la tubería. (Saint Gobain, 2010)

### 2.2.8 Macizos de Anclaje:

Es la técnica para soportar los esfuerzos de empuje hidráulico, más frecuentemente utilizada, de una canalización con enchufe a presión. (Saint Gobain, 2020)

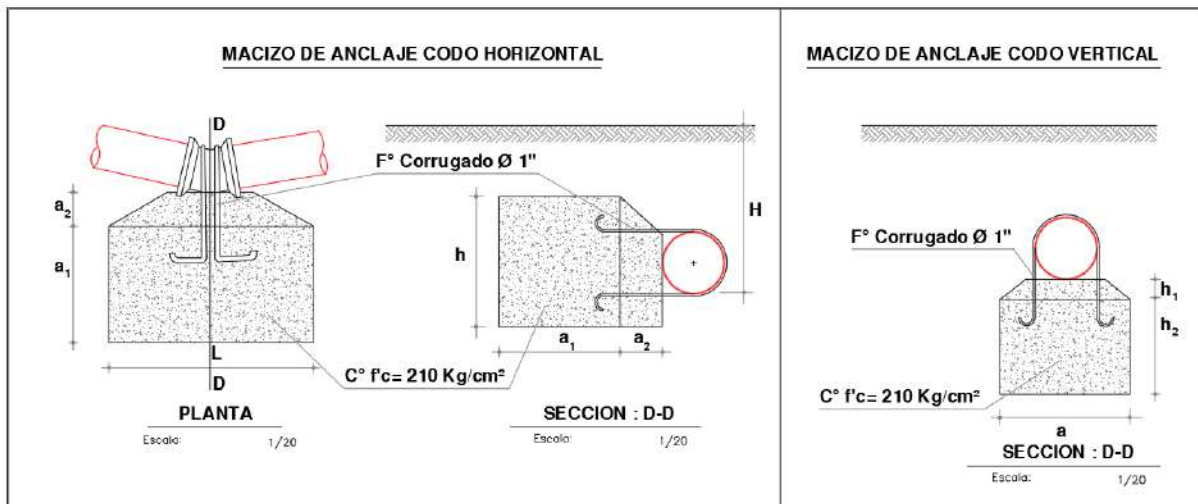
Es un bloque de concreto armado, frecuentemente utilizado para soportar los esfuerzos de empuje hidráulico de una canalización con enchufes a presión, se coloca en los accesorios: codos, reducciones de diámetros y tees. (Saint Gobain, 2020)

Los macizos de anclaje son elementos que se colocan en puntos singulares de las conducciones a presión como los codos, las tes y los finales de línea, para evitar que se produzcan movimientos en la tubería que desenchufen las juntas y que generen la pérdida de agua de la misma. Además, estos elementos funcionan al peso, esto es, que por medio de su peso y el rozamiento que su movimiento generaría contra el suelo, se oponen al empuje que reciben de la conducción en este punto.



Los empujes que se producen en los puntos singulares se deben a los esfuerzos no compensados de la presión del interior del tubo. Dichos esfuerzos suscitan una reacción igual y de signo contrario que tratan de mover la conducción, así por ejemplo en un codo, la reacción se genera hacia el exterior del mismo. (Labalde, 2021)

Figura N° 9 Macizos de Anclaje Horizontal y Vertical.



Fuente EPS. SedaCusco 2022

### 2.2.9 Tubería HD Acerrojada:

Es la tubería que incorpora un cordón de soldadura en el extremo liso de la tubería y que cuenta con anillo acerrojado metálico en ambas partes de un codo, permitiendo utilizar las fuerzas de frotamiento suelo/tubo para equilibrar la fuerza de empuje hidráulico. (Saint Gobain, 2010)

Presenta ventajas cuando existen limitaciones de ocupación de terreno (área urbana) o en los suelos de poca cohesión. Las nuevas tecnologías, aplicadas en el diseño de juntas acerrojadas proporcionan flexibilidad, rapidez y seguridad en la construcción. (Saint Gobain, 2010)

Esta técnica de protección consiste en acerrojar las juntas en una longitud suficiente por ambas partes de un codo, lo que permite utilizar las fuerzas de frotamiento suelo /tubo para equilibrar las fuerzas de empuje hidráulico.

#### 2.2.9.1 Tubería Acerrojada con junta Interna

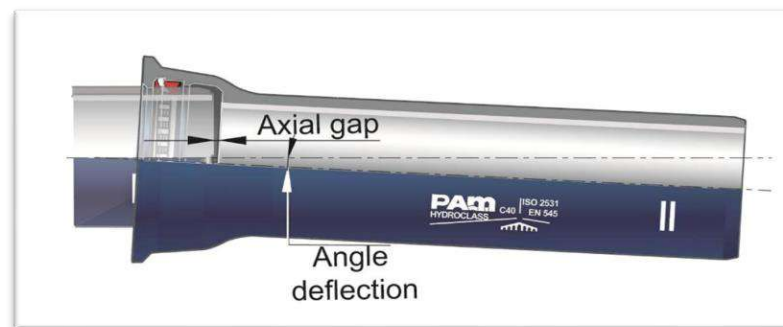
En las que el acerrojado entre los tubos se consigue por la adherencia que garantiza un anillo elastomérico con insertos metálicos. Este anillo puede ser la propia junta de estanqueidad, como ocurre en las uniones express Vi (unión interna) y standard Vi



(unión interna), o un anillo independiente. Son los acerojados con mayor desviación angular admisible. Su principal desventaja es la importante reducción de presión admisible, en comparación con uniones no acerojadas o con acerojados del tipo Ve (unión externa).

Estas uniones no serán desmontables una vez que la red haya sido puesta en carga. (Saint Gobain, 2010)

Figura N° 10 Tubería acerojada con junta interna

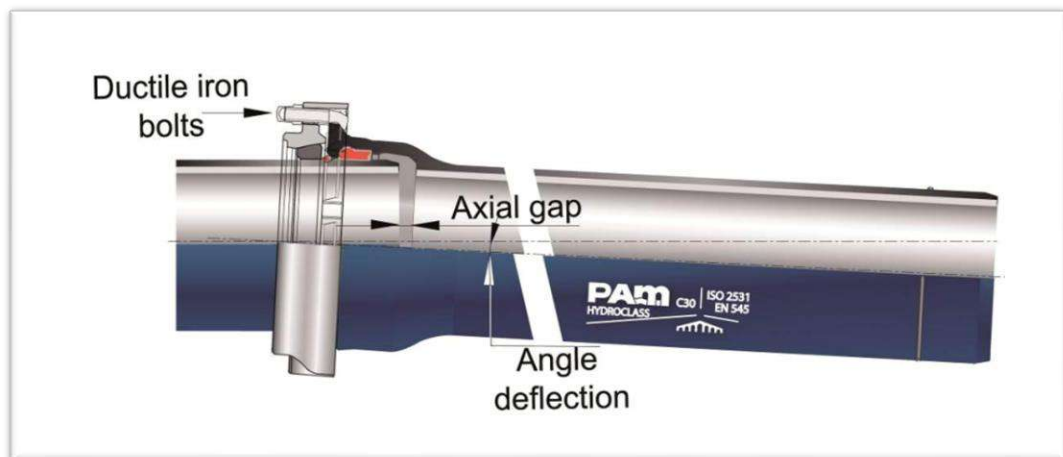


Fuente: (Saint Gobain, 2010)

#### 2.2.9.2 Tubería Acerrojada con junta Externa

En este caso el acerojado se consigue mediante el tope físico que realiza un anillo de acerojado metálico y un cordón de soldadura presente en el extremo liso del tubo a enchufar. Son los acerojados de mayores prestaciones de presión y tracción admisible. Su principal desventaja es la necesidad de rehacer los cordones de soldadura en aquellos tubos que sean cortados en obra. (Saint Gobain, 2010)

Figura N° 11 Tubería acerojada con junta externa



Fuente: (Saint Gobain, 2010)



### 2.2.10 Estación de Bombeo

Las estaciones deberán planificarse en función del período de diseño. El caudal de los equipos deberá satisfacer como mínimo la demanda máxima diaria de la zona de influencia del reservorio. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

En caso de bombeo discontinuo, dicho caudal deberá incrementarse en función del número de horas de bombeo diario. La estación de bombeo, podrá contar o no con reservorio de succión. Cuando exista este, se deberá permitir que la succión, se efectúe preferentemente con carga positiva.

El ingreso de agua se ubicará en el lado opuesto a la succión para evitar la incorporación de aire a la línea de impulsión y el nivel de sumergencia de la línea de succión no debe permitir la formación de vórtices.

Cuando el nivel de ruido previsto supere los valores máximos permitidos y/o cause molestias al vecindario, deberá contemplarse soluciones adecuadas. La sala de máquinas deberá contar con sistema de drenaje. Cuando sea necesario, se deberá considerar una ventilación forzada de 10 renovaciones por hora, como mínimo. El diseño de la estación deberá considerar las facilidades necesarias para el montaje y/o retiro de los equipos. La estación contará con servicios higiénicos para uso del operador de ser necesario. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

La selección de las bombas se hará para su máxima eficiencia, debiéndose considerar:

- Caudales de bombeo (régimen de bombeo).
- Altura dinámica total.
- Tipo de energía a utilizar.
- Tipo de bomba.
- Número de unidades.
- En toda estación deberá considerarse como mínimo una bomba de reserva, a excepción del caso de pozos tubulares.
- Deberá evitarse la cavitación, para lo cual la diferencia entre el NPSH requerido y el disponible será como mínimo 0,50 m.
- La tubería de succión deberá ser como mínimo un diámetro comercial superior a la tubería de impulsión.
- De ser necesario la estación deberá contar con dispositivos de protección contra el golpe de ariete, previa evaluación.



(Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019)

Figura N° 12 Estación de Bombeo de Rumicolca

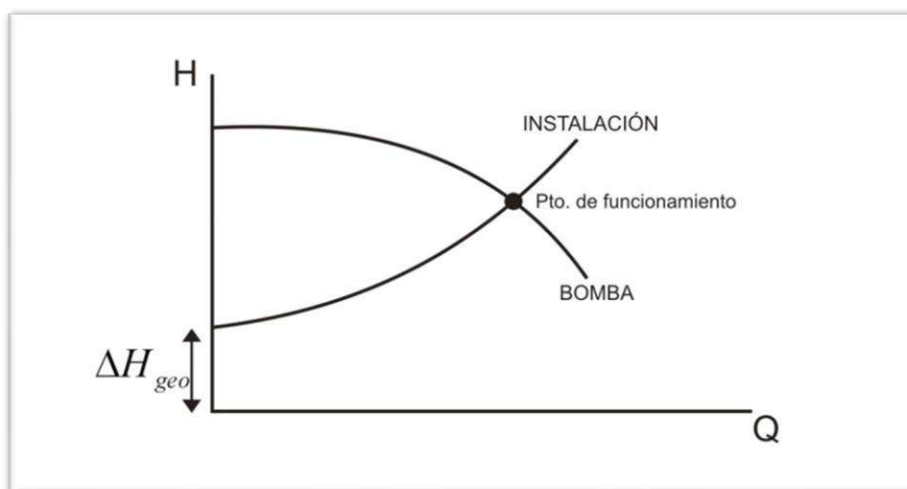


Fuente: Tomado de EPS. SedaCusco 2022

### 2.2.11 Punto de funcionamiento de un sistema de bombeo

El punto de funcionamiento de un sistema de bombeo representa el balance de las características de las bombas (curva caudal – carga hidráulica) vs. las características resistentes a vencer (desnivel topográfico ‘altura estática’ y pérdidas de carga). El punto de funcionamiento de un sistema puede ser determinado de forma gráfica, las intersecar las curvas características de la bomba  $Q$  (caudal) vs  $H$  (altura dinámica total de la bomba), con la curva de pérdidas de carga del sistema; estas curvas son de tipo cuadráticas. (Ríos Cando, 2016)

Figura N° 13 Curvas del sistema de un sistema de bombeo



Fuente: Bellón, 2010



### **2.2.12 Arreglo de bombas (Estaciones de bombeo)**

Un sistema de bombeo puede estar conformado por una o varias bombas, número de dispositivos que dependerá de las solicitudes principales del sistema, es decir caudal y altura de elevación de los volúmenes de fluido. Existen dos arreglos mediante los cuales se pueden acoplar bombas: en serie y en paralelo. (Ríos Cando, 2016)

#### **2.2.12.1 Bombas en serie**

Un sistema de bombeo puede estar conformado por una o varias bombas, número de dispositivos que dependerá de las solicitudes principales del sistema, es decir caudal y altura de elevación de los volúmenes de fluido. Existen dos arreglos mediante los cuales se pueden acoplar bombas: en serie y en paralelo. (Ríos Cando, 2016)

#### **2.2.12.2 Bombas en paralelo**

La aspiración del fluido en todas las bombas se realiza en un punto común, las mismas que dirigen el caudal hacia una estructura múltiple que cumple la función de acumular todo el caudal a impulsar, previo a su ingreso a la línea de impulsión (conducción). Generalmente, todas las bombas que conforman el arreglo en paralelo tienen las mismas características de caudal y carga hidráulica en el punto nominal; razón por la cual estas estaciones de bombeo son utilizadas cuando el caudal a impulsar es variable o cuando se necesita una alta seguridad en la dotación de fluido. (Ríos Cando, 2016)

### **2.2.13 Cavitación**

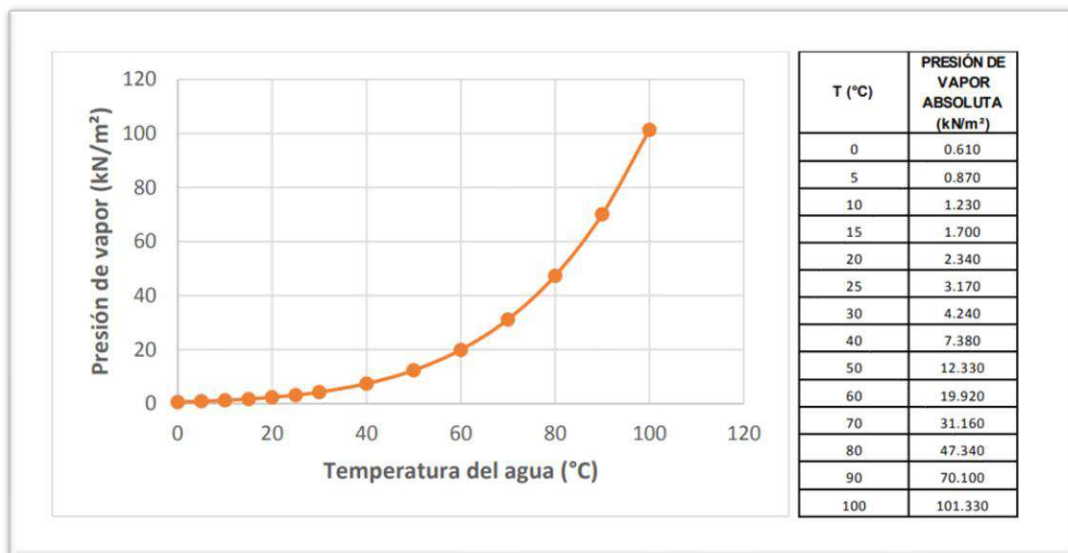
Este fenómeno tiene lugar porque la presión en algún punto de la corriente de un fluido desciende por debajo de un valor admisible. De acuerdo a la termodinámica un líquido entra en ebullición (cambio de estado líquido a gaseoso) cuando alcanza una presión denominada presión de vapor ( $P_v$ ), la misma que varía de acuerdo con la temperatura. El líquido se evapora y genera cavidades o burbujas de vapor, las mismas que son arrastradas por la corriente y llegan a zonas con presiones elevadas donde se produce el fenómeno de condensación; esta condensación es violenta y ocasiona diferenciales de presión local que pueden sobrepasar los 1000 bares con el respectivo impacto en el contorno que conduce el fluido, generando daños en los materiales. (Ríos Cando, 2016)



### 2.2.14 Presión de Vapor (Pv)

Presión que ejercen las moléculas en estado gaseoso de un fluido, que han sido desalojadas fuera de la masa líquida al presentarse elevadas tasas de energía cinética por el choque con otras moléculas.

Figura N° 14 Variación de la presión de vapor absoluta vs temperatura - a 1atm de presión atmosférica



Fuente: (Ríos Cando, 2016)

### 2.2.15 Altura máxima de succión (hs<sub>max</sub>)

Es la altura máxima de succión con la que podrá operar una bomba, sin generar problemas de cavitación. (Ríos Cando, 2016)

$$h_{s_{max}} := \frac{P_s - P_v}{\gamma} - NPSHr - H_{r_s}$$

Ps: Presión Absoluta en succión (generalmente presión atmosférica)

Pv: Presión absoluta de vapor del fluido a determinada temperatura

γ: Peso específico del fluido

NPSHr: Altura neta de succión neta requerida

H<sub>r<sub>s</sub></sub>: Pérdidas de carga en la succión

### 2.2.16 Altura neta positiva de succión disponible (NPSH<sub>d</sub>)

Es una carga hidráulica disponible para conducir determinado caudal desde la succión hasta el eje de la bomba; esta carga neta está definida por la siguiente ecuación:





$$NPSHd := \frac{P_s - P_v}{\gamma} - S - H_{r_s}$$

Ps: Presión absoluta en succión

Pv: Presión absoluta de vapor del fluido a determinada temperatura

$\gamma$ : Peso específico del fluido

S: Altura estática de succión

H<sub>r<sub>s</sub></sub>: Pérdidas de carga en la succión

Esta ecuación es aplicable cuando el tanque de succión se encuentra por debajo del eje de la bomba, cuando efectivamente exista succión. (Ríos Cando, 2016)

### 2.2.17 Altura neta positiva de succión requerida (NPSHr)

Esta carga hidráulica es definida por el fabricante e impone las condiciones de operación de las bombas, es la altura neta positiva de succión disponible mínima; con el fin de evitar eventuales problemas de cavitación incipiente en la succión de la bomba y mantener la carga de presión necesaria al ingreso del rodete, para lo cual se debe cumplir esta condición:

$$NPSHd \geq NPSHr$$

(Ríos Cando, 2016)

### 2.2.18 Línea de gradiente hidráulica

Es la línea que indica la presión en columna de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación. (Tixe, 2004)

Con respecto a la línea de gradiente o piezométrica conviene ordenar los siguientes conceptos:

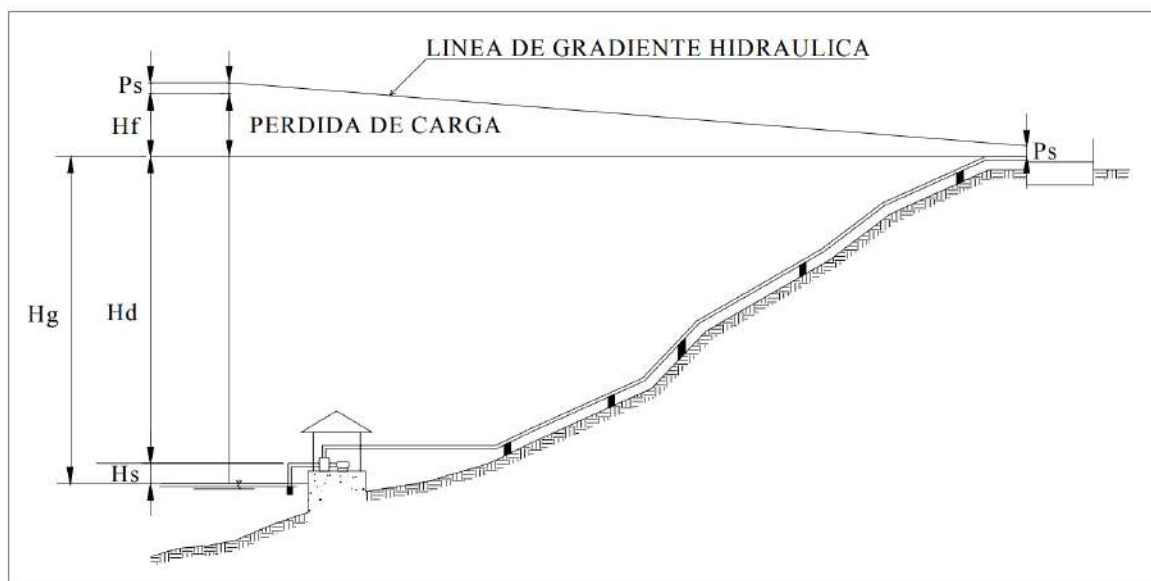
- La línea de gradiente indica por medio de su altura sobre el eje de la tubería la presión en cualquier punto de ella.
- En una tubería, o en tuberías de igual rugosidad y diámetro, cuanto mayor es la pendiente o inclinación de la línea de gradiente, tanto mayor será la velocidad del fluido.
- La línea de gradiente hidráulica indica por su descenso vertical la energía perdida entre dos secciones (para el movimiento uniforme)
- La gradiente hidráulica es recta para tuberías rectas de sección transversal constante y para tuberías cuya longitud sea aproximadamente igual a la línea que une sus extremos.

La línea de energía siempre desciende en la dirección del escurrimiento, salvo que se coloque una bomba. (Rocha Felices, 2007)





Figura N° 15 Línea de gradiente hidráulica en una línea de impulsión



Fuente: (Tixe, 2004)

Hf: Pérdida de carga

Hs: Altura de aspiración o succión

Hd: Altura de descarga

Hg: Altura geométrica

Ps: Presión de llegada al reservorio

### 2.2.19 Simulación Hidráulica

Es un modelo matemático de simulación que aproxima el comportamiento real de una red hidráulica. Este modelo está formado por un conjunto de ecuaciones que, de forma simplificada tratan de representar los datos hidráulicos, geométricos y funcionales que caracterizan la red real y su respuesta. Generalmente, la complejidad analítica asociada a la resolución del sistema de ecuaciones resultantes, precisa del apoyo de un sistema computacional capaz de desarrollar multitud de cálculos que aproximen la respuesta del modelo. (Soriano Olivares, 2012)

### 2.2.20 Altura Dinámica

Es la energía total por unidad de peso de un fluido que se desplaza en un sistema hidráulico. Esta medida integra la altura geométrica, que representa la elevación con respecto a un punto de referencia, y la presión generada por el movimiento del fluido. La altura dinámica

desempeña un papel fundamental en el ámbito de la hidráulica, siendo una herramienta esencial para el análisis y diseño de sistemas de fluidos, como aquellos aplicados en tuberías, bombas y otros elementos hidráulicos.

La altura dinámica se calcula utilizando la siguiente fórmula:

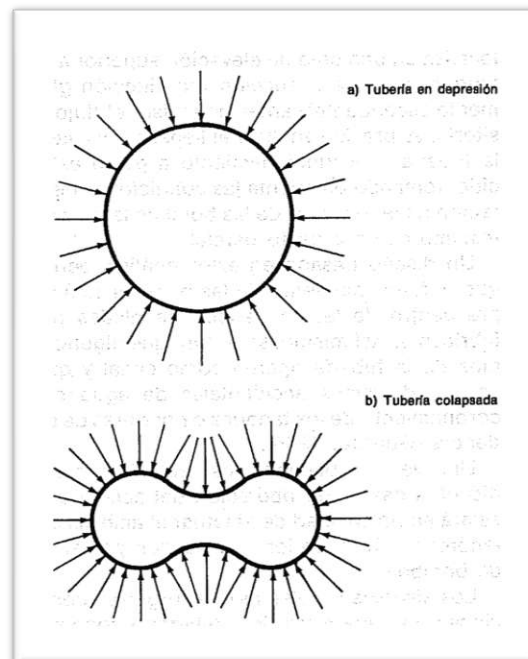
$$H_T := H_g + H_{f_{total}}$$

- $H_T$ : Es la altura dinámica total en el sistema de bombeo (m)
- $H_g$ : Altura estática total
- $H_{f_{total}}$ : Pérdidas de carga (totales)

### 2.2.21 Colapso de la tubería:

Al reducirse la presión interior y alcanzar valores por debajo de la presión media exterior, el tramo de tubería afectado trabajará a la compresión en el sentido de las tensiones según la circunferencia. (Carmona Paredes, 2017)

*Figura N° 16 Esquema de falla de una tubería por subpresión*



*Fuente: Carmona Paredes, L. G. 2017.*

### 2.2.22 Válvula de Control:

En líneas de impulsión se refiere a una válvula diseñada específicamente para controlar y regular el flujo de fluido en una tubería de impulsión de un sistema de transporte de líquidos a presión. Estas válvulas desempeñan un papel crucial en la gestión y operación



de sistemas de tuberías utilizados en una variedad de aplicaciones, incluyendo el suministro de agua potable, sistemas de riego, sistemas de alcantarillado, y más.

Las válvulas de control en líneas de impulsión son responsables de ajustar la cantidad de flujo de líquido que pasa a través de la tubería de impulsión. Esto puede ser necesario para varios propósitos, como mantener una presión constante en el sistema, regular el flujo en función de la demanda, o evitar sobrepresiones y golpes de ariete. Algunos de los aspectos clave de las válvulas de control incluyen:

**-Regulación del Flujo:** Las válvulas de control pueden abrirse o cerrarse parcialmente para aumentar o disminuir el flujo de líquido. Esto se logra ajustando la posición de la válvula

**-Presión Constante:** En sistemas donde se requiere una presión constante, las válvulas de control pueden mantener la presión deseada ajustando automáticamente su apertura según las condiciones cambiantes del sistema.

**-Protección contra Golpes de Ariete:** Estas válvulas también pueden utilizarse en combinación con otros dispositivos, como válvulas de cierre rápido y chimeneas de equilibrio, para proteger el sistema contra golpes de ariete, que son cambios bruscos de presión que pueden dañar las tuberías y componentes.

**-Control Automatizado:** En muchos casos, las válvulas de control se pueden automatizar utilizando sistemas de control que monitorean y ajustan la apertura de la válvula en función de las condiciones del sistema.

Figura N° 17 Válvula de Control



### 2.2.23 Válvula 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. (Bermad, 2020)

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

#### 2.2.23.1 Válvulas Simple Efecto (Expulsa aire):

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. (Bermad, 2020)

*Figura N° 18 Válvula de Aire Simple*



*Fuente: Catálogo Negofer Sac, 2021*

#### 2.2.23.2 Válvulas Doble Efecto (Toma y expulsa aire):

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. (Bermad, 2020)

*Figura N° 19 Válvula de Aire doble efecto*



*Fuente: Catálogo Bermad, 2021*

### 2.2.23.3 Válvulas Triple Efecto (Admisión, Expulsión De Aire Y Cierre Hermético):

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. (Bermad, 2020)

*Figura N° 20 Válvula de Aire Triple efecto*



*Fuente: Catálogo Saint Gobain, 2021*



#### 2.2.23.4 Válvula de 4 Efectos (Admisión, Expulsión De Aire, Cierre Hermético Y Protección Contra Golpe De Ariete):

Proporciona 4 funciones:

- i. Restricción de ventilación durante el llenado de tuberías.
- ii. Ventilación pequeña bajo línea de presión.
- iii. Gran toma de aire para vaciado de tuberías.
- iv. Previene el golpe de ariete

(Bermad, 2020)

*Figura N° 21 Válvula 4 efectos*



*Fuente: Catálogo Bermad, 2021*

#### **2.2.24 Calderín Antiariete:**

Es un componente utilizado en sistemas de tuberías, especialmente en sistemas de agua a presión, para controlar y mitigar los efectos de golpes de ariete. El golpe de ariete es un fenómeno hidráulico que ocurre cuando se produce una interrupción brusca en el flujo de un fluido en una tubería, lo que puede dar como resultado un aumento repentino y peligroso de la presión.



*Figura N° 22 Calderín Antiariete*



*Fuente: Catálogo Charlatte, 2021*

#### **2.2.25 Válvula 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. También denominada válvula de apertura temprana.

*Figura N° 23 Válvula Anticipadora de Onda*



*Fuente: Catálogo Bermad 2021*





## 2.3 Hipótesis

### 2.3.1 Hipótesis general

La tubería acerrojada es más eficiente que los macizos de anclaje, para soportar los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, en el proyecto Sistema Vilcanota II.

### 2.3.2 Hipótesis específicas

- La tubería acerrojada no proporciona ventajas económicas frente a los macizos de anclaje.
- La instalación de tubería acerrojada es más sencilla que los macizos de anclaje debido a los procesos constructivos que requiere.
- La instalación de una tubería acerrojada demuestra una mayor eficiencia espacial en comparación con la extensión de terreno requerida para los macizos de anclaje.

## 2.4 Definición de Variables y categorías

### 2.4.1 Variables

#### Variable n° 01

- Eficiencia

#### Indicadores de la Variable Independiente

- Porcentaje (%)

#### Variable n° 02

- **Tubería Acerrojada**
  - Tubería Acerrojada Externa
  - Tubería Acerrojada Interna
    - Metros (m)
    - Soles (S/)
    - Días

#### Variable n° 03

- **Macizo de Anclaje**
  - Macizo de Anclaje Horizontal
  - Macizo de Anclaje Vertical
    - Metros cúbicos (m<sup>3</sup>)
    - Soles (S/)
    - Días



## 2.4.2 Cuadro de operacionalización de variables

TITULO: "ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO, EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO - 2023"				
CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE				
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Variable n° 01</b>				
Eficiencia	La eficiencia en el contexto del presente estudio se refiere a la capacidad de las tuberías acerrojadas y los macizos de anclaje para maximizar la transferencia y distribución de esfuerzos de empuje en transitorios hidráulicos dentro del Proyecto Sistema Vilcanota II en Cusco, año 2023.	La capacidad de disipar el empuje hidráulico, la adaptabilidad al espacio disponible, facilidad de instalación y costo de elaboración y/o instalación.	Comparación entre las factores a medir, entre la tubería acerrojada y el macizo de anclaje	Porcentaje %
<b>Variable n° 02</b>				
Tubería Acerrojada: -Tubería Acerrojada Externa -Tubería Acerrojada Interna	Es la tubería que incorpora un cordón de soldadura en el extremo liso de la tubería y que cuenta con anillo acerrojado metálico en ambas partes de un codo, permitiendo utilizar las fuerzas de frotamiento suelo/tubo para equilibrar la fuerza de empuje hidráulico.	Longitud efectiva de Tubería Acerrojada	La longitud efectiva de Tubería Acerrojada es cuantificada por unidad útil de tubo (6.87m), a cada lado del codo.	Metros (m)
		Costo Unitario de Tubería Acerrojada	Costo Unitario por suministro e instalación de tubería acerrojada en los codos en la zanja de la línea de Impulsión, incluido mano de obra.	Soles (S/)
		Tiempo de Instalación	Tiempo de instalación de la tubería acerrojada en la zanja de la línea de impulsión.	Días
<b>Variable n° 03</b>				
Macizos de Anclaje: -Macizo de Anclaje Horizontal -Macizo de Anclaje Vertical	Es un bloque de concreto armado, frecuentemente utilizado para soportar los esfuerzos de empuje hidráulico de una canalización con enchufes a presión, se coloca en los accesorios: codos, reducciones de diámetros y tees.	Metros Cúbicos	El volumen del macizo de concreto será dimensionado de acuerdo a la presión máxima que necesiten soportar los codos.	Metros Cúbicos (m³)
		Costo Unitario del Macizo de Anclaje	Costo Unitario de elaboración del macizo de concreto, con todos sus insumos, incluido encofrado y mano de obra.	Soles (S/)
		Tiempo de Elaboración	Tiempo de elaboración, suministro e instalación del macizo de anclaje en el codo en la zanja de la línea de impulsión.	Días



### 3 Capítulo III: Método

#### 3.1 Metodología de la Investigación

##### 3.1.1 Enfoque de la investigación

Según Dankhe (1986), citado por Sampieri (2010), las investigaciones se categorizan en exploratorias, descriptivas, correlacionales y explicativas. Esta clasificación reviste gran importancia, ya que el tipo de estudio influye en la estrategia de investigación. El diseño, la recolección de datos, la forma de obtenerlos, el muestreo y otros componentes del proceso investigativo varían entre los estudios exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. En la práctica, es posible que cualquier investigación contemple elementos de más de una de estas cuatro categorías de estudio. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

La investigación propuesta adoptará un enfoque cuantitativo. Este enfoque se selecciona porque posibilita la evaluación de la realidad mediante parámetros medibles y replicables, los cuales pueden reproducirse en cualquier momento bajo las mismas condiciones. Además, facilita el uso de datos numéricos.

##### 3.1.2 Nivel o Alcance de la Investigación

La presente investigación es de carácter descriptivo. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

#### 3.2 Diseño de la Investigación

##### 3.2.1 Diseño metodológico

Con el propósito de abordar las preguntas de investigación, alcanzar los objetivos y evaluar las hipótesis, el diseño metodológico del trabajo de investigación se ha establecido como No Experimental.



Este enfoque se caracteriza por llevar a cabo la investigación sin la manipulación deliberada de variables. En la investigación no experimental, la práctica consiste en observar fenómenos tal como se presentan en su contexto natural para, posteriormente, realizar un análisis.

En este caso particular, los resultados se calcularán sin alterar ninguna de las variables durante el proceso de recopilación de datos y la evaluación de los empujes hidráulicos de la Línea de Impulsión e Interconexión del Sistema Vilcanota II.

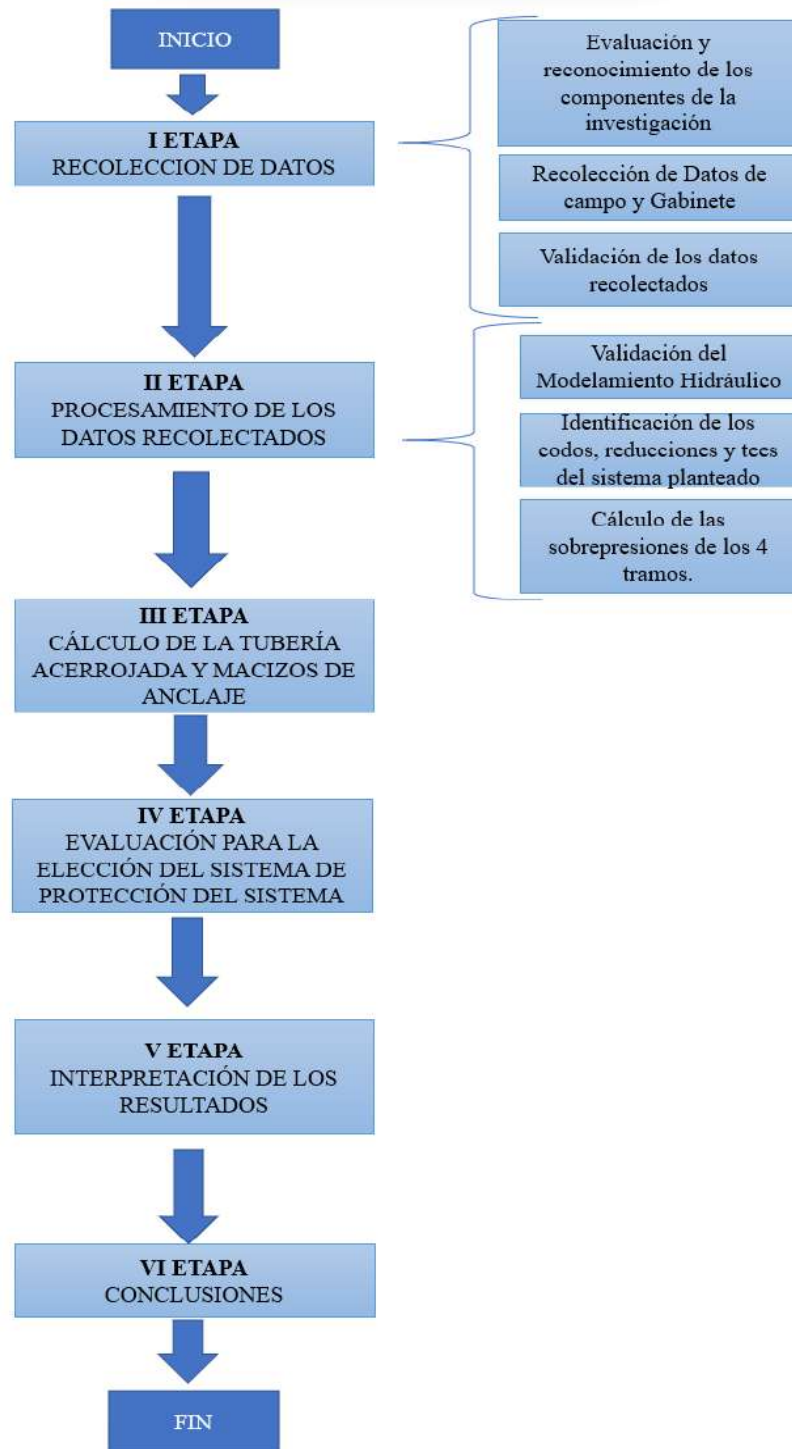
Así mismo, este tipo de diseño de investigación, no experimental viene a ser un diseño longitudinal o evolutiva. Los diseños longitudinales son estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y efectos. Este tipo de diseño no experimental recolecta datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos generalmente se especifican de antemano. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Entonces debido a que se hizo el estudio de investigación en un intervalo de tiempo desde noviembre de 2022 hasta octubre de 2023, la presente investigación es longitudinal.



### 3.2.2 Diseño de Ingeniería

Figura N° 24 Diagrama de flujo





### 3.3 Población y escenarios de estudio

#### 3.3.1 Población

##### 3.3.1.1 Descripción de la población

La población de la presente investigación, consta de toda la Línea de impulsión del Sistema de Bombeo Vilcanota.

##### 3.3.1.2 Cuantificación de la población

La población de la presente investigación, comprende la línea de impulsión de cada una de las 03 estaciones de Bombeo del Sistema Vilcanota (Piñipampa, Rumicolca, Collana) hasta la entrada del Reservorio R12 (Larapa).

#### 3.3.2 Muestra

##### 3.3.2.1 Descripción y cuantificación de la muestra

###### Descripción de la muestra

La muestra de investigación es el mismo Sistema de Bombeo Vilcanota, anteriormente descrito, lo que significa que nuestra población es equivalente o igual a nuestra muestra censal.

###### Cuantificación de la muestra

La muestra de la presente investigación, comprende la línea de impulsión de cada una de las 03 estaciones de Bombeo del Sistema Vilcanota (Piñipampa, Rumicolca, Collana) hasta la entrada del Reservorio R12 (Larapa).

##### 3.3.2.2 Método de Muestreo

El método de muestreo empleado en la investigación es no probabilístico, ya que no se recurrió al uso de fórmulas estadísticas para la selección de la muestra.

##### 3.3.2.3 Criterios de evaluación de muestra

La evaluación se basará en los siguientes criterios:

- Verificar y validar los datos proporcionados por la Oficina de Proyectos Especiales de la E.P.S. SedaCusco como son, planos topográficos, planos de simulación hidráulica, planos de simulación de transitorios hidráulicos, datos de oferta y demanda y demás datos técnicos que se requieran para el diseño de los sistemas de protección contra los empujes en transitorios hidráulicos.



- Comprobar que los datos proporcionados están descritos correctamente en las simulaciones de WaterCAD, WaterGems y Hammer.

#### 3.3.2.4 Criterios de inclusión

- Se consideró el DN 900mm de la tubería de Hierro Dúctil, siendo este uno de diámetro no convencional en proyectos de abastecimiento de agua en Cusco.
- La oferta y demanda proporcionadas por la entidad son a proyecciones de la población del Cusco para el año 2042, de tal manera que el Sistema Vilcanota II será la red principal abastecedora de agua potable de la ciudad del Cusco.

### 3.4 Instrumentos

#### 3.4.1 Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.

Las técnicas de recolección que se utilizarán serán:

- Recopilación de datos actuales del sistema actual, Sistema Vilcanota, para poder comprobar y validar el modelo propuesto por la oficina de proyectos especiales de la E.P.S. SedaCusco S.A. Los datos necesarios para poder validar son:
  - Diámetro nominal
  - Tipos de bombas
  - Caudal
  - Sistemas de protección
  - Presiones
  - Topografía
  - Alineamiento
- Reportes de los cálculos de oferta y demanda del Planteamiento Hidráulico del sistema Vilcanota II, elaborados por la Oficina de Proyectos Especiales de la EPS. SedaCusco S.A, para conocer los caudales de diseño propuestos.
- Reportes del Informe topográfico del sistema Vilcanota II, elaborados por la Oficina de Proyectos Especiales de la EPS. SedaCusco S.A, para conocer por la línea de trazado de la tubería a emplazar.
- Reportes de los caudales y presiones de la simulación hidráulica en los softwares Watercad, Watergems y Hammer,





### 3.4.2 Validez y confiabilidad de instrumentos

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación serán validados y revisados por los expertos en ingeniería hidráulica de la Oficina de Proyectos Especiales de la EPS. SedaCusco S.A., a fin de validar la pertinencia, veracidad y relevancia de los instrumentos de recolección.

### 3.4.3 Instrumentos de Ingeniería

- Softwares de ingeniería, realizados por computador
  - ✓ Bentley WaterCAD - Water distribution modeling and analysis
  - ✓ Bentley WaterGEMS - Water distribution analysis and design
  - ✓ Bentley HAMMER – Water Transient analysis
  - ✓ Civil3D 2023
  - ✓ AutoCAD 2023
  - ✓ Microsoft Excel 2019
  - ✓ Mathcad Prime 7.0
- Cinta métrica (metros)
- GPS Navegador

## 3.5 Procedimientos de Recolección y Análisis de Datos

### 3.5.1 Procedimiento realizado para la recolección de datos

Se inició las coordinaciones con la Oficina de Proyectos Especiales de la E.P.S. SEDACUSCO, oficina encargada de la elaboración del proyecto: “Ampliación de la producción de Agua 06 distritos de la ciudad del Cusco – departamento del Cusco”, conocido coloquialmente como Sistema Vilcanota II.

La EPS. SedaCusco S.A. proporcionó información necesaria para los cálculos correspondientes, como son:

- ✓ Planos Topográficos del proyecto
- ✓ Cálculos de la oferta y demanda proyectada para el 2042
- ✓ Cálculos de la dotación de caudal proyectados
- ✓ Simulaciones hidráulicas del sistema proyectado
- ✓ Simulación del Transitorio Hidráulico

Con el modelamiento de la simulación hidráulica en el software WaterCad y WaterGems y con la simulación de los transitorios hidráulicos en el software Hammer, se inició con las comprobaciones de los valores iniciales como, el caudal, el diámetro nominal y las presiones.

### 3.5.2 Toma de datos

Inicialmente se recopiló información del Sistema Vilcanota actual, que está en funcionamiento por más de veinte años.

Tabla N° 3 Descripción del sistema Vilcanota actual. E.B. Piñipampa - E.B. Rumicolca

	Universidad Andina del Cusco	PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023	
FICHA	:	Descripción Sistema Vilcanota actual		
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna		
FECHA	:	lunes, 12 de Diciembre de 2022		
TRAMO	:	E.B. PIÑIPAMPA - E.B. RUMICOLCA		
N°	Descripción de la infraestructura			
1	04 Pozos de captación con profundidad promedio de perforación de 64 metros			
2	01 Tanque antiarriete de 9000 litros			
3	04 Tanques antiarriete de 1000 litros			
4	Salas de control y mandos de los equipos de bombeo ubicados en el pozo N° 01			
5	El tipo de tubería es hierro fundido dúctil			
6	Diámetro nominal de línea de impulsión de 700mm			
7	Caudal de producción es de 473.28 L/s			
8	Longitud de 2.37 Km			

Tabla N° 4 Descripción del sistema Vilcanota actual. E.B. Rumicolca - E.B. Collana

	Universidad Andina del Cusco	PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023	
FICHA	:	Descripción Sistema Vilcanota actual		
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna		
FECHA	:	lunes, 12 de Diciembre de 2022		
TRAMO	:	E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA		
N°	Descripción de la infraestructura			
1	Equipada con 02 bombas de 960 Kw de potencia de 1200 HP			
2	Posee una cisterna de 300 m3 de capacidad de almacenamiento			
3	01 Tanque antiarriete de 15000 litros			
4	En la ruta, a la altura del sitio arqueológico de Pikillacta, se cuenta con un tanque antiarriete de 45000 litros			
5	El tipo de tubería es hierro fundido dúctil			
6	Diámetro nominal de línea de impulsión de 700mm			
7	Caudal de producción es de 430.0 L/s			
8	Longitud de 22.72 Km			

Figura N° 25 Visita al sistema Vilcanota actual, sitio arqueológico de Pikilacta



Tabla N° 5 Descripción del sistema Vilcanota actual. E.B. Collana - Reservorio R12

	<b>PROYECTO</b>	:	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023</b>	
<b>FICHA</b>	:	<b>Descripción Sistema Vilcanota actual</b>		
<b>RESPONSABLE</b>	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna		
<b>FECHA</b>	:	lunes, 12 de Diciembre de 2022		
<b>TRAMO</b>	:	E.B. COLLANA - RESERVORIO R12		
<b>N°</b>	<b>Descripción de la infraestructura</b>			
1	Equipada con 02 bombas de 1200 Kw de potencia de 1600 HP			
2	Posee un sistema automatizado de dosificación de cloro			
3	01 Tanque antiarriete de 9000 litros			
4	El tipo de tubería es hierro fundido dúctil			
5	Diámetro nominal de línea de impulsión de 700mm			
6	Caudal de producción es de 420.0 L/s			
7	Longitud de 3.69 Km			

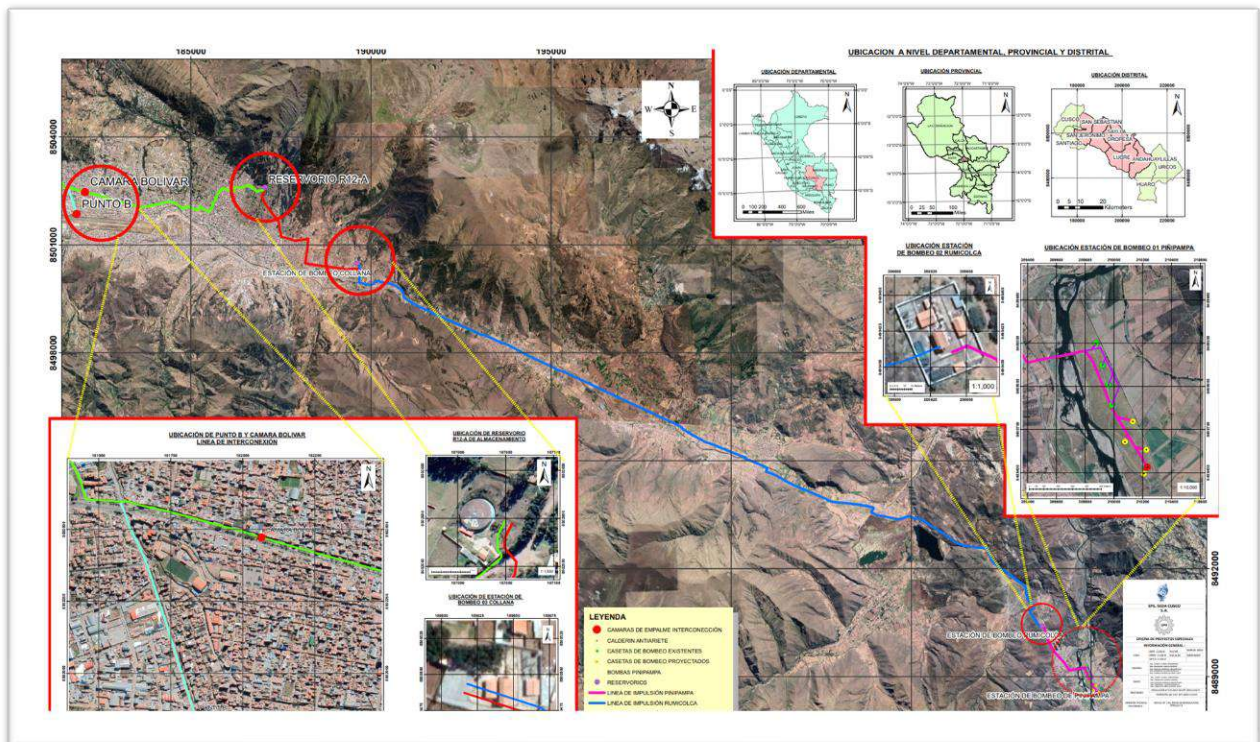
Los datos proporcionados por la oficina de proyectos especiales, son de diseño, encontrándose la mayoría de estos en gabinete, por lo que la validación y comprobación de estos se realizará en los softwares WaterGems, Hammer y Civil 3D.

### 3.5.2.1 Información topográfica

Se hizo la recopilación del informe topográfico realizado por la oficina de proyectos especiales de SedaCusco para el sistema Vilcanota II, obteniendo así el nuevo alineamiento planteado por los proyectistas para el tendido de la nueva tubería de hierro dúctil de diámetro nominal de 900mm.

A comparación del alineamiento actual, debido al crecimiento poblacional y a los nuevos lineamientos del ministerio de cultura del Cusco y demás restricciones de espacio, el nuevo trazo planteado de la tubería difiere respecto al sistema Vilcanota. Teniendo así más limitaciones que ayudarán al momento de elegir los sistemas de protección que se tomarán para el nuevo sistema. Del mismo modo, este nuevo alineamiento presenta retos al momento del tendido de tubería, debido a la orografía del terreno por el cual está proyectado la tubería.

*Figura N° 26 Plano de ubicación general del sistema Vilcanota II*



*Fuente: EPS. SedaCusco 2022*



Con los planos topográficos se realizó la inspección y comprobación del terreno de la tubería proyectada, para corroborar las limitaciones respecto al ancho de servidumbre que requiere la tubería de hierro dúctil de 900mm.

### **3.5.3 Simulaciones en software**

Las simulaciones realizadas por la oficina de proyectos especiales, se desarrollaron en el software Bentley Watergems, por consiguiente, el reporte de las simulaciones de las tuberías en las líneas de impulsión e interconexión fueron recibidas en formato excel.

A continuación, se muestra un ejemplo del reporte de la simulación hidráulica en la línea de Impulsión, donde muestran valores como:

- Diámetro nominal
- Tipo de material de la tubería
- Coeficiente de Hazen-Williams “C”
- Caudal
- Velocidad
- Nudos
- Pérdidas de carga





Tabla N° 6 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca 01

<b>Reporte de Tuberías</b>											
<b>Simulación Hidráulica: Tramo Piñipampa Rumicolca</b>											
ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
33	P-1	20	J-1	J-2	911.8	Ductile Iron	140.0	0	0.00	0.00	0.000
35	P-2	141	J-2	J-3	911.8	Ductile Iron	140.0	290	0.44	0.03	0.000
37	P-3	40	J-3	J-4	911.8	Ductile Iron	140.0	579	0.89	0.03	0.000
39	P-4	66	J-4	J-5	911.8	Ductile Iron	140.0	579	0.89	0.04	0.000
41	P-5	140	J-5	J-6	911.8	Ductile Iron	140.0	868	1.33	0.19	0.000
43	P-6	64	J-6	J-7	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.16	0.050
45	P-7	352	J-7	J-8	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.83	0.050
47	P-8	90	J-8	J-9	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.23	0.100
49	P-9	10	J-9	J-10	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.06	0.200
51	P-10	11	J-10	J-11	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.03	0.000
53	P-11	61	J-11	J-12	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.14	0.000
55	P-12	131	J-12	J-13	708.4	Ductile Iron	140.0	1,158	2.94	1.04	0.000
57	P-13	62	J-13	J-14	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.15	0.000
59	P-14	17	J-14	J-15	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.04	0.000
61	P-15	24	J-15	J-16	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.06	0.000
63	P-16	42	J-16	J-17	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.10	0.000
65	P-17	50	J-17	J-18	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.15	0.200
67	P-18	16	J-18	J-19	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.05	0.100
69	P-19	69	J-19	J-20	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.16	0.000
71	P-20	13	J-20	J-21	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.03	0.000
73	P-21	58	J-21	J-22	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.14	0.000
75	P-22	58	J-22	J-23	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.13	0.000
77	P-23	20	J-23	J-24	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.05	0.000
79	P-24	42	J-24	J-25	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.10	0.000
81	P-25	35	J-25	J-26	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.08	0.000
83	P-26	32	J-26	J-27	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.08	0.000
85	P-27	192	J-27	J-28	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.45	0.000
87	P-28	71	J-28	J-29	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.17	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022

El resto de los reportes de los siguientes tramos tanto en línea de impulsión e interconexión, se puede observar en anexos (pág. 152).



### 3.5.3.1 Simulación y transitorios hidráulicos

La simulación de los transitorios hidráulicos fue realizado por la oficina de proyectos especiales de SedaCusco, por consiguiente, los datos que usaron para dicha simulación tuvieron que ser validadas y contrastadas con la información recopilada, teniendo así los siguientes datos de cálculo:

- Periodo de diseño: 20 años (Año 2022- año 2042)
- Coeficiente Máximo Diario: 1.3
- Dotación:

*Tabla N° 7 Consumos por conexión*

DATOS DE CONSUMO POR CONEXIÓN SEGÚN CATEGORIAS	
	(m3/mes/cnx)
<b>DOMESTICO</b>	
CONSUMO UNITARIO C/MEDIDOR	12.00
CONSUMO UNITARIO S/MEDIDOR	12.60
<b>COMERCIAL</b>	
CONSUMO UNITARIO C/MEDIDOR	30.00
CONSUMO UNITARIO S/MEDIDOR	31.50
<b>INDUSTRIAL</b>	
CONSUMO UNITARIO C/MEDIDOR	77.00
CONSUMO UNITARIO S/MEDIDOR	80.85
<b>ESTATAL</b>	
CONSUMO UNITARIO C/MEDIDOR	230.00
CONSUMO UNITARIO S/MEDIDOR	241.50
<b>SOCIAL</b>	
CONSUMO UNITARIO C/MEDIDOR	75.00
CONSUMO UNITARIO S/MEDIDOR	78.75

*Fuente: EPS. SedaCusco 2022*

- Cotas de referencia de infraestructura:

*Tabla N° 8 Cotas de infraestructura de Estaciones de bombeo*

NIVELES	RUMICOLCA	COLLANA
C terreno	3149.34	3269.63
C ingreso	3148.39	3268.68
C nivel bombeo	3144.39	3264.68
Nivel minimo agua	3142.39	3262.68
Cota fondo	3139.39	3259.68

*Fuente: EPS. SedaCusco 2022*





➤ Cálculo del caudal de la línea de Impulsión

El caudal a ser transportado por la nueva línea de impulsión ha sido calculado previa distribución de caudales en las zonas que serán abastecidas por la E.P.S. SedaCusco S.A., tal como se aprecia en el siguiente cuadro:

Tabla N° 9 Balance oferta y demanda de fuente de agua - sistema integral nuevo

ZONA	RESERVORIO		AÑO 2022 Qmd (l/s)	AÑO 2025 Qmd (l/s)	AÑO 2042 Qmd (l/s)	DEMANDA 2042 Qmd	OFERTA
R-200	ZONA A	POROY	9.24	9.21	9.75	320.71	327.89
R-201	ZONA B	CHINCHERO	18.80	19.54	25.39		
R-202	ZONA C	CACHIMAYO	7.09	7.22	8.70		
R-100	ZONA I-I	HATUN HUAYLLA	39.75	43.17	68.95		
R-33	ZONA I-II	VILLA MARIA - INDEPENDENCIA	30.43	33.06	52.79		
R-03	ZONA II	SANTA ANA	20.59	20.88	23.50		
R-03	ZONA III	CENTRO HISTORICO	22.17	22.48	25.30		
R-03	ZONA VIII-I-II-III	LINEA NORTE	65.20	70.65	74.41		
R-17	ZONA X	SALKANTAY	23.17	24.22	31.92		
R-14	ZONA XII	CARAMASCARA	65.73	68.84	88.04	589.73	594.67
R-14-2	ZONA XII	AMPLIACION R-14	24.48	31.83	97.93		
R-13	ZONA XII	WIMPILLAY	90.00	94.25	120.54		
R-MD	ZONA XV	MARGEN DERECHA II	13.22	17.19	52.88		
R-AQ	ZONA XI	ALTO QOSQO	13.81	16.57	46.02		
R-10	ZONA XI	CAMPIÑA ALTA	114.63	120.04	153.56		
R-12	ZONA XII	LARAPA	22.97	24.05	30.77		
R-05	ZONA VII	QORIPATA	110.90	116.14	148.55	766.10	27.51
R-01	ZONA IX	LOS ANDENES	152.87	160.10	204.78		
R-03	ZONA VIII-IV	LINEA NORTE	28.02	25.84	31.97		
R-12	ZONA XII	AMPLIACION SAN JERONIMO	39.83	51.78	159.33		
R-39	ZONA VI	JAQUIRA	28.87	29.84	36.86		
R-02	ZONA V	PUQUIN	38.52	39.07	43.94		
R-04	ZONA IV	PICCHU	101.74	103.16	116.09		
R-03	ZONA VIII-I	LINEA NORTE	21.55	19.87	24.59		
R-203	ZONA D	SAYLLA	15.22	18.99	47.4	116.37	
R-204	ZONA E	OROPESA	26.68	29.91	54.54		
R-205	ZONA F	HUACARPAY	7.09	7.24	8.62		
R-206	ZONA G	ANDAHUAYLILLAS	3.32	3.63	5.81		
TOTAL			<b>1155.89</b>	<b>1228.74</b>	<b>1792.91</b>	<b>1792.907</b>	<b>950.07</b>

Fuente: EPS. SedaCusco 2022



Como se aprecia en el cuadro anterior, los caudales de demanda han sido asignados a los sistemas de producción, haciendo que estos sean cubiertos por la oferta; sin embargo, en el Sistema Vilcanota y las poblaciones del sur de la ciudad:

- Oropesa
  - Saylla
  - Huacarpay
  - Andahuaylillas
- Existe un déficit

$$766.10 + 116.37 - 27.51 = 854.96 \text{ L/s}$$

El mismo que debe ser afrontado por la ampliación de la producción del Sistema Vilcanota, tal como se aprecia en el cuadro resumen siguiente:

*Tabla N° 10 Resumen oferta demanda de fuente de agua*

Qp	Qmd	Qmd en 20 hrs
657.66	854.96	<b>1025.95</b>

Fuente: EPS. SedaCusco 2022

**- Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca**

- ADT total del sistema

$$ADT_{\text{SISTEMA}} = 41.07 \text{ m}$$

- Potencia de las bombas

$$\text{Potencia} = 231.506 \sim 240 \text{ HP}$$

- NPSH

$$\text{NPSH disponible: } 7.68 \text{ m}$$

$$\text{NPSH requerido: } 7.18 \text{ m}$$

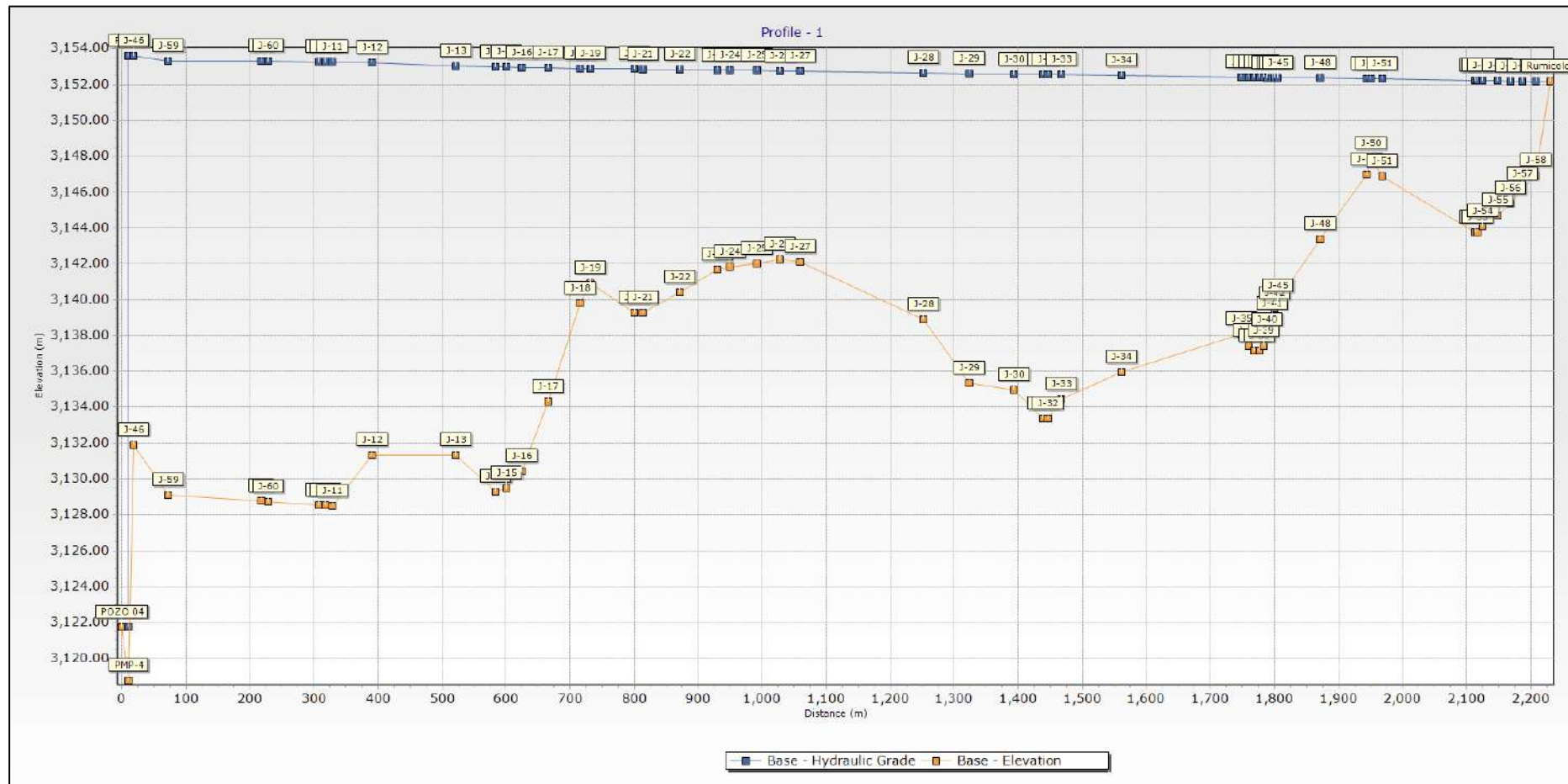
- Caudal

$$Q = 1026 \text{ L/s}$$

El escenario que desarrollaron para el análisis de la simulación de los transitorios hidráulicos, fue en el caso de la parada intempestiva de las 02 bombas en los pozos 2 y 3 de Piñipampa. De igual manera consideraron dos escenarios de simulación, una con sistemas de protección y otra sin sistemas de protección.



Figura N° 27 Línea de Gradiente Hidráulica Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca



Fuente: EPS. SedaCusco 2022

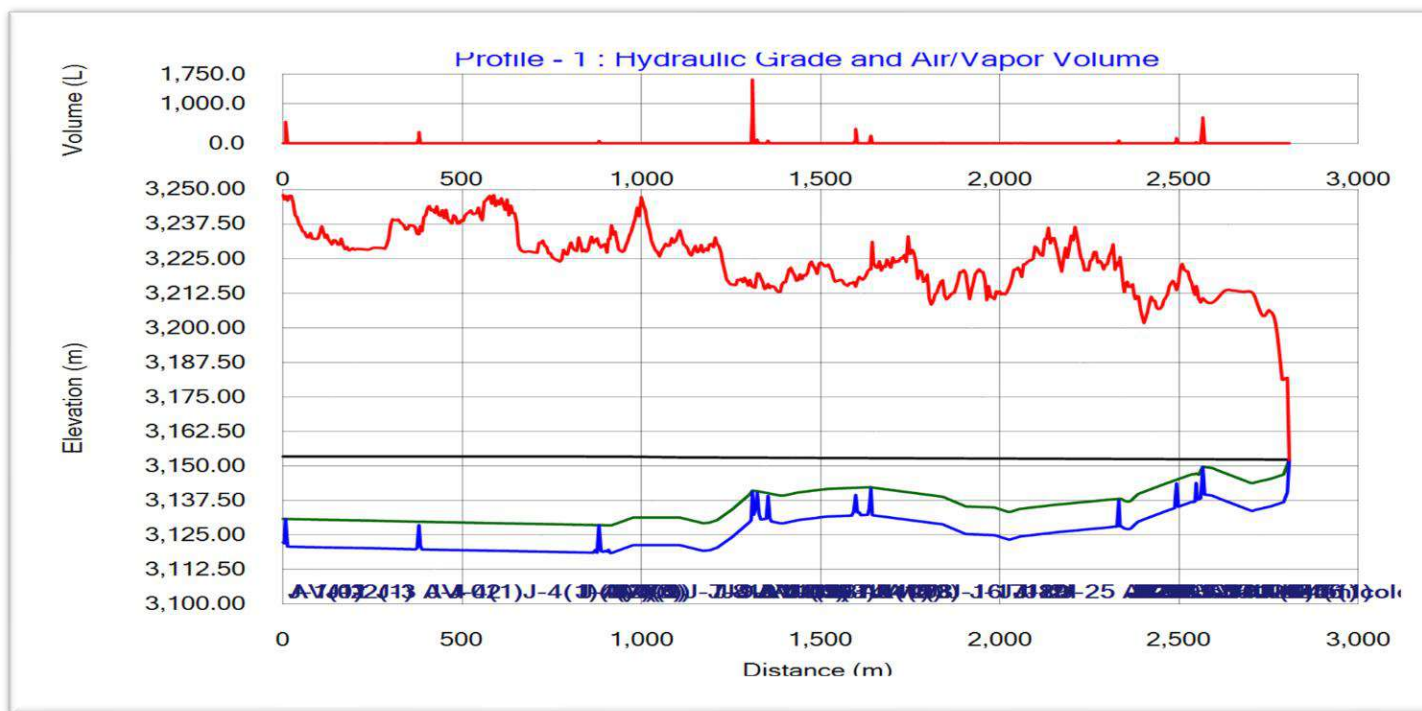
— Línea rasante de la tubería

— Línea de gradiente hidráulica



- Simulación del Transitorio hidráulico Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca
  - Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios sin sistemas de protección se interpretan en el siguiente gráfico:

Figura N° 28 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca (sin protección)



Fuente: EPS. SedaCusco 2022

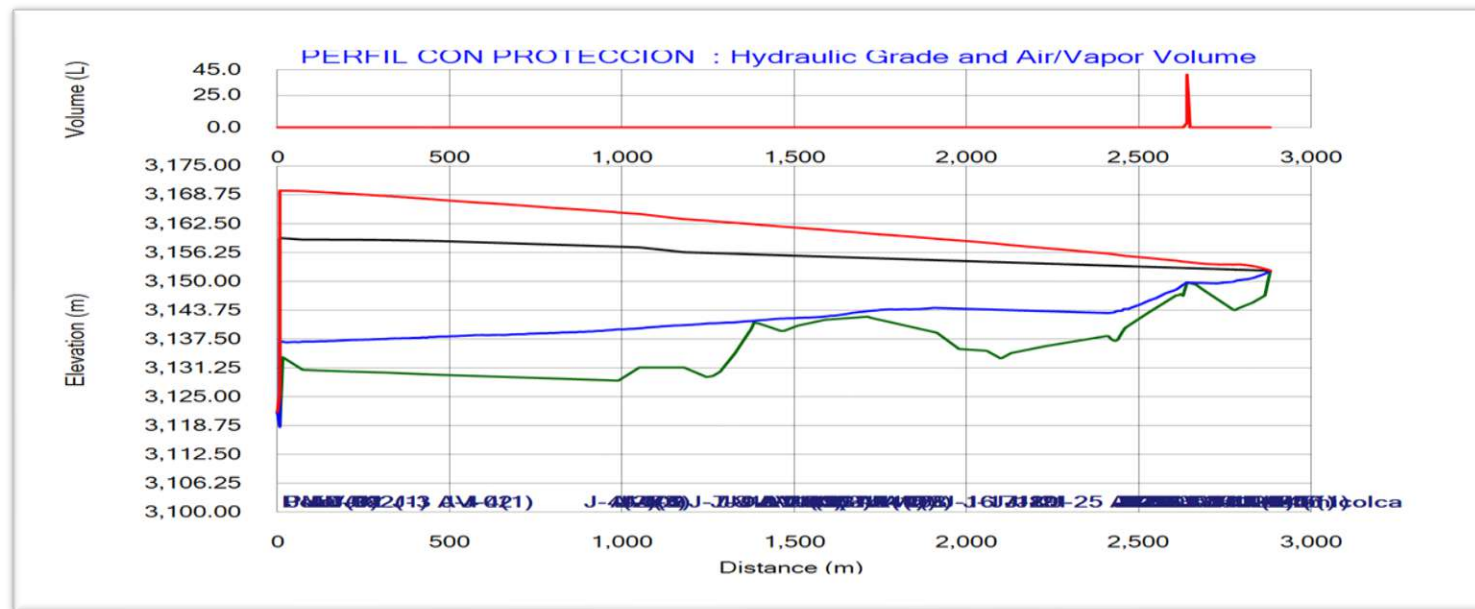
- |   |                                |   |                                  |
|---|--------------------------------|---|----------------------------------|
|  | Línea de subpresión hidráulica |  | Línea de sobrepresión hidráulica |
|  | Cota rasante de la tubería     |  | Línea de gradiente hidráulica    |



Como se aprecia en el gráfico anterior, existen sobre presiones del orden de 178 m.c.a., estas podrían ser absorbidas por la clase de la tubería (C-25), sin embargo, las presiones negativas sobrepasan los -9 mca recomendados por la NTP ISO 3125, por consiguiente, se requiere considerar los sistemas de protección para evitar problemas de operación.

- Para la simulación del transiente hidráulico se ha considerado la operación de los 02 calderines antiarriete de 1000 litros (mil litros), cada uno existentes en los pozos 2 y 3. Así mismo la línea de impulsión nueva considera la instalación de 01 tanque hidroneumático con vejiga, en el inicio de esta, con una capacidad de 3000 litros (tres mil litros).
- Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se interpretan en el siguiente gráfico:

Figura N° 29 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca (con protección)



Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Como se aprecia en el gráfico anterior, las sobre presiones han disminuido al orden de 47 m.c.a., estas serán absorbidas por la clase de la tubería (C-25), y en el caso de las sub presiones alcanzan un valor mínimo de 0.4 m.c.a. valores que son absorbidos por la tubería de acuerdo a la NTP ISO 2531 : TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE HIERRO DÚCTIL PARA TRANSPORTE DE AGUA POTABLE(-9m.c.a.), por consiguiente, la utilización de los 03 tanques hidroneumáticos garantiza la operación de este tramo de la línea de impulsión sin problema alguno.

- **Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana**

- ADT total del sistema

$$ADT_{\text{SISTEMA}} = 185.16 \text{ m}$$

- Potencia de las bombas.

$$\text{Potencia} = 1922.64 \sim 1950 \text{ HP}$$

- NPSH

NPSH disponible: 7.65 m

NPSH requerido: 7.15 m

- Caudal

$$Q = 1026 \text{ L/s}$$

Para poder comprobar los valores arrojados por el software de simulación se realizó los siguientes cálculos, con el fin de ver la aproximación en valores que arroja el cálculo manual frente al software.





Figura N° 30 Cálculo de celeridad de onda tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana



Tesis: ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023



### Línea de Impulsión

#### Tramo 02: E.B. Rumicolca - E.B. Collana

Características de la línea:

Diámetro Nominal DN	Diámetro Exterior DE	Espesor de la tubería
$D_N := 900 \text{ mm}$	$D_E := 945 \text{ mm}$	$e := 10.6 \text{ mm}$
Diámetro Interior DI	Longitud de la tubería	Aceleración de la gravedad
$D_i := D_E - 2 \cdot e = 923.8 \text{ mm}$	$L := 23166.30 \text{ m}$	$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Cota Inicial (nivel de bombeo)	Cota Final (nivel de ingreso a reservorio)	
$Cota_i := 3144.39 \text{ m}$	$Cota_f := 3268.68 \text{ m}$	
Altura Estática	Altura Dinámica Total	
$H_E := Cota_f - Cota_i$	$ADT := 183.17 \text{ m}$	
$H_E = 124.29 \text{ m}$	Velocidad del fluido	
Módulo de Elasticidad	$v := 1.73 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	
$E := 1.7 \cdot 10^{10} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$		

### CÁLCULO DE SOBREPRESIONES Y SUBPRESIONES

1.- Coeficiente función de módulo de elasticidad ( $K_c$ )

$$K_c := \frac{10^{10}}{E} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.588$$

2.- Celeridad de Onda ( $a$ )

$$a := \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K_c \cdot \frac{D_i}{e}}} = 992.159$$


$a := 992.159 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

*Christian Dalmiro Amau Cusicuna*






Figura N° 31 Hoja de cálculo de sobrepresiones tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana



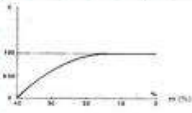
Tesis: ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023



### 3.- Cálculo de tiempo de parada T

#### 3.1 Coeficiente de pendiente hidráulica "C"

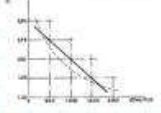


$\frac{Hm}{L} < 0.20 \rightarrow C = 1$	$\frac{ADT}{L} = 0.00791$
$\frac{Hm}{L} \geq 0.40 \rightarrow C = 0$	
$\frac{Hm}{L} \geq 0.30 \rightarrow C = 0.60$	

$0.00791 < 0.20$  por consiguiente:  $C = 1$

$C := 1 \text{ s}$

#### 3.2 Coeficiente de Longitud de tubería "K"



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

La longitud de tubería es mayor que 1500, entonces  $K = 1$

$K := 1$

#### 3.3 Tiempo de parada

$$T := C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot ADT} = 23.311 \text{ s}$$

### 4.- Cálculo de la longitud crítica Lc

$$L_C := \frac{a \cdot T}{2}$$

$L_C = 11564.33 \text{ m}$

$L < L_C$	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	$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$

Nota: Como la longitud de la tubería L (23 193 m) es mayor que la longitud crítica Lc (10 883.18 m), tenemos un cierre rápido y usaremos la fórmula de Allievi para calcular el golpe de ariete:

### 5.- Cálculo de la sobrepresión (presión positiva) - método Allievi

$$\Delta H := \frac{a \cdot v}{g}$$

$\Delta H = 175.028 \text{ m}$

*Christian Dalmiro Amau Cusicuna*



Figura N° 32 Hoja de cálculo de sobrepresiones tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana

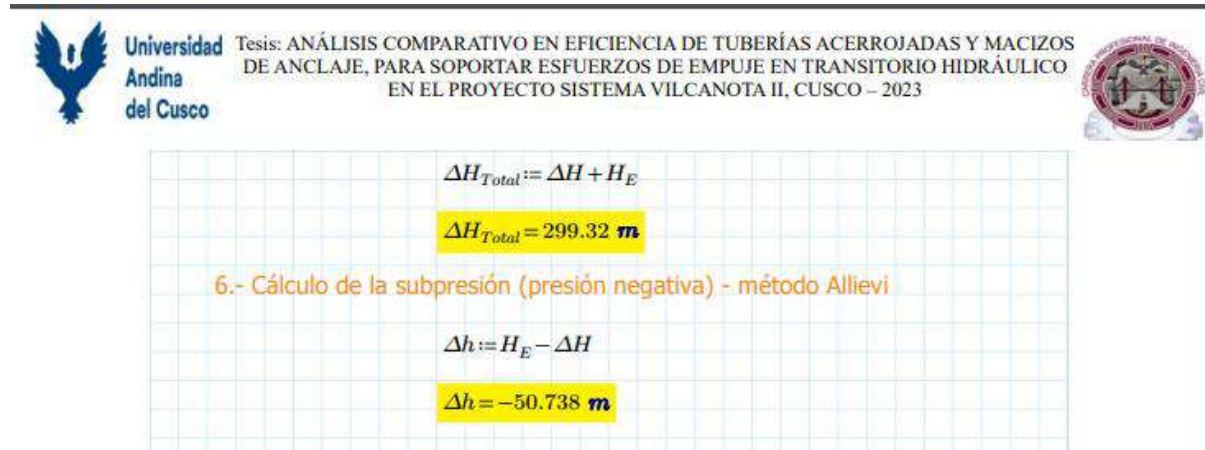
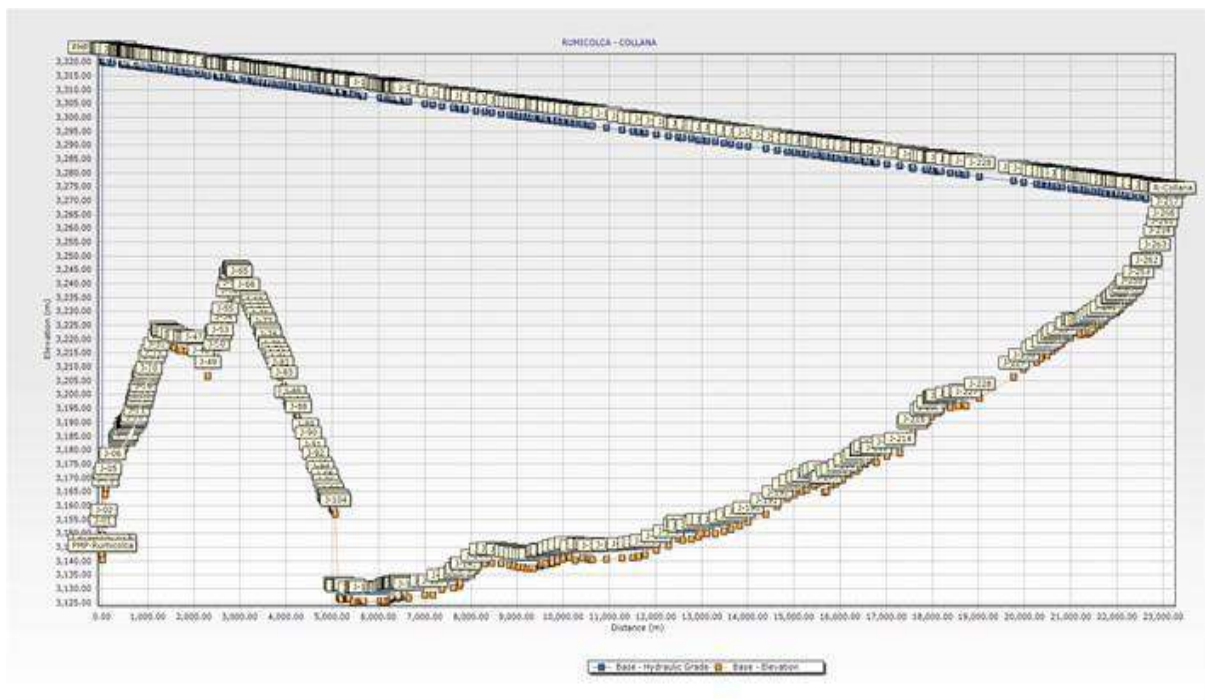


Figura N° 33 Línea de Gradiente Hidráulica Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana



Fuente: EPS. SedaCusco 2022

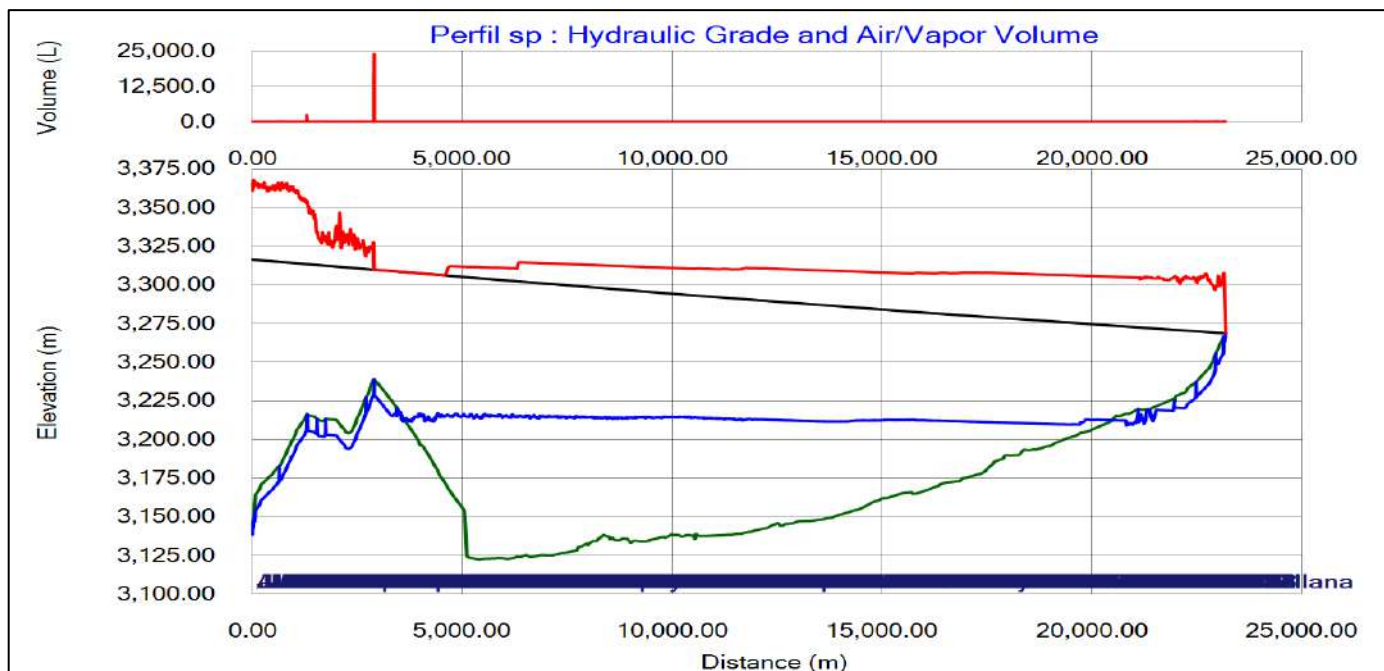
- Línea rasante de la tubería
- Línea de gradiente hidráulica

El escenario que desarrollaron para el análisis de la simulación de los transitorios hidráulicos, fue en el caso de la parada intempestiva de las 02 bombas en la nueva cisterna de la E.B. Rumicolca. De igual manera consideraron dos escenarios de simulación, una con sistemas de protección y otra sin sistemas de protección.



- Simulación del Transitorio hidráulico Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana

Figura N° 34 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana (sin protección)



Fuente: EPS. SedaCusco 2022

- |   |                                |   |                                  |
|---|--------------------------------|---|----------------------------------|
|  | Línea de subpresión hidráulica |  | Línea de sobrepresión hidráulica |
|  | Cota rasante de la tubería     |  | Línea de gradiente hidráulica    |

Como se aprecia en el gráfico anterior, existen sobre presiones del orden de 217.78 m.c.a., estas podrían ser absorbidas por la clase de la tubería (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. Cabe aclarar que la tubería de clase C-25 puede soportar transitorios del orden de 30 bares (300 m.c.a.).

- Para la simulación del transiente hidráulico se ha considerado la operación de 03 tanques hidroneumáticos con vejiga de 12500 litros (doce mil quinientos litros) cada uno ubicados en el sector de Pikillaqta. Así mismo la línea de impulsión nueva considera la instalación de 01 tanque hidroneumático con vejiga, en el inicio de esta, con una capacidad de 25000 litros (veinticinco mil litros).

Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se interpretan en el siguiente gráfico:

Figura N° 35 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo\_E.B. Rumicolca – E.B. Collana (con protección)



Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022

- |   |                                |   |                                  |
|---|--------------------------------|---|----------------------------------|
|  | Línea de subpresión hidráulica |  | Línea de sobrepresión hidráulica |
|  | Cota rasante de la tubería     |  | Línea de gradiente hidráulica    |



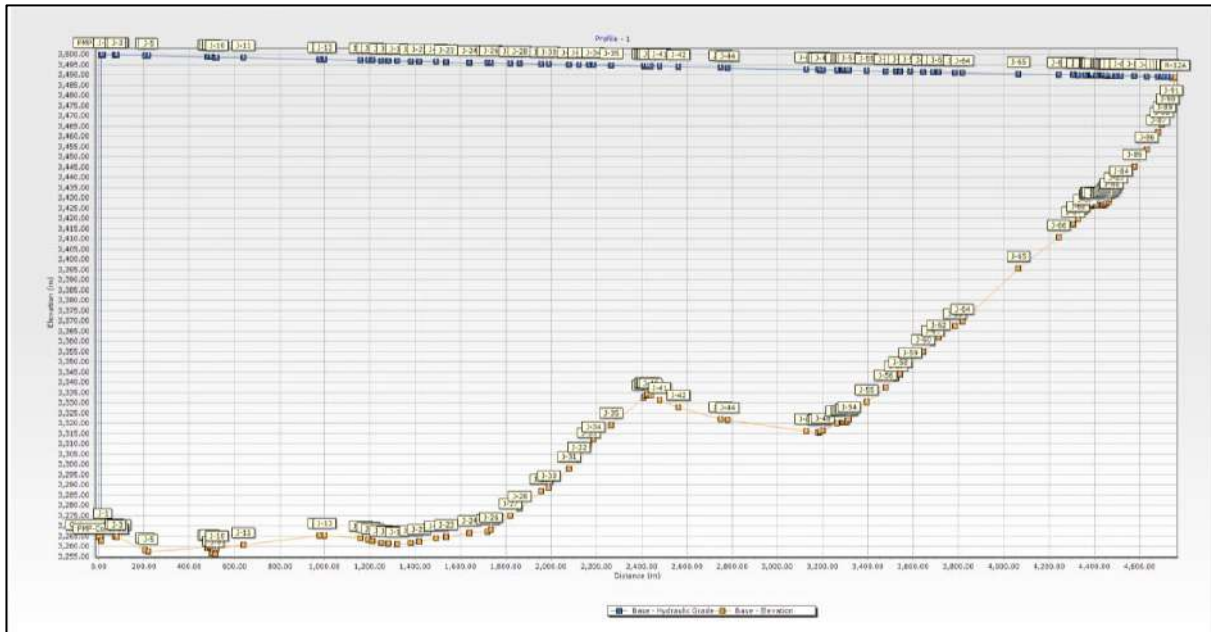


Como se aprecia en el gráfico anterior, las sobre presiones han disminuido al orden de 41.49 m.c.a., estas serán absorbidas por la clase de la tubería (C-25), y en el caso de las sub presiones alcanzan un valor mínimo de 0.39 m.c.a. valores que son absorbidos por la tubería de acuerdo a la NTP ISO 2531 : TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE HIERRO DÚCTIL PARA TRANSPORTE DE AGUA POTABLE(-9 m.c.a.), por consiguiente, la utilización de los 04 tanques hidroneumáticos garantiza la operación de este tramo de la línea de impulsión sin problema alguno.

**Tramo E.B. Collana – Reservorio R12**

- ADT total del sistema  
 $ADT_{SISTEMA} = 241.48 \text{ m}$
- Potencia de las bombas.  
 $Potencia = 2518.64 \sim 2550 \text{ HP}$
- NPSH  
NPSH disponible: 7.54 m  
NPSH requerido: 7.00 m
- Caudal  
 $Q = 1026 \text{ L/s}$

*Figura N° 36 Línea de Gradiente Hidráulica Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana*



Fuente: EPS. SedaCusco 2022

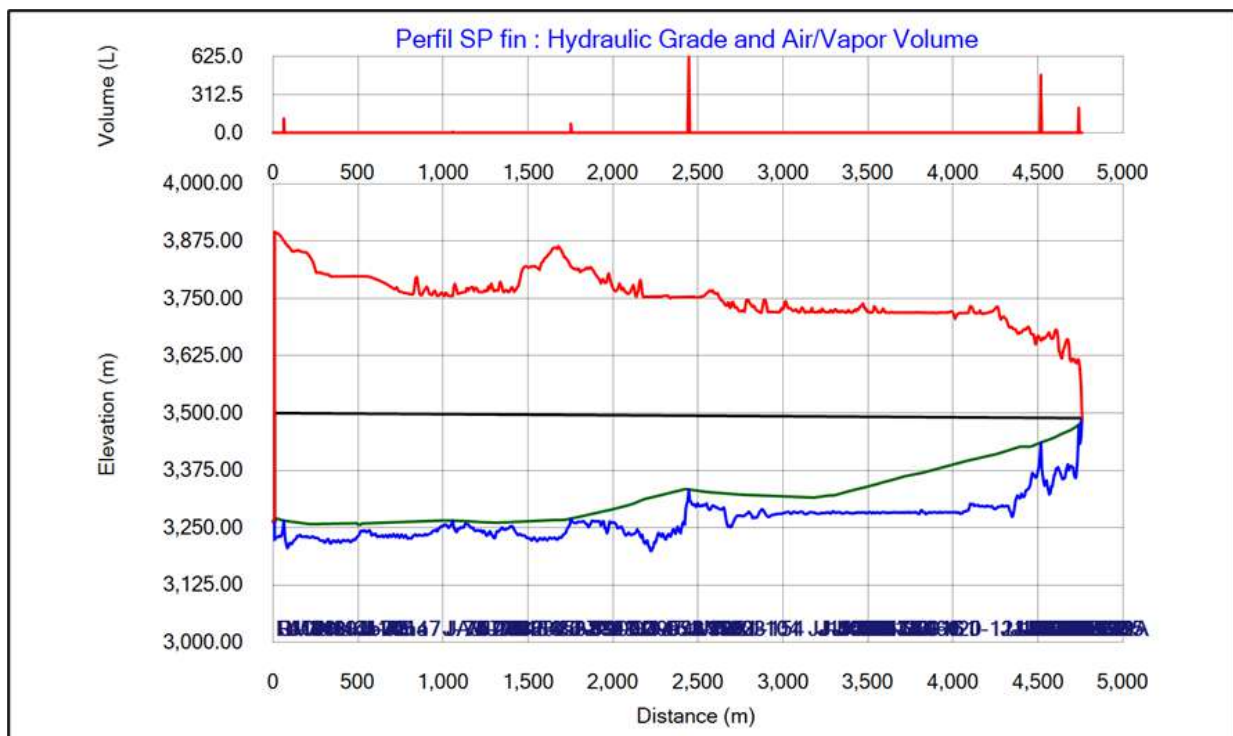
- Línea rasante de la tubería
- Línea de gradiente hidráulica







El escenario que desarrollaron para el análisis de la simulación de los transitorios hidráulicos, fue en el caso de la parada intempestiva de las 02 bombas en la nueva cisterna de la E.B. Collana. De igual manera consideraron dos escenarios de simulación, una con sistemas de protección y otra sin sistemas de protección.

### Simulación del Transitorio hidráulico Tramo E.B. Collana – Reservorio R12

Figura N° 37 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 (sin protección)



Fuente: EPS. SedaCusco 2022

-  Línea de subpresión hidráulica
-  Línea de sobrepresión hidráulica
-  Rasante de la tubería
-  Línea de gradiente hidráulica

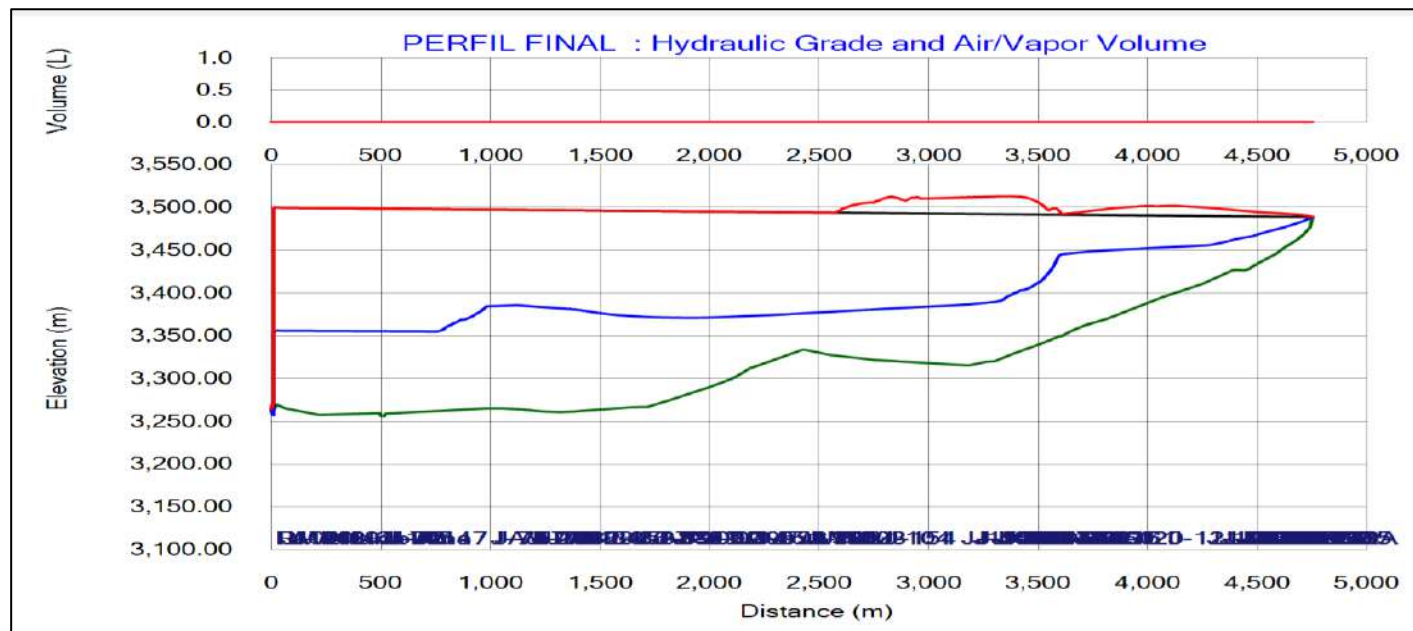
Como se aprecia en el gráfico anterior, existen sobre presiones del orden de 620.91 m.c.a., estas no podrían ser absorbidas por la clase de la tubería (C-25); en el caso de las presiones negativas, estas sobrepasan los -9 mca. (-133.22 m.c.a.). Recomendados por la NTP ISO 3125, por consiguiente, se requiere considerar los sistemas de protección para evitar problemas de operación.



- Para la simulación del transiente hidráulico se ha considerado la operación de 02 tanques hidroneumáticos con vejiga, la primera de 15000 litros (quince mil quinientos litros) ubicado en la estación de bombeo de Collana y la segunda de 3000 litros (tres mil litros), ubicada en la línea de impulsión.

Las envolventes de los escenarios de simulación hidráulica de los transitorios se interpretan en el siguiente gráfico:

Figura N° 38 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 (con protección)



Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022

— Línea de subpresión hidráulica

— Línea de sobrepresión hidráulica

— Cota rasante de la tubería

— Línea de gradiente hidráulica





Como se aprecia en el gráfico anterior, las sobre presiones han disminuido al orden de 241.89 m.c.a., estas serán absorbidas por la clase de la tubería (C-25), y en el caso de las sub presiones alcanzan un valor mínimo de 15.69 m.c.a. valores que son absorbidos por la tubería de acuerdo a la NTP ISO 2531 : TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE HIERRO DÚCTIL PARA TRANSPORTE DE AGUA POTABLE(-9 m.c.a.), por consiguiente, la utilización de los 02 tanques hidro neumáticos garantizan la operación de este tramo de la línea de impulsión sin problema alguno.

### **Simulación del Transitorio hidráulico Línea de Interconexión Tramo Reservoirio R12 – Cámara de Empalme Bolivar**

La simulación Hidráulica del Tramo R12 a Cámara de Bolívar ha sido efectuada considerando la operación del reservorio R12 atendiendo la demanda de la Línea de Interconexión Existente (700mm) y la nueva Línea de Interconexión (800mm). Los caudales a ser distribuidos a través de la línea de interconexión nueva de DN 800mm y la Línea existente de 700mm son los siguientes:

*Tabla N° 11 Caudales de distribución de la línea de interconexión*

ID	ZONA	NOMBRE	Qmd 2,024
R-14	ZONA XII	CARAMASCARA	65.69
R-13	ZONA XII	WIMPILLAY	89.95
R-MD	ZONA XV	MARGEN DERECHA II	19.77
R-39	ZONA VI	JAQUIRA	29.12
R-04	ZONA IV	PICCHU	89.98
R-05	ZONA VII	QORIPATA	110.85
R-01	ZONA IX	LOS ANDENES	152.76
R-AQ	ZONA XI	ALTO QOSQO	17.21
R-10	ZONA XI	CAMPIÑA ALTA	114.57
			689.90

*Fuente: EPS. SedaCusco 2022*

La simulación Hidráulica contempla la dotación de agua para los proyectos denominados:

- Mejoramiento del Servicio de Agua Potable del Sistema Jaquira del Distrito de Santiago – Provincia de Cusco – Departamento de Cusco.
- Mejoramiento Línea de Interconexión Sistema Vilcanota Tramo Punto B – Reservorio Qoripata en los Distritos de Santiago, Cusco y Wanchaq de la Provincia de Cusco – Departamento de Cusco.



Ambas líneas en forma conjunta son capaces de transportar la demanda de las zonas detalladas en el cuadro anterior.



El caudal de transporte de la nueva línea de interconexión Tramo R-12 a Bolivar es de:

$$Q = 247.95 \text{ lt/seg.}$$

Figura N° 39 Línea de gradiente hidráulica Reservorio R12 - C. Bolivar



Fuente: EPS. SedaCusco 2022

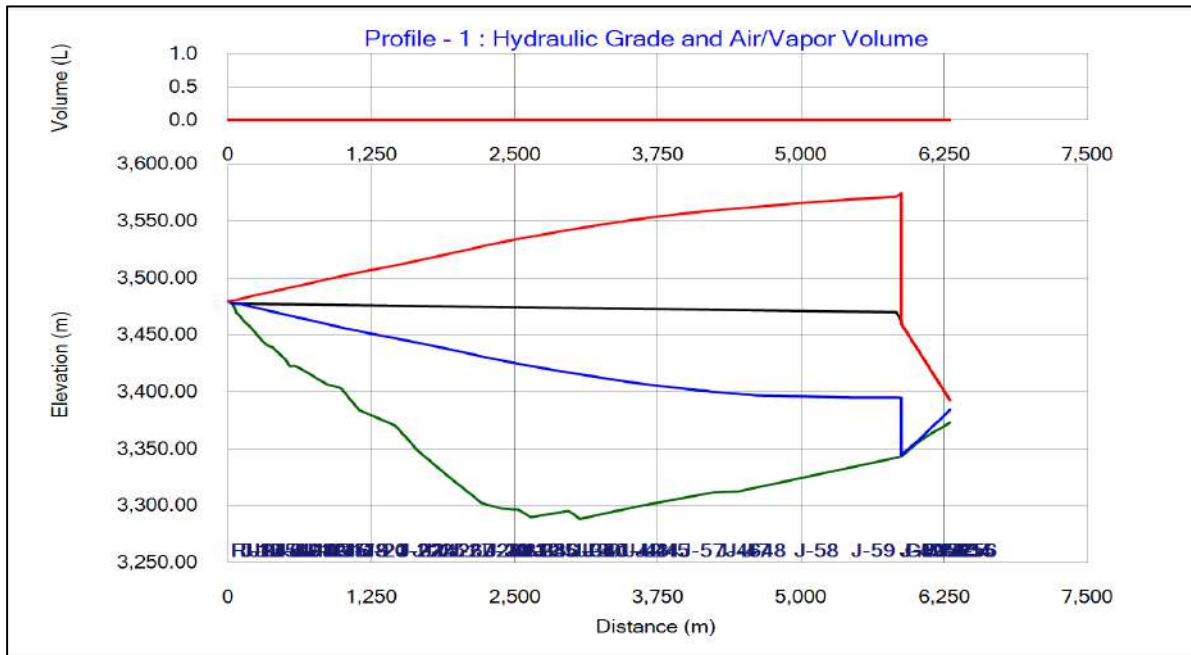
-  Línea rasante de la tubería
-  Línea de gradiente hidráulica

En el caso de sistemas que funcionen por gravedad, como es el caso de la línea de Interconexión tramo Reservorio R12 – Cámara bolivar, el transitorio hidráulico se produce por cierres de válvulas, entonces el análisis para este tramo es el siguiente:

- Se ha considerado que el escenario crítico para el análisis de los transitorios hidráulicos es el cierre de la válvula de control general de 300 mm, ubicada en el punto de empalme (Cámara bolívar) en un periodo de 60 segundos.



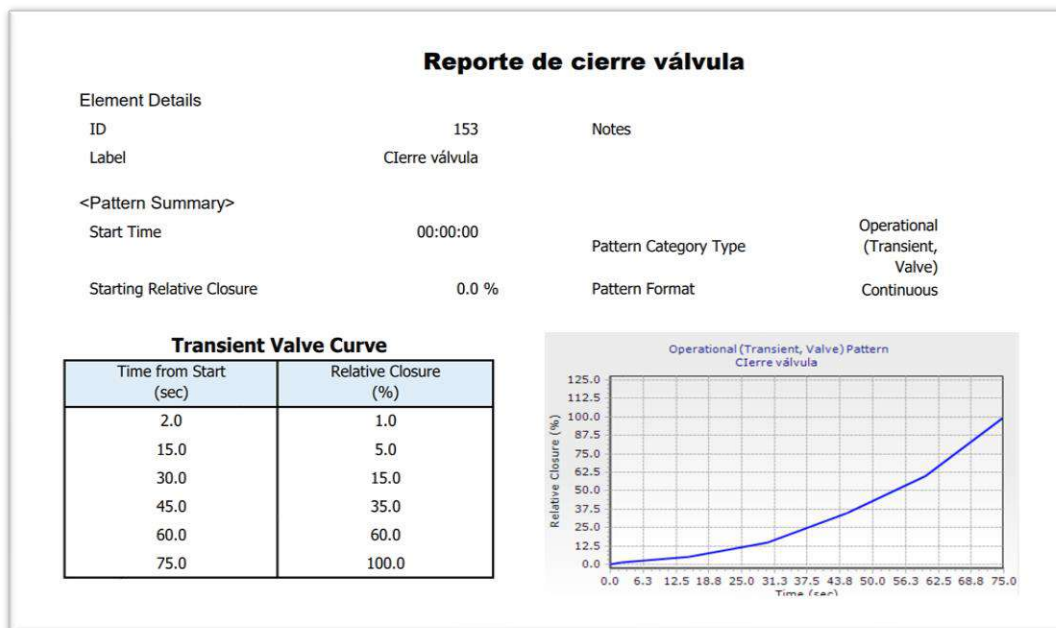
Figura N° 40 Perfil de envolventes de Sobrepresión y Subpresión Tramo Reservorio R12 – Cámara de Empalme Bolivar



Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022

- █ Línea de subpresión hidráulica
- █ Línea de sobrepresión hidráulica
- █ Rasante de la tubería
- █ Línea de gradiente hidráulica

Figura N° 41 Reporte de cierre de válvula de control de 300mm



Fuente: EPS SedaCusco 2022



El transitorio hidráulico producido en sistemas por gravedad se producen por cierres de válvula. En caso de la línea de interconexión del sistema Vilcanota II, la válvula de control de DN 300mm, se encuentra en la progresiva 3+060.0km, teniendo como tiempo de maniobra ( $t_m$ ) 60 segundos hasta el cierre completo de la válvula, dato tomado en campo. Para saber si esta válvula es de cierre rápido o de cierre lento, tenemos que calcular el tiempo crítico, entonces hacemos uso de las siguientes ecuaciones:  
Para la celeridad de onda, usamos la ecuación de Allievi, que es una forma simplificada de la ecuación de Joukowski.

- Celeridad de onda:

$$a := \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K_c \cdot \frac{D_i}{e}}}$$

a: Celeridad de onda

$D_i$ : Diámetro interior de la tubería (mm)

e: Espesor de la tubería (mm)

$K_c$ : Parámetro adimensional, calculado por la siguiente expresión:

$$K_c := \frac{10^{10}}{E}$$

E: Módulo de elasticidad del material de la tubería ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$$D_i := 822.8 \text{ mm} \quad e := 9.6 \text{ mm} \quad E := 1700000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = (1.7 \cdot 10^{10}) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$K_c := \frac{10^{10}}{E} = 0.588$$

$$a := \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K_c \cdot \frac{D_i}{e}}}$$

$$a := 1021 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A continuación, se calcula el tiempo crítico, “ $t_c$ ”, el cual representa el tiempo (en segundos) que tarda la onda en recorrer un ciclo entero, es decir, una ida y vuelta



completa por la tubería, siendo independiente este valor de la forma en que se produzca el cierre:

$$t_c := \frac{2 \cdot L}{a}$$

$$t_c = 5.99 \text{ s}$$

$$t_m := 60 \text{ s}$$

Según los resultados,  $t_m \geq t_c$ , por consiguiente se considera una válvula de cierre lento.

En este escenario en el cálculo realizado se registra una presión por transitorio máxima de 238 m.c.a. y la sub presión alcanza como valor más bajo 9 m.c.a., por consiguiente, en este escenario correspondería una tubería de hierro dúctil clase C-25.

#### 3.5.4 Diseños

Para iniciar con el diseño de los sistemas de protección como es la Tubería Acerrojada y el Macizo de Anclaje, tenemos que tener en cuenta que el diseño y cálculo de sus dimensiones parte de los cambios de dirección que tenga la línea de Impulsión e Interconexión del nuevo sistema proyectado, en ese sentido se requiere realizar un metrado de todos los accesorios que impliquen un cambio de dirección o un cambio en el diámetro de la tubería, tomando en cuenta la correcta nomenclatura de acuerdo al tipo de material y al diámetro el tubo; teniendo así los siguientes accesorios para realizar el metrado:

- Codo HD Ø 32" (DN 800mm) x 90° PN 25
- Codo HD Ø 32" (DN 800mm) x 45° PN 25
- Codo HD Ø 32" (DN 800mm) x 22.5° PN 25
- Codo HD Ø 32" (DN 800mm) x 11.25° PN 25
- Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 90° PN 25
- Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 45° PN 25
- Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 22.5° PN 25
- Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 11.25° PN 25
- Reducción HD Ø 36" (DN 900mm) a 32" (DN 800mm) C-25
- Tee HD Ø 36" (DN 900mm) BB C/derivación bridada Ø 16" (DN 400mm) PN 25



- Tee HD Ø 36" (DN 900mm BB C/derivación bridada Ø 10" (DN 250mm) PN 25
  - Tee HD Ø 36" (DN 900mm) C-25 Unión flexible
- ❖ Medrado de accesorios horizontales y verticales
- **Línea de Impulsión – DN 900mm**

Figura N° 42 Medrado de accesorios horizontales E.B. Rumicolca - E.B. Collana

Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana		
Accesorios Horizontales		
Descripción	Unidad	Cantidad
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x45° PN 25	UND	31
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x22.5° PN 25	UND	22
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x11.25° PN 25	UND	51

Figura N° 43 Medrado de accesorios verticales E.B. Rumicolca - E.B. Collana

Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana		
Accesorios Verticales		
Descripción	Unidad	Cantidad
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x45° PN 25	UND	1
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x22.5° PN 25	UND	11
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x11.25° PN 25	UND	4

Figura N° 44 Medrado de accesorios horizontales E.B. Collana - Reservorio R12

Tramo E.B. Collana – Reservorio R12		
Accesorios Horizontales		
Descripción	Unidad	Cantidad
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x45° PN 25	UND	10
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x22.5° PN 25	UND	12
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x11.25° PN 25	UND	22

Figura N° 45 Medrado de accesorios verticales E.B. Collana - Reservorio R12

Tramo E.B. Collana – Reservorio R12		
Accesorios Verticales		
Descripción	Unidad	Cantidad
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x45° PN 25	UND	-
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x22.5° PN 25	UND	4
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x11.25° PN 25	UND	-



○ **Línea de Interconexión – DN 800mm**

*Figura N° 46 Metrado de accesorios horizontales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar*

<b>Tramo Reservorio R12 - Empalme Punto B</b>		
<b>Accesorios Horizontales</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x45° PN 25	UND	17
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x22.5° PN 25	UND	7
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x11.25° PN 25	UND	24

*Figura N° 47 Metrado de accesorios verticales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar*

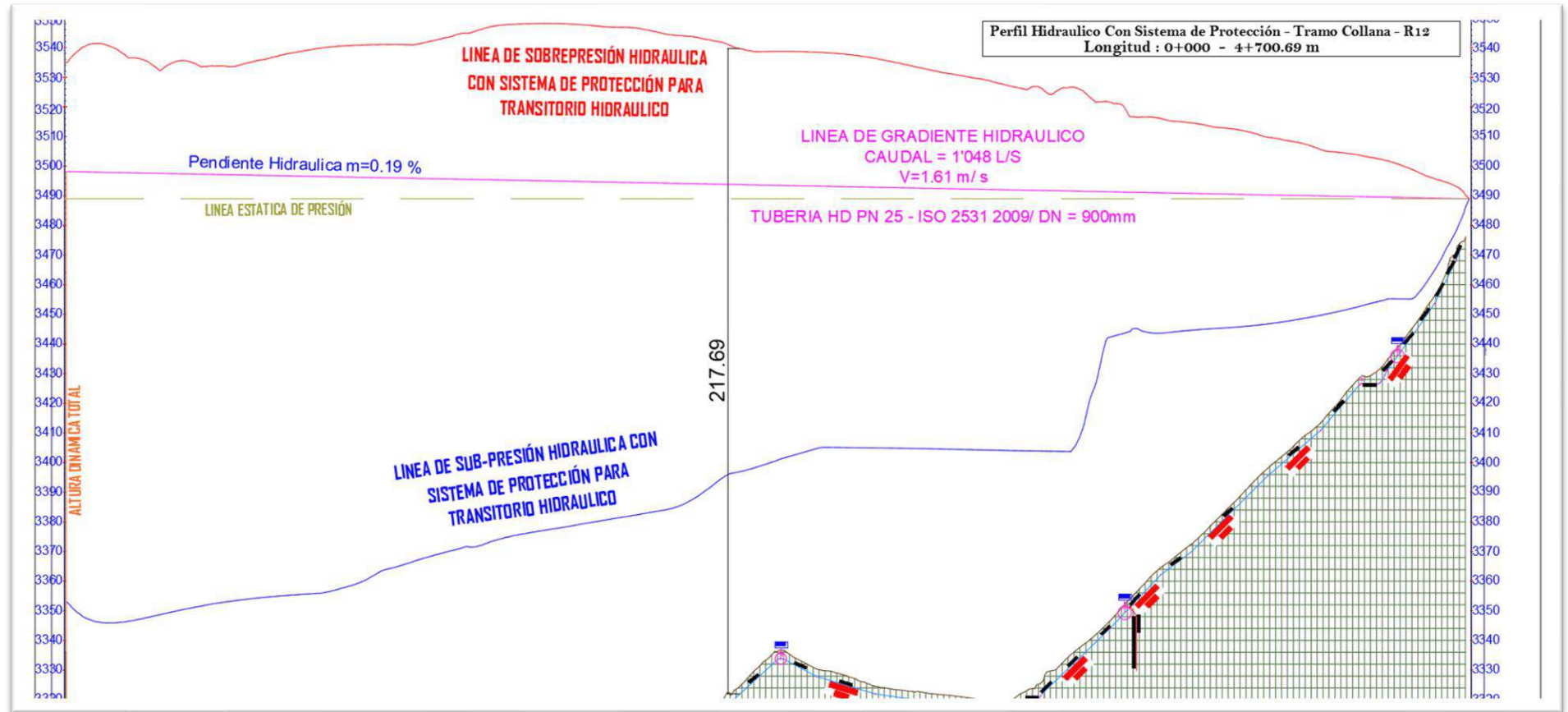
<b>Tramo E.B. Collana – Empalme Punto B</b>		
<b>Accesorios Verticales</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x45° PN 25	UND	8
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x22.5° PN 25	UND	-
Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x11.25° PN 25	UND	-

- ❖ Una vez se haya realizado la cuantificación de los diferentes accesorios que intervienen en el diseño de los sistemas de protección para los empujes de transitorios hidráulicos, medimos la sobrepresión producida exactamente en la progresiva del accesorio, desde el nivel de la rasante de la tubería hasta la línea de sobrepresión producida en la simulación de los transitorios hidráulicos.





Figura N° 48 Esquema de medición de sobrepresión por accesorio



Fuente: EPS.SedaCusco 2022



- ❖ Repetimos el proceso de medición de la sobrepresión para cada accesorio, en la progresiva exacta para obtener resultados más precisos. Así mismo, se inicia con la elaboración de las hojas de cálculo de los macizos de anclaje y las tuberías acerrojadas.

#### 3.5.4.1 Diseño de Macizos de Anclaje

En sistemas subterráneos que operan bajo presión, especialmente en tuberías de gran diámetro, como este con DN de 900mm, es fundamental implementar medidas preventivas para mitigar los posibles esfuerzos que puedan surgir en puntos específicos durante el funcionamiento de la instalación.

- Se emplearon los datos obtenidos de la simulación de los transitorios hidráulicos y los parámetros de resistencia admisible recomendados en campo, por lo que se optó por los valores más críticos.
- Empuje Hidráulico: El cálculo del Empuje hidráulico (F), se determinó empleando la siguiente ecuación:

$$F = 2 * P * S * \text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Dónde:

- F: Empuje o esfuerzo hidráulico del accesorio en daN.
- P: Presión de ensayo a la que se prueba la tubería en Bar.
- S: Sección del tubo en cm<sup>2</sup> (en una T es la de la derivación, y en una reducción la diferencia entre la sección de entrada y la salida).
- $\alpha$ : Ángulo del Accesorio (Codo).

#### Reacción pasiva del suelo

Este criterio obedecerá a la acción del suelo respecto al empuje generado y se calcula de acuerdo a la expresión siguiente:

$$T_g := 0.5 \cdot \delta_s \cdot (H_1^2 - H_2^2) \cdot B \cdot \tan\left(45 + \frac{\theta}{2}\right) \dots (1)$$

Dónde:

- $\delta_s$ : Peso específico del terreno y fricción del terreno, en kg/m<sup>3</sup>.



H1: Profundidad del macizo desde su base hasta la cota del terreno expresado en m.

H2: Profundidad de la parte superior del macizo, en m.

B: Base mayor del macizo, en m.

$\Theta$ : Ángulo de rozamiento interno del terreno (ver tabla 19), en grados °

Tabla N° 12 Cuadro de ángulos de rozamiento interno del terreno

Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	ds (kg/m3)
Roca fragmentada	40	0.64	2000
Grava / arena	35	0.57	1900
Arena / grava	30	0.5	2000
Limos / arcillas	25	0.42	1900
Material orgánico	15	0.26	1800

Fuente: E.P.S. SedaCusco

La fuerza de rozamiento hormigón con el suelo estará dada por la siguiente expresión, sus unidades se encuentran en kg.

$$T_f := (V_c \cdot \delta_c + V_s \cdot \delta_s) \cdot f \quad \dots (2)$$

#### Dimensionamiento del dado de Macizo de Anclaje

Para determinar las dimensiones de los macizos de anclaje, la sumatoria de las ecuaciones (1) y (2) debe de cumplir con la siguiente condición:



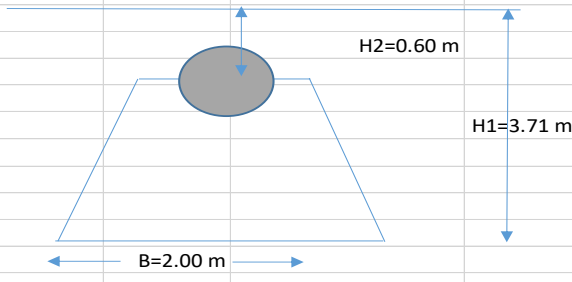
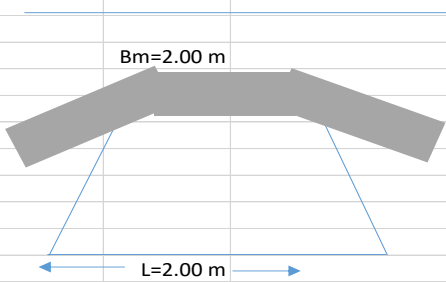
$$T_g + T_f \geq 1.5 \cdot F$$

Para el cálculo y dimensionamiento de los dados de Macizo de anclaje se cuenta con los siguientes datos:

- Diámetro Interior de la tubería
- Sección Interior
- Presión de Prueba
- Ángulo y/o tipo de accesorio



Figura N° 49 Hoja de cálculo para el dimensionamiento de los macizos de anclaje

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	16.893	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.653			
$\alpha^\circ$	45					
k	0.77	F (Kp)	84423.92			
Reacción pasiva del suelo						
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800					
H1 (m)	3.712					
H2 (m)	0.6					
$\Theta$	40					
B	2					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>111082.53</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	3.112					
Long. Macizo (m)	2					
Base mayor (m)	2					
Base menor (m)	2					
Area macizo (m <sup>2</sup> )	6.224					
Vc (m <sup>3</sup> )	12.448					
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100					
Vs (m <sup>3</sup> )	2.4					
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800					
f	0.64					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>19494.91</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>130577.44</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>126635.88</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 \cdot F$	<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. RUMICOLCA A E.B. PIÑIPAMPA						
RESUMEN						
PROG.	0+036.57(45°)					
B =	2.00	M				
L =	2.00	M				
H =		M				
V =	12.4	M3				



Con esta hoja de cálculo, donde presentamos todas las variables y ecuaciones realizadas, calculamos la dimensión de los macizos de anclaje para cada accesorio en la línea de Impulsión e Interconexión, donde el resultado final es el volumen por macizo.

Seguidamente tenemos que realizar el metrado de las demás partidas que comprenden la elaboración del macizo de anclaje, teniendo para este volumen calculado, los siguientes metrados:

*Tabla N° 13 Cuadro de resumen de metrados del macizo de anclaje calculado prog. 0+036.57km*

METRADO DE ENCOFRADO					
Progresiva	B	L	H	TOTAL	UNIDAD
0+036.57	2	2	3.1	<b>18.60</b>	<b>M2</b>

METRADO DE TRAZO Y REPLANTEO				
Progresiva	L	B	TOTAL	UNIDAD
0+036.57	2	2	<b>4</b>	<b>M2</b>

METRADO DE EXCAVACIÓN					
Progresiva	L	B	H	VOL	UNIDAD
0+036.57	2	2	3.5	<b>14.00</b>	<b>M3</b>

METRADO DE ELIMINACIÓN				
Progresiva	VOL DADO	FACTOR	VOL. ELIMINAR	UNIDAD
0+036.57	14.00	1.3	<b>18.2</b>	<b>M3</b>

*Tabla N° 14 Resumen de los precios unitarios de las subpartidas del macizo de anclaje*

SubPartidas	Unidad	Precio Unitario S/ (Sin IGV)
CONCRETO F'C= 210 KG/CM2 EN DADOS DE ANCLAJE	m3	397.43
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	59.07
TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO	m2	1.94
EXCAVACIÓN	m3	51.17
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE CON TRANSPORTE	m3	23.45



Tabla N° 15 Cuadro de costos de la partida Macizo de Anclaje

Partida: Macizo de Anclaje F'c=210 Kg/cm2 (2.0m X 2.0m X 3.11m)				
SubPartidas	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/ (Sin IGV)	Parcial S/
CONCRETO F'C= 210 KG/CM2 EN DADOS DE ANCLAJE	m3	11.20	397.43	4451.22
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	18.60	59.07	1098.70
TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO	m2	4.00	1.94	7.76
EXCAVACIÓN	m3	14.00	51.17	716.38
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE CON TRANSPORTE	m3	18.20	23.45	426.79
			<b>Total costo</b>	<b>6700.85 soles</b>

Por consiguiente, el macizo de anclaje calculado para la progresiva 0+036.57, incluyendo todas las subpartidas, tiene un costo de S/6700.85 (Seis mil setecientos con ochenta con 85/100 soles)

### 3.5.4.2 Diseño de Tubería Acerrojada

- ❖ Otros criterios para considerar la elección de tubería acerrojada o un macizo de anclaje

Tabla N° 16 Valorizaciones de consecuencias

VALOR	NIVELES	DESCRIPCIÓN
4	MUY ALTA	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural son catastróficas.
3	ALTA	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas con apoyo externo.
2	MEDIA	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas con los recursos disponibles
1	BAJA	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas sin dificultad

Fuente: CENEPRED

Debido al emplazamiento de la tubería de la línea de impulsión y de la línea de interconexión, estos pasan por lugares que debido a su topografía representan un peligro o riesgo a este, por tal motivo, como parte de la elección de sistema de protección frente a los empujes en transitorios hidráulicos, se establece como parámetro de elección los siguientes riesgos y/o peligros observados en campo:

- Inundación
- Flujo de detritos (huaycos)
- Fallas geológicas



- Fallas sísmicas
- Fallas por asentamiento
- Riesgo social

Inundación:

La captación del sistema Vilcanota II, se encuentra en el acuífero de Piñipampa, terreno aledaño al río Vilcanota. En este acuífero se encuentra la estación de captación y bombeo inicial, contando con 04 pozos de captación con ampliación proyectada de 04 pozos más, teniendo un total de 8 casetas de bombeo, siendo por este el lugar más vulnerable de peligro por inundación. En el tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana, siguiendo el emplazamiento de la tubería proyectada, pasa por terrenos con alto nivel freático, que son:

- Laguna de Huacarpay
- Cruce río Huatanay en Oropesa
- Cruce río Huatanay en Huasao
- Cruce río Huatanay en Angostura

En el tramo E.B. Collana – Reservorio R12, pasa por un solo río, el río Huacoto. Para la línea de interconexión, tramo reservorio R12 hasta la cámara Bolívar, no se cuenta con ríos que puedan exponer a tener riesgo por inundación. Con estas consideraciones se puede estimar una valuación del porcentaje de riesgo por inundación por tramos, teniendo el siguiente cuadro:





Tabla N° 17 Resumen de nivel de riesgo por inundación

Resumen del nivel de riesgo por inundación					
TRAMO	LONGITUD TOTAL	NIVEL DE RIESGO	LONGITUD	PORCENTAJE	
Línea de impulsión E.B. Piñipampa hasta la E.B. Rumicolca	2829.90 ml	Alto	1300.0 ml	43%	
		Medio	1529.9 ml	57%	
Línea de impulsión desde la E.B. Rumicolca hasta la E.B. Collana	23166.30 ml	Alto	3800 ml	17%	
		Medio	19366.3 ml	83%	
Línea de impulsión E.B. Collana hasta el Reservoirio R12	4689.47 ml	Alto	140 ml	3%	
		Medio	4549.47 ml	97%	
Línea de interconexión desde el Reservoirio R12 hasta la Cámara Bolívar	5760 ml	Medio	5760 ml	100%	

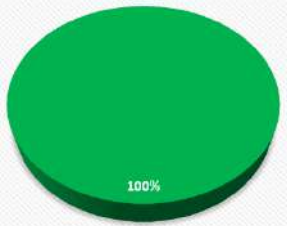
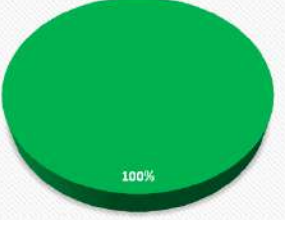
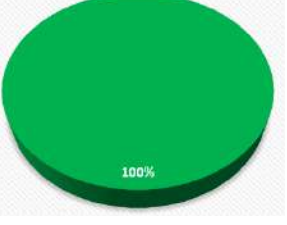
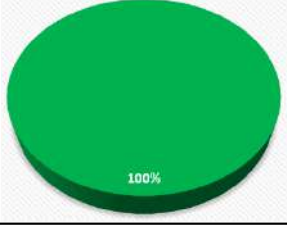
Con estos datos estimados sobre riesgos y peligro que se podrían observar en el proyecto, podemos tener un criterio más para elegir entre un macizo de anclaje o usar tuberías acerrojadas, en el caso de las inundaciones, se podría recomendar el uso de macizos en el sector de Piñipampa, debido a que en el terreno estudiado subirá el nivel de agua del río Vilcanota, debido al gran caudal y ya que este no consta con una defensa ribereña para las casetas de bombeo, los macizos voluminosos de concreto, podrían funcionar como un mejor sistema de protección.

Flujo de detritos (huaycos):

Según el emplazamiento de la tubería y revisando la topografía completa del proyecto sistema Vilcanota, estos no poseen grandes taludes que puedan convertirse un riesgo o peligro para el proyecto, obteniendo así el siguiente cuadro de riesgos:



Tabla N° 18 Resumen de nivel de riesgo por flujo de detritos

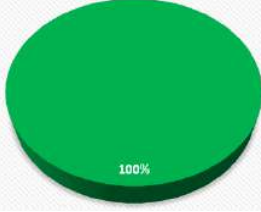
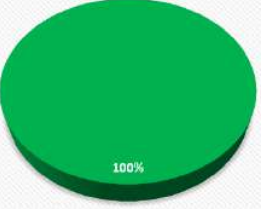
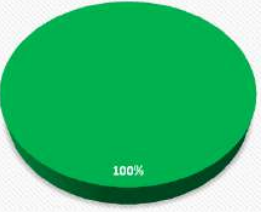
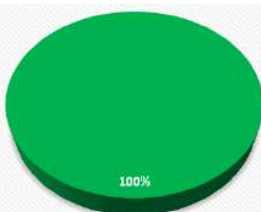
Resumen del nivel de riesgo por flujo de detritos			
TRAMO	LONGITUD TOTAL	NIVEL DE RIESGO	PORCENTAJE
Línea de impulsión E.B. Piñipampa hasta la E.B. Rumicolca	2829.90 ml	Bajo	
Línea de impulsión desde la E.B. Rumicolca hasta la E.B. Collana	23166.30 ml	Bajo	
Línea de impulsión E.B. Collana hasta el Reservorio R12	4689.47 ml	Bajo	
Línea de interconexión desde el Reservorio R12 hasta la Cámara Bolivar	5760 ml	Bajo	

### Riesgos por fallas geológicas

El emplazamiento de la tubería no contempla la presencia de fallas geológicas, a excepción de la falla geológica de Saylla, pero en este sector se encuentra en la carretera Cusco – Sicuani, por lo que el tendido tubería no presenta riesgo alguno.



Tabla N° 19 Resumen de nivel de riesgo por fallas geológicas

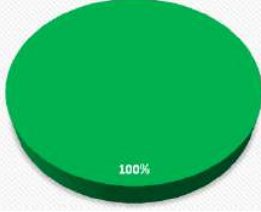
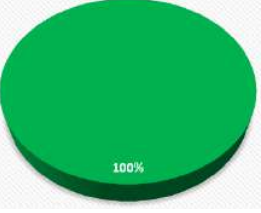
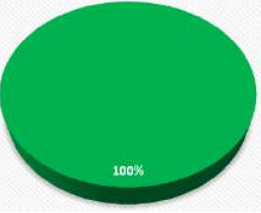
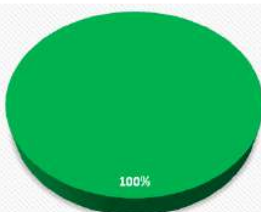
Resumen del nivel de riesgo por fallas geológicas			
TRAMO	LONGITUD TOTAL	NIVEL DE RIESGO	PORCENTAJE
Línea de impulsión E.B. Piñipampa hasta la E.B. Rumicolca	2829.90 ml	Bajo	
Línea de impulsión desde la E.B. Rumicolca hasta la E.B. Collana	23166.30 ml	Bajo	
Línea de impulsión E.B. Collana hasta el Reservoirio R12	4689.47 ml	Bajo	
Línea de interconexión desde el Reservoirio R12 hasta la Cámara Bolívar	5760 ml	Bajo	

#### Fallas por asentamiento

La mayor parte de su trama vial está conformada por carreteras afirmadas, trochas carrozables y vías Interdepartamentales, caso de la vía nacional Cusco – Sicuani, adicional a esto, la tubería va enterrada bajo el pavimento y durante su emplazamiento no hay zona que pueda sufrir colapso por asentamiento de terreno.



Tabla N° 20 Resumen del nivel de riesgo por asentamiento

Resumen del nivel de riesgo por asentamiento			
TRAMO	LONGITUD TOTAL	NIVEL DE RIESGO	PORCENTAJE
Línea de impulsión E.B. Piñipampa hasta la E.B. Rumicolca	2829.90 ml	Bajo	
Línea de impulsión desde la E.B. Rumicolca hasta la E.B. Collana	23166.30 ml	Bajo	
Línea de impulsión E.B. Collana hasta el Reservorio R12	4689.47 ml	Bajo	
Línea de interconexión desde el Reservorio R12 hasta la Cámara Bolívar	5760 ml	Bajo	

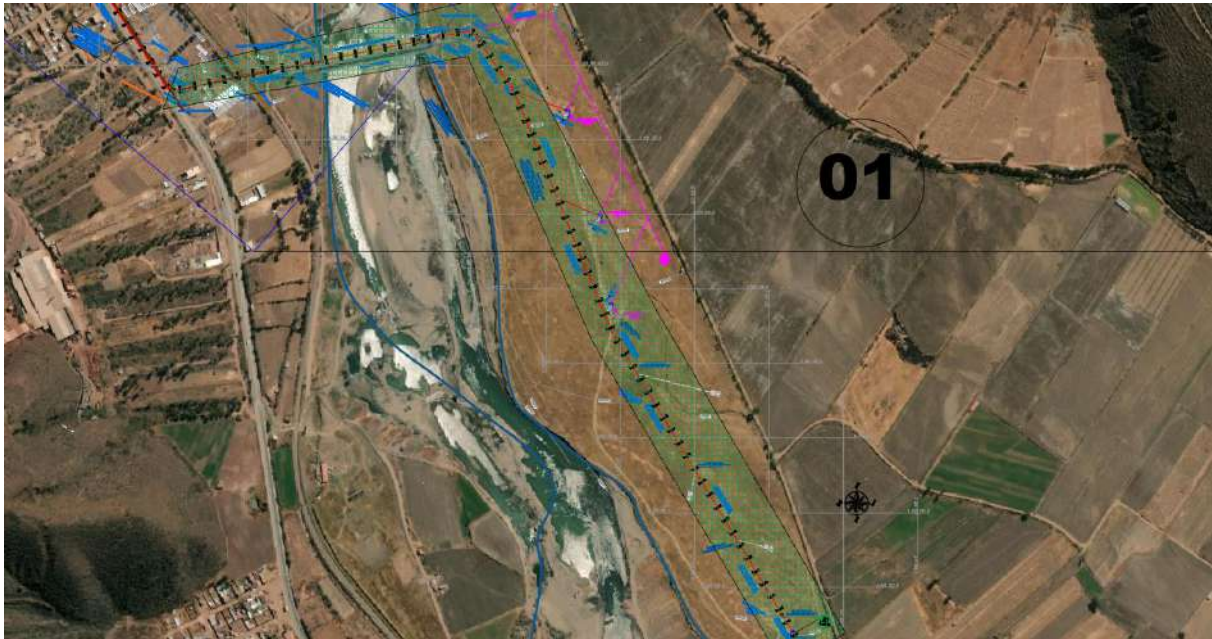
Con estas consideraciones, podemos plantear parámetros de diseño en los cálculos para los instrumentos de protección de los empujes en transitorios hidráulicos, teniendo en cuenta:

- Disponibilidad de terreno
- Riesgos durante la ejecución
- Sobrepresión en el accesorio de estudio
- Dimensionamiento del macizo de anclaje

Para este punto debemos aclarar que el primer tramo, Estación de Bombeo Piñipama – Estación de Bombeo Rumicolca, desde la progresiva 0+000.00km a la progresiva 1+330.00km, se cuenta con disponibilidad de terreno, debido a que el terreno de Estación de Piñipampa es propiedad de la E.P.S SedaCusco y el tramo posterior al puente, hasta la progresiva 1+330.00km antes de llegar a la Vía Nacional Cusco - Sicuani, cuenta con área disponible de acuerdo al convenio con la Comunidad Campesina de Salloc.



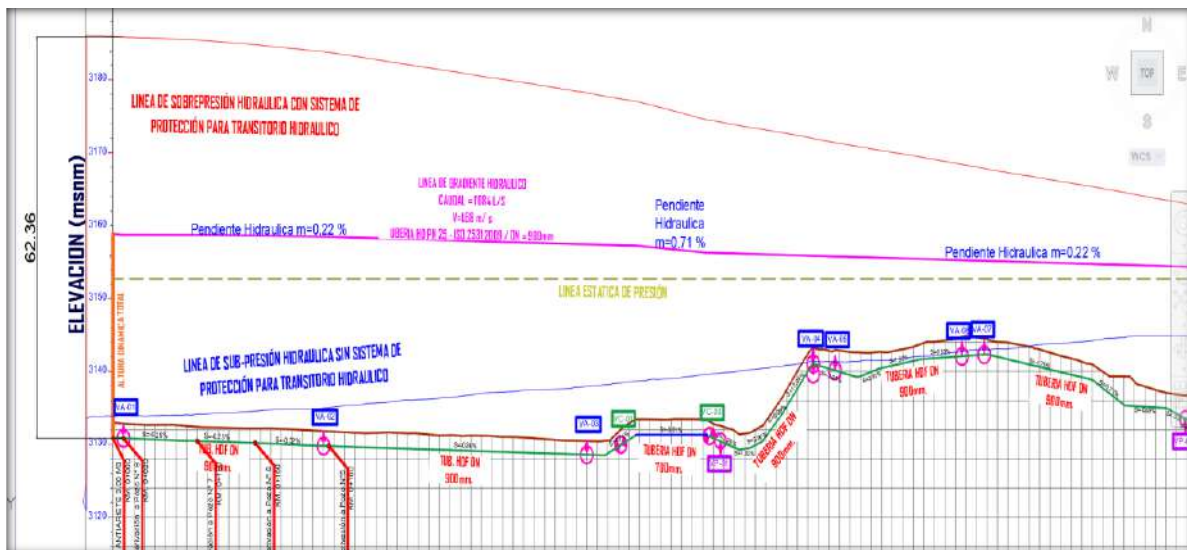
Figura N° 50 Imagen satelital con achurado del alineamiento desde la progresiva 0+000.0km hasta la progresiva 1+330.0km en el Tramo I E.B. Piñipampa – E.B Rumicolca



Fuete: Elaboración propia

Otro punto a considerar, es al medir las sobrepresiones en este primer tramo, no pasan los 100 m.c.a, este podría ser otro punto a considerar a cuando elegir macizo de anclaje o tubería acerrojada.

Figura N° 51 Perfil de la Simulación de Transitorio Hidráulico Tramo I E.B. Piñipampa - E.B. Rumicolca



Fuete: E.P.S. SedaCusco



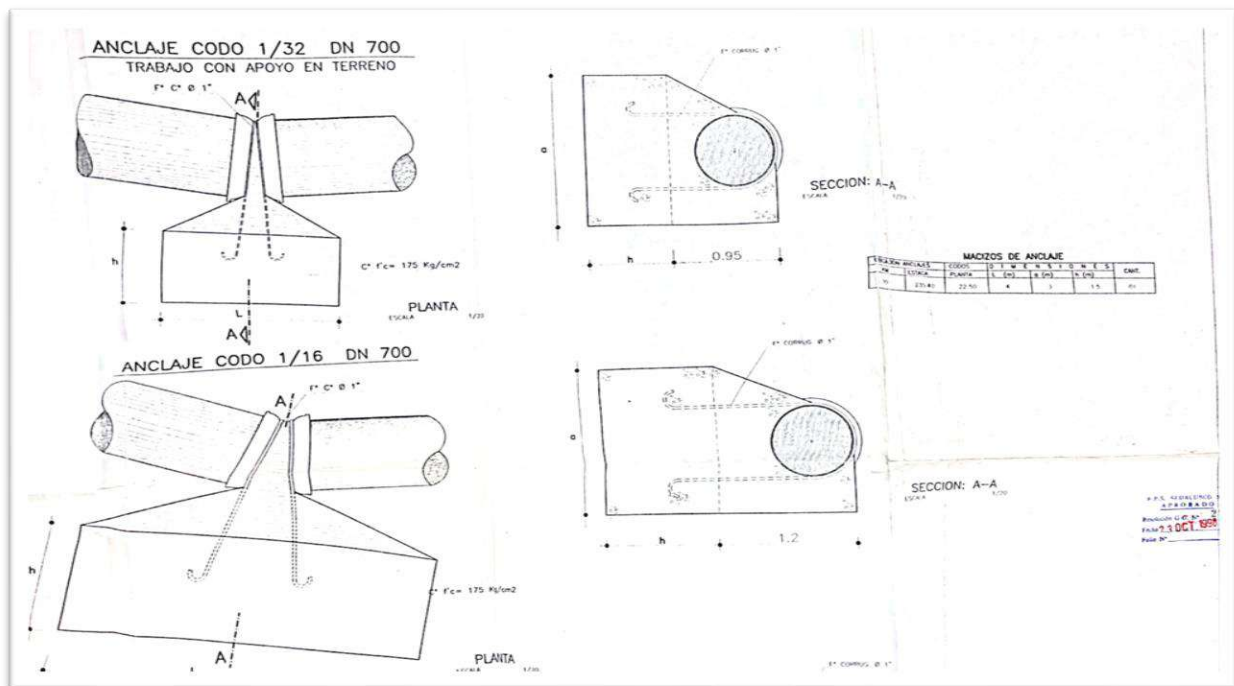


Con estas consideraciones, podríamos establecer cálculo de macizos de anclaje en el Tramo I: E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca, y en los tramos donde la sobrepresión no sea mayor a los 100 m.c.a., siempre y cuando el espacio que se requiera para los macizos de anclaje sea factible en el proyecto.

### 3.5.5 Verificación

Para comprobar los datos usados en el cálculo se realizaron las medidas nuevamente de las progresivas, la medida de altura de zanja, las sobrepresiones, todos estos datos salieron de los datos proporcionados por la Oficina de Proyectos Especiales, siendo visadas por los profesionales pertinentes. Del mismo modo se observaron los macizos usados en el proyecto sistema Vilcanota actual, teniendo las siguientes dimensiones:

Figura N° 52 Macizo de anclaje de 4m x 3m x 1.5m del Sistema Vilcanota actual, progresiva 0+235.40km, para un ángulo de 22.5°



Fuente: EPS. SedaCusco 1998

Como podemos observar en la imagen de los macizos de anclaje utilizados para el sistema Vilcanota I, estas dimensiones servirán para poder verificar si los cálculos realizados para el dimensionamiento de los nuevos macizos son correctos o no.



## **4 Capítulo IV: Resultados**



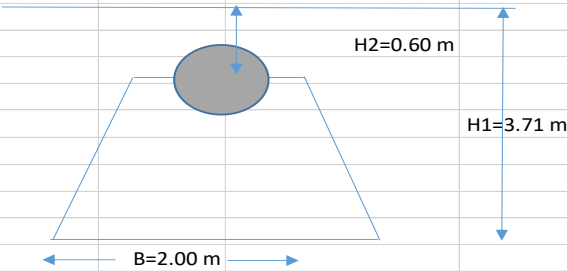
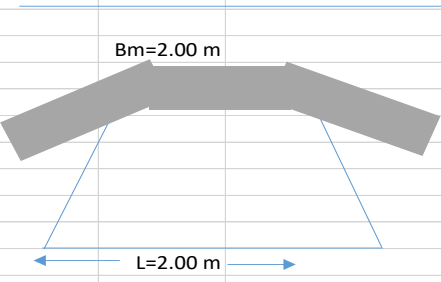
### **4.1 Macizos de anclaje**

Como se mencionó anteriormente, en el ítem 3.5.5 Diseño (pág. 77), para el presente diseño, se ha considerado el tramo I (E.B. Piñipampa a E.B. Rumicolca), pues las sobrepresiones que se generan no superan los 100 m.c.a. y los macizos hallados están en su mayoría en terrenos de la E.P.S. SedaCusco. Teniendo en consideración el proceso de diseño para los macizos se elaboró las siguientes hojas de cálculo:





Figura N° 53 Hoja de cálculo para el dimensionamiento de los macizos de anclaje

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	16.893	Sec. Int. (m2)	0.653			
$\alpha^\circ$	45					
k	0.77	F (Kp)	84423.92			
Reacción pasiva del suelo						
$\delta_s$ (kg/m3)	1800					
H1 (m)	3.712					
H2 (m)	0.6					
$\Theta$	40					
B	2					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>111082.53</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	3.112					
Long. Macizo (m)	2					
Base mayor (m)	2					
Base menor (m)	2					
Area macizo (m2)	6.224					
Vc (m3)	12.448					
$\delta_c$ (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	2.4					
$\delta_s$ (kg/m3)	1800					
f	0.64					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>19494.91</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>130577.44</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>126635.88</b>			
Condición:	$T_t + T_r \geq 1,5 \cdot F$	<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. RUMICOLCA A E.B. PIÑIPAMPA						
RESUMEN						
PROG.	0+036.57(45°)					
B =	2.00	M				
L =	2.00	M				
H =		M				
V =	12.4	M3				



Con esta hoja de cálculo, donde presentamos todas las variables y ecuaciones realizadas, calculamos la dimensión de los macizos de anclaje para cada accesorio en la línea de Impulsión e Interconexión, donde el resultado final es el volumen por macizo.

Seguidamente tenemos que realizar el metrado de las demás partidas que comprenden la elaboración del macizo de anclaje, teniendo para este volumen calculado, los siguientes metrados:

Tabla N° 21 Cuadro de resumen de metrados del macizo de anclaje calculado prog. 0+036.57km

METRADO DE ENCOFRADO					
Progresiva	B	L	H	TOTAL	UNIDAD
0+036.57	2	2	3.1	18.60	M2

METRADO DE TRAZO Y REPLANTEO				
Progresiva	L	B	TOTAL	UNIDAD
0+036.57	2	2	4	M2

METRADO DE EXCAVACIÓN					
Progresiva	L	B	H	VOL	UNIDAD
0+036.57	2	2	3.5	14.00	M3

METRADO DE ELIMINACIÓN				
Progresiva	VOL DADO	FACTOR	VOL. ELIMINAR	UNIDAD
0+036.57	14.00	1.3	18.2	M3

Tabla N° 22 Resumen de los precios unitarios de las subpartidas del macizo de anclaje

SubPartidas	Unidad	Precio Unitario S/ (Sin IGV)
CONCRETO F'C= 210 KG/CM2 EN DADOS DE ANCLAJE	m3	397.43
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	59.07
TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO	m2	1.94
EXCAVACIÓN	m3	51.17
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE CON TRANSPORTE	m3	23.45



Tabla N° 23 Cuadro de costos de la partida Macizo de Anclaje

Partida: Macizo de Anclaje F'c=210 Kg/cm2 (2.0m X 2.0m X 3.11m)				
SubPartidas	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/ (Sin IGV)	Parcial S/
CONCRETO F'C= 210 KG/CM2 EN DADOS DE ANCLAJE	m3	11.20	397.43	4451.22
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	18.60	59.07	1098.70
TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO	m2	4.00	1.94	7.76
EXCAVACIÓN	m3	14.00	51.17	716.38
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE CON TRANSPORTE	m3	18.20	23.45	426.79
			Total costo	6700.85 soles

Por con siguiente, el macizo de anclaje calculado para la progresiva 0+036.57, incluyendo todas las subpartidas, tiene un costo de S/6700.85 (Seis mil setecientos con ochenta con 85/100 soles)

#### 4.2 Tubería Acerrojada

La esencia de la técnica radica en asegurar las conexiones a lo largo de una extensión suficiente en ambos lados, así como en la parte afectada por la presión hidráulica (por ejemplo, un codo), de manera que el rozamiento entre el suelo y la tubería contrarreste la fuerza generada por la presión hidráulica.

El cálculo de la longitud a acerrojar no depende del sistema de acerrojado que se vaya a utilizar. En cambio, está determinado por la presión de prueba y el diámetro de la tubería, junto con otros parámetros adicionales.

Se puede realizar estos cálculos, utilizando las fórmulas siguientes:

$$L := \frac{P \cdot S \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot c}{Fn}$$

Donde:

P: Presión de prueba en obra

S: Sección transversal m<sup>2</sup>

θ: Ángulo del codo en radianes

Fn: Fuerza de rozamiento por metro del tubo (N/m)

C: Coeficiente de seguridad, por lo general 1.2



$$Fn := K \cdot f \cdot W_e + W_p + W_w$$

Donde:

$F_n$ : fuerza de rozamiento por el metro del tubo N/m

$W_p$ : peso métrico del tubo vacío N/m

$W_w$ : peso métrico del agua.

$W_e$ : peso métrico del relleno

$f$ : Coeficiente de repetición de las presiones de relleno alrededor de los tubos

(según compactación  $K=1.1$  a  $1.5$ )

$$W_e := \gamma \cdot H \cdot D \cdot \alpha_1$$

Donde:

$\alpha_1$ : Pruebas con juntas bajo relleno "1"

$\alpha_1$ : Pruebas con juntas descubierto "2/3"

$\gamma$ : Densidad de material en  $\text{kg/m}^3$

$D$ : Diámetro exterior del tubo en "m"

$H$ : Altura de cobertura en "m"

$$f := \alpha_2 \cdot \tan(0.8 \cdot \beta)$$

Donde:

$\alpha_2$ : Tubería con revestimiento zinc + pintura bituminosa "1"

$\alpha_2$ : Tubería con revestimiento de polietileno o poliuretano "2/3"

$\beta$ : Ángulo de fricción interna

La longitud efectiva por unidad de tubería acerrojada es de 6.86m, por con siguiente la longitud de tubería acerrojada, será redondeada para esta longitud y tener cantidades exactas por tubería. Por ejemplo, si el cálculo de la longitud de tubería acerrojada sale 10.5m, su redondeo sería a dos tuberías de 6.86m, obteniendo un total de 13.72m de tubería, es decir dos tuberías de acerrojamiento a cada lado del accesorio.



Figura N° 54 Hoja de cálculo para el dimensionamiento de Tuberías Acerrojadas

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO																		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
TESIS	:	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																					
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																					
TRAMO	:	E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA												ACCESORIOS				:	HORIZONTALES				
DATOS				REVESTIMIENTO DE TUBO				α1		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"											
Coefficiente Seguridad	C	1.2		Zinc + Pintura Bituminosa	1			90.00°	0.7854														
Diametro Nominal Tub.	DN	900	mm	Polietileno o Poliuretano	2/3			45.00°	0.4880														
Diametro Exterior Tub.	D ext.	945	mm					22.50°	0.2734														
Coefficiente de Repartición de las Presiones	K	1.1						11.25°	0.1450														
Peso Métrico del Tubo Vacío	Wp	2708.58	N/m	TIPO DE PRUEBA				α2															
Peso Métrico del Agua	Ww	6403.35	N/m	Junta Bajo Relleno	1																		
				Junta al Descubierta	2/3																		
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA																							
Longitud Útil de Tubería Junta Standart	Lu	7	m																				
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada	La	6.87	m																				
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m <sup>3</sup> )	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m <sup>2</sup> )	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUEBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fn" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN			
1	0+036.57	45.00°	42.00°	1950	3.712	2.767	0.701	168.934	16.893	2,189,335	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	50,003	79,747	0.4880	11.28	2	13.74	ACERROJADA	

Tabla N° 24 Cuadro resumen del cálculo de Tubería Acerrojada

TUBERÍA ACERROJADA		
RESUMEN		
PROG.	0+036.57(45°)	UND
Long. a Acerrojar	11.28	m
Long. Acerrojada Efectiva	13.74	m
Cantidad de tuberías	4	und
<b>Long. Acerrojada Total</b>	<b>54.96</b>	<b>m</b>



- ❖ Como se puede observar, para el diseño para del macizo de anclaje y de la longitud acerrojada, se utilizó un único accesorio, de progresiva 0+036.57km, con presión dinámica de 16.89bar y altura de zanja de 3.712m. Esto se realizó con el fin de analizar comparativamente el dimensionamiento para mismas características.
- ❖ Obtenemos una longitud a acerrojar total de 54.96ml de tubería acerrojada con junta interna, que en cantidad de tubos sería cuatro.
- ❖ Seguidamente se analizó los precios, para hacer la comparación en costos, teniendo una cotización por parte de la empresa Saint Gobain.

Figura N° 55 Hoja de Cotización Saint Gobain

CORPORACION ANITA EIRL		Telfax 084-224512 RUC 20490186906		Corporación <b>anita</b>		
Av. Manco Capac N° 316 www.corporacionanita.com.pe correos : corper_anita@hotmail.com,		PAVCO		NETAFIM		
Cusco 09 de Marzo del 2023						
Señores:						
<b>EPS SEDA CUSCO S.A.</b>						
Referencia						
AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA 6 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE CUSCO - DEPARTAMENTO DE CUSCO						
<b>COTIZACION 042-2023</b>						
ITEM	DESCRIPCION CLIENTE	DESCRIPCION SAINT GOBAIN	Unidad	Cantidad	Unitario	Total
43	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 11.25' C-25 UNIÓN FLEXIBLE	CODO HD CON ENCHUFES STANDARD DN 900 mm 11.25'	und	8	2,930.40	23,443.20
44	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 11.25' C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	CODO HD CON JUNTA ACERROJADA INTERNA DE CAMARA DOBLE DN 900 mm 11.15' (PFA DE LA JUNTA 25 BAR)	und	77	9,744.00	750,288.00
45	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 22.5' C-25 UNIÓN FLEXIBLE	CODO HD CON ENCHUFES STANDARD DN 900 mm 22.5'	und	8	3,650.40	29,203.20
46	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 22.5' C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	CODO HD CON JUNTA ACERROJADA INTERNA DE CAMARA DOBLE DN 900 mm 22.5' (PFA DE LA JUNTA 25 BAR)	und	44	10,780.00	474,320.00
47	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 45' C-10 UNIÓN FLEXIBLE	CODO HD CON ENCHUFES STANDARD DN 900 mm 45'	und	4	4,905.90	19,623.60
48	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 45' C-25 UNIÓN FLEXIBLE	CODO HD CON ENCHUFES STANDARD DN 900 mm 45'	und	12	4,905.90	58,870.80
49	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 45' C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	CODO HD CON JUNTA ACERROJADA INTERNA DE CAMARA DOBLE DN 900 mm 45' (PFA DE LA JUNTA 25 BAR)	und	34	12,462.00	423,708.00
50	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 45' PN 40 BB	CODO HD CON ENCHUFES STANDARD DN 900 mm 45'	und	4	7,621.01	15,242.02
51	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 90' PN 10 BB	CODO CON BRIDAS 90° DN 900 PN 10	und	4	8,643.70	34,574.80
52	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 45' PN 25 BB	CODO CON BRIDAS 45° DN 200 PN 25	und	1	340.00	340.00
53	CODO HD Ø 36" DN 900mm) x 90' PN 25 BB	CODO CON BRIDAS 90° DN 200 PN 25	und	15	405.00	6,075.00
125	TEE HD Ø 8" (DN 200mm) PN 25 BB	TEE HD BRIDADA DN 200*200 mm PN 25	und	7	560.00	3,920.00
126	TUBERIA HD Ø 16" (DN 400mm) C-25 UNIÓN FLEXIBLE	TUBERIA HD CAMPANA ESPIGO CON JUNTA FLEXIBLE DN 400 mm C30 (ALTERNATIVA)	m	153.82	150.86	23,205.29
127	TUBERIA HD Ø 18" (DN 450mm) C-25 UNIÓN FLEXIBLE	TUBERIA HD CAMPANA ESPIGO CON JUNTA FLEXIBLE DN 450 mm C30 (ALTERNATIVA)	m	126.25	185.30	23,394.13
128	TUBERIA HD Ø 24" (DN 600mm) C-25 BB L=1060mm	TUBO HD BRIDA BRIDA DN 600 L=1.06 MT PN 25	und	3	2,569.28	7,707.83
129	TUBERIA HD Ø 24" (DN 600mm) C-25 BB L=1740mm	TUBO HD BRIDA BRIDA DN 600 L=1.74 MT PN 25	und	1	2,881.05	2,881.05
130	TUBERIA HD Ø 28" (DN 700mm) C-25 UNIÓN FLEXIBLE	TUBERIA HD CAMPANA ESPIGO CON JUNTA FLEXIBLE DN 700 mm C25	m	133.32	355.30	47,368.60
131	TUBERIA HD Ø 32" (DN 800mm) C-25 UNIÓN FLEXIBLE	TUBERIA HD CAMPANA ESPIGO CON JUNTA FLEXIBLE DN 800 mm C25	m	5099.08	435.10	2,218,609.71
132	TUBERIA HD Ø 32" (DN 800mm) C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	TUBERIA HD CAMPANA ESPIGO CON JUNTA ACERROJADA INTERNA CAMARA DOBLE DN 800 mm C30 (PFA DE LA JUNTA 25 BAR)	m	983.79	667.70	656,876.58
133	TUBERIA HD Ø 36" (DN 900mm) C-25 UNIÓN FLEXIBLE	TUBERIA HD CAMPANA ESPIGO CON JUNTA FLEXIBLE DN 900 mm C25	m	24900.73	506.40	12,609,729.67
134	TUBERIA HD Ø 36" (DN 900mm) C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	TUBERIA HD CAMPANA ESPIGO CON JUNTA ACERROJADA INTERNA CAMARA DOBLE DN 900 mm C30 (PFA DE LA JUNTA 25 BAR)	m	4914.7	814.73	4,004,153.53

Fuente; E.P.S. SedaCusco 2021

Por consiguiente, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 25 Cuadro de costos de accesorios acerrojados para la prog. 0+036.57km

Insumos	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/ (Sin IGv)	Parcial S/
TUBERÍA HD Ø 36" (DN 900mm) C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	m	54.96	814.73	44777.56
CODO HD Ø 36" (DN 900mm) x 45" C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	und	1	12462.00	12462.00
Total costo			57239.56	soles



El costo con accesorios acerrojados es de S/57 239.56 (cincuenta y siete mil doscientos treinta y nueve con 56/100soles), pero para obtener el costo real de estos accesorios, tenemos que sacar el costo de instalación con tubería HD unión estándar.

*Tabla N° 26 Cuadro resumen de los costos finales de los accesorios acerrojados para la prog. 0+036.57km*

Insumos	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/ (Sin IGV)	Parcial S/
TUBERÍA HD Ø 36" (DN 900mm) C-25 UNIÓN FLEXIBLE	m	54.96	506.4	27831.74
CODO HD Ø 36" (DN 900mm) x 45° C-25 UNIÓN FLEXIBLE	und	1	4905.90	4905.90
			<b>Total costo</b>	<b>32737.64 soles</b>

El costo de accesorios con unión estándar es de S/32737.64 (treinta y dos mil setecientos treinta y siete con 64/100soles). De tal manera que ahora podemos sacar el costo real de incluir accesorios acerrojados.

Haciendo la diferencia, tenemos un incremento en el costo real en el uso de accesorios acerrojados de S/24 501.92 (veinte y cuatro mil quinientos uno con 92/100 soles)

#### 4.2.1 Elección del sistema de protección – criterio económico

A continuación, se muestra el resumen de los cálculos realizados para el Macizo de Anclaje y para la tubería acerrojada, para el mismo accesorio, Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 45°, teniendo la misma sobrepresión hidráulica en ese punto.

*Tabla N° 27 Cuadro comparativo entre Macizo de Anclaje y Tubería Acerrojado calculado*

MACIZO DE ANCLAJE			TUBERÍA ACERROJADA		
RESUMEN			RESUMEN		
PROG.	0+036.57(45°)	UND	PROG.	0+036.57(45°)	UND
Base	2	m	Long. a Acerrojar	11.28	m
Longitud	2	m	Long. Acerrojada Efectiva	13.74	m
Altura	3.1	m	Cantidad de tuberías	4	und
<b>Volumen</b>	<b>11.2</b>	<b>m3</b>	<b>Long. Acerrojada Total</b>	<b>154.99</b>	<b>m</b>
<b>Costo</b>	<b>6700.9</b>	<b>S/</b>	<b>Costo S/</b>	<b>24501.92</b>	<b>S/</b>

El costo de la tubería acerrojada es 3.7 veces más costoso que utilizar un macizo de anclaje de concreto, representando el 365.65% del costo con una técnica de protección convencional. Por este sentido, el macizo de anclaje es más viable.

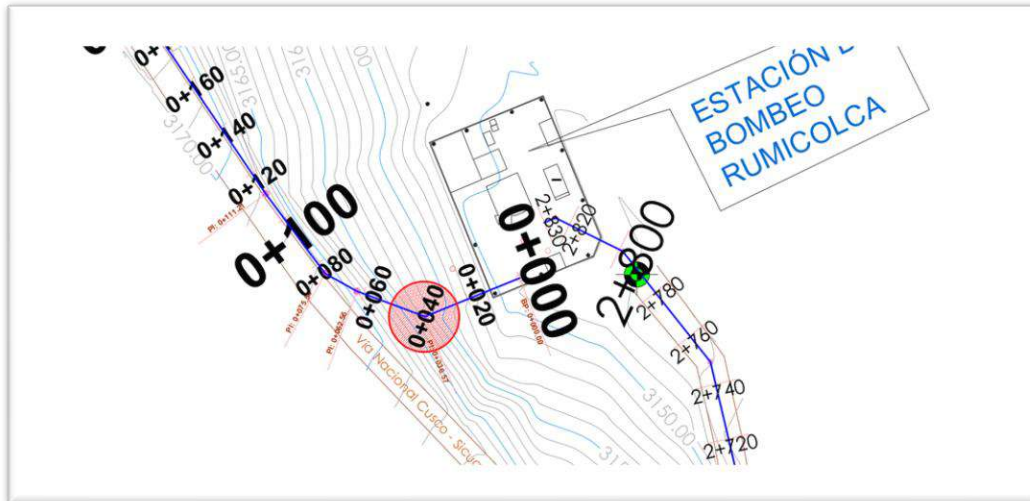




#### 4.2.2 Elección del sistema de protección – criterio espacial

Analizamos el plano topográfico para ubicar el accesorio de la progresiva 0+036.57km, en el tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana.

*Figura N° 56 Ubicación del codo en la progresiva 0+036.57km*



*Figura N° 57 Vista 3D del emplazamiento de un macizo de anclaje de 2m x 2m x 3.11m, prog. 0+036.57km*





Figura N° 58 Vista 3D del emplazamiento de una tubería acerrojada, prog. 0+036.57km



Como podemos observar el accesorio está ubicado en una propiedad que, según su ubicación, pertenece a la comunidad campesina de Salloc y está próxima a la Vía Nacional Cusco-Sicuani. Entonces al momento de analizar y optar por un instrumento de protección para los empujes en transitorios hidráulicos, tenemos que tener en cuenta, los parámetros como:

- Servidumbre de paso
- Ancho mínimo de zanja (1.35m)

Como es terreno que no pertenece a la EPS. SedaCusco S.A. el criterio de eficiencia espacial toma importancia y relevancia por estos factores, entonces haciendo una evaluación porcentual, tenemos:

Según la tabla N° 28, Cuadro de resumen de metrados del macizo de anclaje calculado prog. 0+036.57km, el macizo de anclaje tiene un metrado de 4m<sup>2</sup> de trazo y replanteo y 14m<sup>3</sup> de excavación, y la tubería acerrojada que utiliza el mismo emplazamiento que una tubería estándar de hierro dúctil, tiene como metrado 2.56m<sup>2</sup> de trazo y replanteo y 5.12 m<sup>3</sup> en el codo, el macizo de anclaje ocupa un 173.44% más que la tubería acerrojada; por consiguiente, en el criterio espacial prima el uso de la tubería acerrojada.

#### 4.2.3 Elección del sistema de protección – criterio facilidad de instalación

Teniendo todos los metrados, las partidas y sub partidas correspondientes, contando de igual manera con criterios de ejecución de obra, podemos analizar que técnica de protección es más



sencilla de instalar y poner en operación. El macizo de anclaje a ser un elemento que posee más partidas para su elaboración y puesta en operación, dificulta el suministro de este; sin embargo, con la tubería acerrojada utiliza las mismas partidas que el suministro e instalación de tubería de hierro dúctil, y con rendimiento de tendido de 10tub/día según la EPS. SedaCusco y León, B. (2015).

Por consiguiente, en el criterio de facilidad de instalación es recomendable optar por la tubería acerrojada

Teniendo en consideración estos puntos, podemos concluir que, a pesar de que el costo de elaboración e instalación del macizo de anclaje para soportar empujes hidráulicos es mucho menor frente a la instalación de tubería acerrojada; podemos optar por el método acerrojado, debido a las siguientes consideraciones:

- Si bien es cierto, se tiene una servidumbre de paso para sistemas de abastecimiento agua potable, las dimensiones del macizo de anclaje calculado son de proporciones grandes, teniendo un volumen de  $11,2\text{m}^3$ , no se puede optar por construir un macizo con esas dimensiones.
- La tubería acerrojada, si bien es cierto, posee un mayor costo frente al macizo de anclaje, posee una mayor ventaja en:
  - o Tiempo de instalación, ya que posee las mismas dimensiones de la tubería HD con unión estándar.
  - o No hay incremento en las partidas de replanteo y excavación de zanja.
  - o Como el lugar de emplazamiento de estas tuberías, no es en terrenos de propiedad de la E.P.S. SedaCusco, facilita la instalación ya que el proyecto contempla una faja de servidumbre establecida.

### **4.3 Tipos de macizos de anclaje**

#### **4.3.1 Macizo de anclaje tipo I**

Es el macizo de anclaje con las siguientes dimensiones:

Longitud: 2 metros

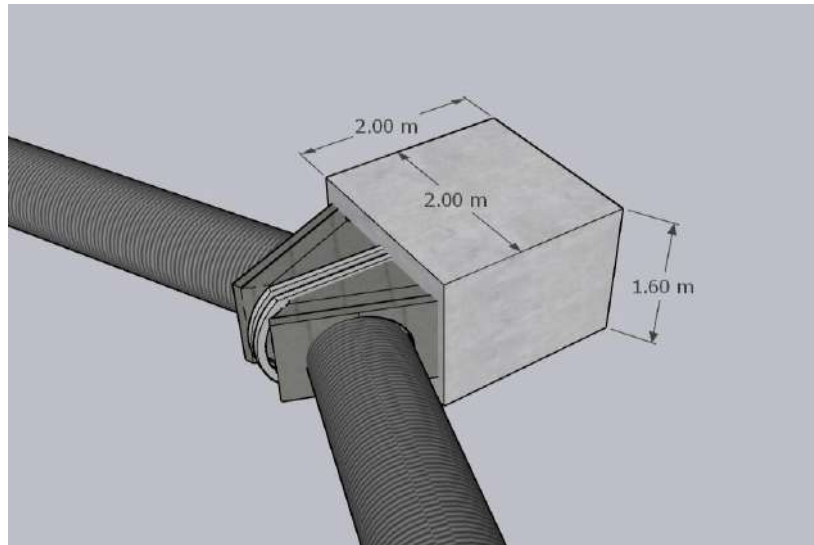
Ancho: 2 metros

Altura: 1.6 metros



Volumen: 6.4 metros cúbicos

*Figura N° 59 Macizo de anclaje tipo I*



#### **4.3.2 Macizo de anclaje tipo II**

Es el macizo de anclaje con las siguientes dimensiones:

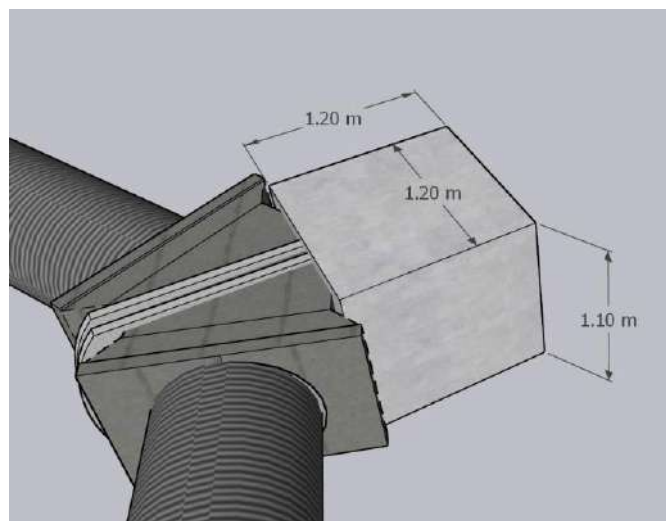
Longitud: 1.2 metros

Ancho: 1.2 metros

Altura: 1.1 metros

Volumen: 1.32 metros cúbicos

*Figura N° 60 Esquema macizo de anclaje tipo II*



#### **4.3.3 Macizo de anclaje tipo III**

Es el macizo de anclaje con las siguientes dimensiones:

Longitud: 1.5 metros



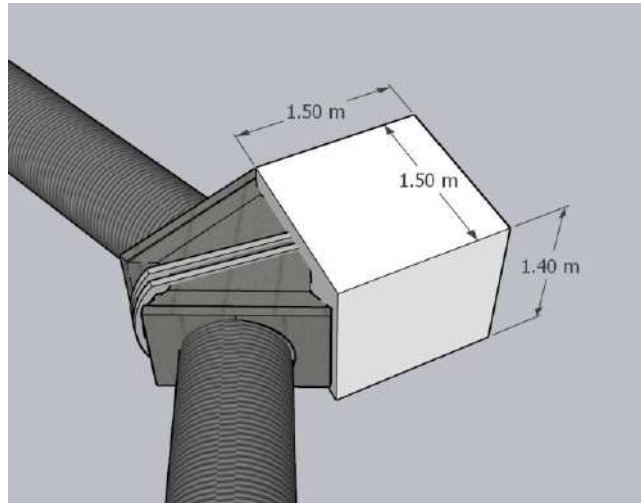


Ancho: 1.5 metros

Altura: 1.4 metros

Volumen: 3.15 metros cúbicos

*Figura N° 61 Esquema macizo de anclaje tipo III*



#### **4.3.4 Macizo de anclaje tipo IV**

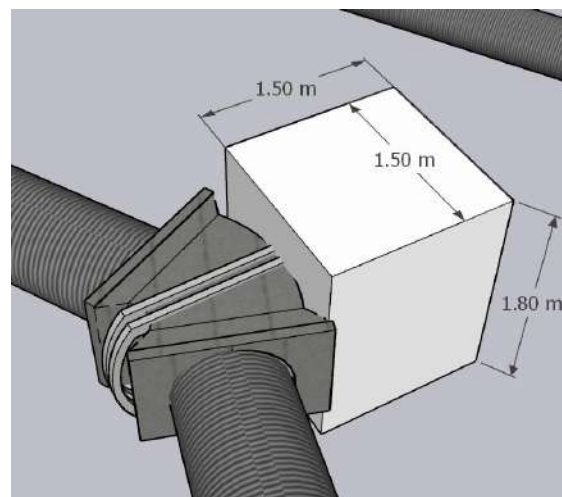
Es el macizo de anclaje con las siguientes dimensiones:

Longitud: 2 metros

Ancho: 2 metros

Altura: 1.8 metros

Volumen: 3.15 metros cúbicos



#### **4.3.5 Macizo de anclaje tipo V**

Es el macizo de anclaje con las siguientes dimensiones:

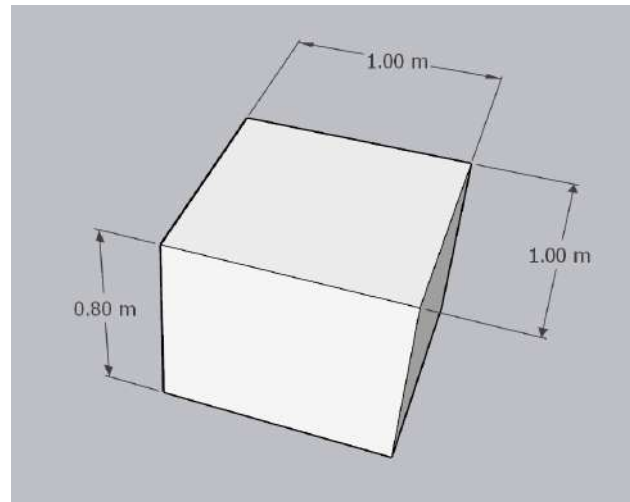
Longitud: 1 metros



Ancho: 1 metros

Altura: 0.8 metros

Volumen: 0.8 metros cúbicos



#### 4.3.6 Macizo de anclaje tipo VI

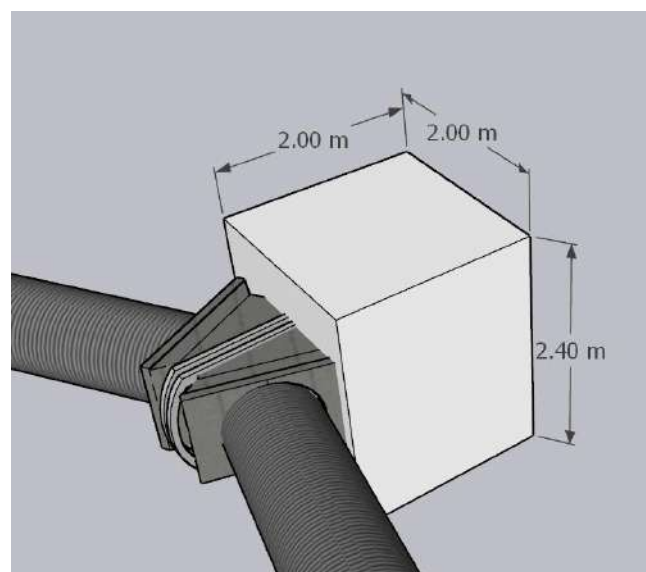
Es el macizo de anclaje con las siguientes dimensiones:

Longitud: 2 metros

Ancho: 2 metros

Altura: 2.4 metros

Volumen: 9.6 metros cúbicos





#### 4.3.7 Macizo de anclaje tipo VII

Es el macizo de anclaje con las siguientes dimensiones:

Longitud: 2.8 metros

Ancho: 2.8 metros

Altura: 2 metros

Volumen: 15.68 metros cúbicos

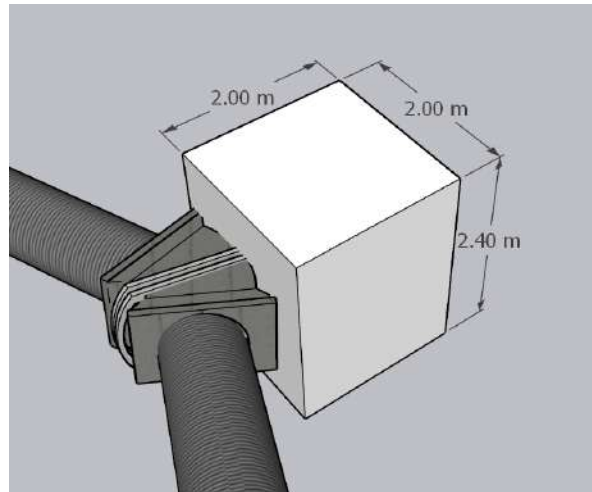


Tabla N° 29 Inventario de tipos de macizo de anclaje

MACIZOS DE ANCLAJE				
TIPO	L (m)	B (m)	H (m)	VOL (m3)
I	2	2	1.6	6.4
II	1.2	1.2	1.1	1.32
III	1.5	1.5	1.4	3.15
IV	2	2	1.8	7.2
V	1	1	0.8	0.8
VI	2	2	2.4	9.6
VII	2.8	2.8	2	15.68



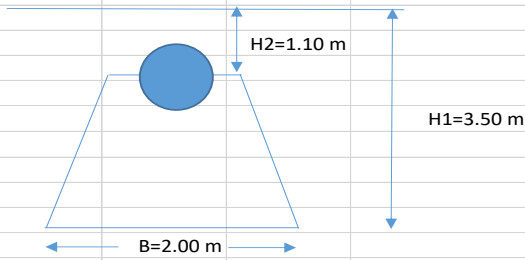
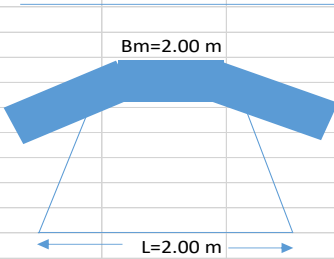
Ya con las medidas pre establecidas de tipos de macizos, se muestra a continuación los cálculos realizados.





I. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 90° PN 25

Figura N° 62 Hoja de cálculo macizo de Anclaje progresiva: 0+000.00km

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE		 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023				
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna				
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800
Datos					
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8		
P. prueba (Bar)	6.236	Sec. Int. (m2)	0.653		
α°	90	F (Kp)	57585.1		
k	1.00				
Reacción pasiva del suelo					
δs (kg/m3)	1800				
H1 (m)	3.5				
H2 (m)	1.1				
Θ	35				
B	2				
<b>Tg (kp) =</b>	<b>73331.1</b>				
					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo					
Alt. macizo (m)	2.4				
Long. Macizo (m)	2				
Base mayor (m)	2				
Base menor (m)	2				
Area macizo (m2)	4.8				
Vc (m3)	9.6				
δc (kg/m3)	2100				
Vs (m3)	4.4				
δs (kg/m3)	1800				
f	0.57				
<b>Tf (kp) =</b>	<b>16005.6</b>				
					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>89336.7</b>	<b>1.1 F =</b>	<b>86377.65</b>		
Condición:	$T_g + T_f \geq 1,5 \cdot F$		<b>Cumple</b>		
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA					
RESUMEN					
PROG.	0+000.00				
B =	2.00	m			
L =	2.00	m			
H =	2.40	m			
<b>V=</b>	<b>9.6</b>	<b>m3</b>			

Todas las hojas de cálculo detalladas por progresivas se encuentran en anexos, pág. 104



Tabla N° 30 Cuadro resumen de macizos de anclaje Línea de Impulsión E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca

PROGRESIVA	0+000.00		0+024.75 (T)		0+145.45 (T)		0+251.95 (T)		0+405.76 (T)	
B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
L	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
H	2.40	2.40	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
V	9.60	9.60	6.4	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40
TIPO	VI		I		I		I		I	

PROGRESIVA	0+665.91 (T)		0+821.98 (T)		0+471.28 (11.25°)		0+823.70 (11.25°)		0+913.12 (22.5°)	
B	2.00	2.00	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.50	1.50
L	2.00	2.00	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.50	1.50
H	1.60	1.60	1.60	1.60	1.10	1.10	1.10	1.10	1.40	1.40
V	6.40	6.40	6.4	6.40	1.32	1.32	1.32	1.32	3.15	3.15
TIPO	I		I		II		II		III	

PROGRESIVA	0+923.72 (45°)		0+935.91 (T)		0+990.65 (R)		1+127.85 (R)		1+150.10 (T)	
B	2.00	2.00	2.80	-	1.00	1.00	1.00	1.00	2.80	-
L	2.00	2.00	2.80	-	1.00	1.00	1.00	1.00	2.80	-
H	1.80	1.80	2.00	-	0.80	0.80	0.80	0.80	2.00	-
V	7.20	7.20	15.68	-	0.80	0.80	0.80	0.80	15.68	-
TIPO	IV		-		V		V		-	

PROGRESIVA	1+322.08 (22.5°)		1+332.73 (11.25°)		1+337.96 (45°)		2+562.50 (22.5°)		2+630.79 (11.25°)	
B	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.80	1.00
L	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.80	1.00
H	1.20	1.40	1.50	1.60	1.50	1.60	0.80	0.80	0.80	0.80
V	2.70	3.15	6.00	6.40	6.00	6.40	0.80	0.80	0.51	0.51
TIPO	III		I		I		V		V	

PROGRESIVA	2+749.22 (22.5°)		2+798.98 (22.5°)		2+814.31 (45°)	
B	0.80	1.00	0.80	1.00	0.80	1.00
L	0.80	1.00	0.80	1.00	0.80	1.00
H	0.80	0.80	0.80	0.80	1.20	0.80
V	0.51	0.51	0.51	0.51	0.77	0.80
TIPO	V		V		V	

Teniendo como resumen en cantidades por tipo la siguiente tabla:

Tabla N° 31 Cuadro de resumen de cantidades por tipo de macizo de anclaje

CANTIDADES	
MACIZO TIPO I	8
MACIZO TIPO II	2
MACIZO TIPO III	2
MACIZO TIPO IV	1
MACIZO TIPO V	7
MACIZO TIPO VI	1
MACIZO TIPO VII	2

#### 4.4 Tubería Acerrojada

Dividiremos el cálculo de la tubería acerrojada por tramos, y por tipo de accesorios, sea el caso de accesorios horizontales o accesorios verticales.



#### 4.4.1 Cálculo tubería acerrojada Tramo E.B. Rumicolca a la E.B. Collana – Línea de Impulsión

##### 4.4.1.1 Cálculo para accesorios horizontales

Figura N° 63 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 01

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO															UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO								
PROYECTO	:	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																							
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																							
TRAMO	:	E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA										ACCESORIOS					:	HORIZONTALES							
DATOS							REVESTIMIENTO DE TUBO			α1		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"											
Coefficiente Seguridad	C	1.2			Zinc + Pintura Bituminosa	1	90.00°		0.7854																
Diametro Nominal Tub.	DN	900	mm			Poliuretano o Poliuretano	2/3	45.00°		0.4880															
Diametro Exterior Tub.	D ext.	945	mm					11.25°		0.1450															
Coefficiente de Repartición de las Presiones	K	1.1			TIPO DE PRUEBA			α2																	
Peso Métrico del Tubo Vacío	Wp	2708.58	N/m			Junta Bajo Relleno	1																		
Peso Métrico del Agua	Ww	6403.35	N/m			Junta al Descubierta	2/3																		
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA																									
Longitud Útil de Tubería Junta Standart	Lu	7	m																						
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada	La	6.87	m																						
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUEBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fr" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN					
1	0+036.57	45.00°	42.00°	1950	3.712	2.767	0.701	168.934	16.893	2,189,335	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	50,003	79,747	0.4880	11.28	2	13.74	ACERROJADA			
2	0+062.56	11.25°	42.00°	1950	3.481	2.536	0.701	161.741	16.174	2,117,415	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	45,828	73,646	0.1450	3.51	1	6.87	ACERROJADA			
3	0+075.54	22.50°	42.00°	1950	2.524	1.579	0.701	158.155	15.815	2,081,547	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28,534	48,367	0.2734	9.90	2	13.74	ACERROJADA			
4	0+410.00	45.00°	42.00°	1950	2.058	1.113	0.701	154.795	15.480	2,047,950	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	20,113	36,058	0.4880	23.33	4	27.48	ACERROJADA			
5	0+426.32	45.00°	42.00°	1950	2.529	1.584	0.701	139.890	13.989	1,898,897	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28,625	48,499	0.4880	16.08	3	20.61	ACERROJADA			
6	0+525.84	22.50°	42.00°	1950	2.567	1.622	0.701	137.015	13.702	1,870,154	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	29,311	49,503	0.2734	8.69	2	13.74	ACERROJADA			
7	0+549.37	11.25°	42.00°	1950	3.930	2.985	0.701	136.339	13.634	1,863,387	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	53,942	85,506	0.1450	2.66	1	6.87	ACERROJADA			
8	0+576.29	22.50°	42.00°	1950	2.324	1.379	0.701	136.175	13.617	1,861,750	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	24,920	43,084	0.2734	9.94	2	13.74	ACERROJADA			
9	0+600.52	22.50°	42.00°	1950	2.669	1.724	0.701	135.800	13.580	1,857,996	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	31,155	52,197	0.2734	8.19	2	13.74	ACERROJADA			
10	0+610.07	11.25°	42.00°	1950	2.364	1.419	0.701	135.662	13.566	1,856,624	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	25,643	44,141	0.1450	5.13	1	6.87	ACERROJADA			
11	0+656.50	11.25°	42.00°	1950	2.188	1.243	0.701	135.826	13.583	1,858,259	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	22,462	39,492	0.1450	5.74	1	6.87	ACERROJADA			
12	0+686.77	22.50°	42.00°	1950	2.281	1.336	0.701	135.916	13.592	1,859,162	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	24,143	41,949	0.2734	10.20	2	13.74	ACERROJADA			
13	0+729.36	22.50°	42.00°	1950	2.249	1.304	0.701	135.174	13.517	1,851,735	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	23,565	41,103	0.2734	10.37	2	13.74	ACERROJADA			
14	0+777.41	11.25°	42.00°	1950	2.245	1.300	0.701	133.887	13.389	1,838,870	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	23,492	40,998	0.1450	5.48	1	6.87	ACERROJADA			
15	0+794.03	11.25°	42.00°	1950	2.226	1.281	0.701	133.425	13.342	1,834,248	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	23,149	40,496	0.1450	5.53	1	6.87	ACERROJADA			
16	0+817.87	11.25°	42.00°	1950	2.192	1.247	0.701	132.907	13.291	1,829,071	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	22,535	39,598	0.1450	5.64	1	6.87	ACERROJADA			
17	0+845.59	11.25°	42.00°	1950	2.202	1.257	0.701	132.774	13.277	1,827,736	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	22,715	39,862	0.1450	5.60	1	6.87	ACERROJADA			
18	0+902.10	11.25°	42.00°	1950	2.946	2.001	0.701	130.100	13.010	1,800,996	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	36,160	59,514	0.1450	3.69	1	6.87	ACERROJADA			
19	0+930.31	11.25°	42.00°	1950	2.664	1.719	0.701	129.501	12.950	1,795,005	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	31,064	52,065	0.1450	4.21	1	6.87	ACERROJADA			
20	0+946.65	22.50°	42.00°	1950	3.180	2.235	0.701	128.645	12.864	1,786,445	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	40,389	65,695	0.2734	6.26	1	6.87	ACERROJADA			

Todas las hojas de cálculo de tuberías acerrojadas están detalladas por progresivas se encuentran en anexos, pág. 127



*Tabla N° 32 Cuadro resumen de metrado de accesorios acerrojados Línea de Impulsión*

Metrado Acerrojado Línea de Impulsión DN 900mm		
INSUMO	UNIDAD	CANTIDAD
TUBERÍA HD Ø 36" (DN 900mm) UNIÓN ACERROJADA	m	5,871.98
CODO HD Ø 36" (DN 900mm) x 11.25° C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	und	76
CODO HD Ø 36" (DN 900mm) x 22.5° C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	und	49
CODO HD Ø 36" (DN 900mm) x 45° C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	und	50



### 4.4.2 Cálculo tubería acerrojada Tramo Reservorio R12 a la Cámara de Empalme Bolívar– Línea de Interconexión

#### 4.4.2.1 Cálculo para Accesorios Horizontales

Figura N° 64 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar 01

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																						
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																						
TRAMO		RESERVORIO R12 - CÁMARA DE EMPALME BOLIVAR										ACCESORIOS					HORIZONTALES							
DATOS		REVESTIMIENTO DE TUBO										TIPO DE PRUEBA					PRESIONES DE LA TUBERÍA							
Coefficiente Seguridad	C	1.2	Zinc + Pintura Bituminosa										Junta Bajo Relleno					Valor "θ"						
Diametro Nominal Tub.	DN	800	Polietileno o Poliuretano										Junta al Descubierta					Ángulo "θ" CODO						
Diametro Exterior Tub.	D ext.	842																VALOR "θ"						
Coefficiente de Reparación de las Presiones	K	1.1																90.00°						
Peso Métrico del Tubo Vacío	Wp	2708.58																45.00°						
Peso Métrico del Agua	Ww	6403.35																22.50°						
Cota del Nivel Reservorio		3488.93																11.25°						
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA		LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA										PRESIONES DE LA TUBERÍA												
Longitud Útil de Tubería Junta Standart	Lu	7	DN										PFA					PMA						
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada	La	6.89	800										25					30						
			PEA										35											
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98%(kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	COTA (m.s.n.m)	ΔH	PRESIÓN DE TRANSITORIO (M.C.A.)	PRESIÓN DE TRANSITORIO (BAR)	PRESIÓN DE PRUBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	REVESTIMIENTO TUBO (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fr" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN		
1	0+461.75	11.25°	29.00°	2050	2.40	1.557	0.557	3424.60	55.431	55.431	5.543	831465	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.43	Junta Bajo Relleno	1	26355.61	29147.18	0.1450	2.76	1	6.89	ACERROJADA
2	0+504.82	11.25°	29.00°	2050	2.60	1.756	0.557	3421.98	60.243	60.243	6.024	903645	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.43	Junta Bajo Relleno	1	29724.11	32323.42	0.1450	2.71	1	6.89	ACERROJADA
3	0+533.16	11.25°	29.00°	2050	2.52	1.678	0.557	3420.83	65.302	65.302	6.530	979530	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.43	Junta Bajo Relleno	1	28403.80	31078.46	0.1450	3.05	1	6.89	ACERROJADA
4	0+580.40	11.25°	29.00°	2050	2.72	1.876	0.557	3418.13	66.803	66.803	6.680	1002045	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.43	Junta Bajo Relleno	1	31755.38	34238.74	0.1450	2.84	1	6.89	ACERROJADA
5	0+609.23	11.25°	29.00°	2050	2.68	1.835	0.557	3416.40	68.440	68.440	6.844	1026600	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.43	Junta Bajo Relleno	1	31061.36	33584.34	0.1450	2.96	1	6.89	ACERROJADA
6	0+744.28	11.25°	29.00°	2050	2.76	1.922	0.557	3408.27	78.412	78.412	7.841	1176180	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.43	Junta Bajo Relleno	1	32534.03	34972.94	0.1450	3.26	1	6.89	ACERROJADA
7	0+782.82	22.50°	29.00°	2050	2.49	1.645	0.557	3405.98	81.485	81.485	8.149	1222275	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.43	Junta Bajo Relleno	1	27845.20	30551.75	0.2734	7.31	2	13.78	ACERROJADA
8	0+900.75	45.00°	36.00°	2120	2.60	1.761	0.557	3401.92	89.072	89.072	8.907	1336080	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.55	Junta Bajo Relleno	1	30826.61	42793.82	0.4880	10.18	2	13.78	ACERROJADA
9	0+912.03	45.00°	36.00°	2120	2.48	1.638	0.557	3401.17	89.560	89.560	8.956	1343400	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.55	Junta Bajo Relleno	1	28673.47	40189.69	0.4880	10.90	2	13.78	ACERROJADA
10	1+067.66	45.00°	36.00°	2120	2.78	1.938	0.557	3382.70	104.317	104.317	10.432	1543170	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.55	Junta Bajo Relleno	1	33925.03	46541.23	0.4880	10.81	2	13.78	ACERROJADA
11	1+077.63	45.00°	36.00°	2120	3.06	2.219	0.557	3382.28	105.700	105.700	10.570	1557000	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.55	Junta Bajo Relleno	1	38843.98	52490.51	0.4880	9.67	2	13.78	ACERROJADA
12	1+368.31	22.50°	37.00°	2120	2.51	1.67	0.557	3370.22	127.853	127.853	12.785	1778530	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	29233.64	42229.37	0.2734	7.69	2	13.78	ACERROJADA
13	1+380.91	45.00°	37.00°	2120	2.78	1.933	0.557	3368.85	128.573	128.573	12.857	1785730	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	33837.50	47983.16	0.4880	12.13	2	13.78	ACERROJADA
14	1+561.62	11.25°	33.00°	2050	2.56	1.715	0.557	3349.62	145.845	145.845	14.585	1958450	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	29030.10	36678.99	0.1450	5.17	1	6.89	ACERROJADA
15	1+821.27	11.25°	33.00°	2050	2.64	1.796	0.557	3326.64	174.139	174.139	17.414	2241390	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	30401.20	38176.36	0.1450	5.69	1	6.89	ACERROJADA
16	2+127.24	45.00°	35.00°	2050	2.51	1.667	0.557	3302.02	203.248	203.248	20.325	2532480	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	28217.60	38337.23	0.4880	21.54	4	27.56	ACERROJADA
17	2+139.94	45.00°	35.00°	2050	2.43	1.592	0.557	3301.66	204.452	204.452	20.445	2544520	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	26948.06	36852.17	0.4880	22.51	4	27.56	ACERROJADA
18	2+301.86	11.25°	35.00°	2050	2.45	1.61	0.557	3296.94	215.229	215.229	21.523	2652290	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	27252.75	37208.59	0.1450	6.91	2	13.78	ACERROJADA
19	2+395.90	11.25°	31.00°	2120	2.62	1.781	0.557	3296.07	218.989	218.989	21.899	2689890	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	31176.71	36323.80	0.1450	7.18	2	13.78	ACERROJADA



*Tabla N° 33 Cuadro de resumen de accesorios acerrojados Línea de Interconexión*

Metrado Acerrojado Línea de Interconexión DN 800mm		
INSUMO	UNIDAD	CANTIDAD
TUBERÍA HD Ø 32" (DN 800mm) UNIÓN ACERROJADA	m	1527.88
CODO HD Ø 32" (DN 800mm) x 11.25° C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	und	24
CODO HD Ø 32" (DN 800mm) x 22.5° C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	und	7
CODO HD Ø 32" (DN 800mm) x 45° C-30 UNIÓN ACERROJADA INTERNA (PFA JUNTA 25 BAR)	und	45



## 5 Capítulo V: Discusión

### 5.1 Contraste de los resultados obtenidos respecto a los antecedentes o con referentes del marco teórico

#### 5.1.1 Discusión con antecedentes nacionales

##### 5.1.1.1 Tesis: “Estudio de optimización de costos y productividad en la instalación de agua potable”

Esta tesis aporta al tema de investigación en tema de costos y productividad, ya que en sus conclusiones afirma que, el uso de tubería acerrojada resulta más cara que usar macizos de anclaje. También indica que, para estudios de sistemas de agua potable, se requiere el tema tangible como base para la ejecución de estos proyectos, debido a que una simulación en software no basta para establecer parámetros de diseño para un estudio de tal magnitud. Con respecto a este punto, el tema de investigación hace un enfoque de comparación del Sistema Vilcanota II proyectado, con el actual Sistema Vilcanota, teniendo este antecedente real, que lleva en funcionamiento más de veinte años, es un punto de partida y comparación para evaluar si los costos propuestos de los insumos que se requiere a partir de la simulación hidráulica, siendo el caso de los instrumentos de protección calculados, como el macizo de anclaje y la tubería acerrojada, son lo más cercano a la realidad.

##### 5.1.1.2 Tesis: “Modelamiento hidráulico para la interconexión de los sistemas de abastecimiento Piuray – Vilcanota de agua potable de la ciudad del cusco”

Esta tesis, aportó mucho en el tema de verificación y maniobra de las simulaciones proporcionadas por la Oficina de Proyectos Especiales de la E.P.S SedaCusco, sin embargo, las simulaciones presentadas en esa tesis, solo corresponden a una simulación de distribución, mas no a una simulación de transitorios hidráulicos, siendo este el fuerte del tema actual. De igual manera, para el tema de cálculo de sistemas de protección, pero se pudo observar que la oferta y demanda existentes en sus simulaciones, pertenecen a la E.P.S. SedaCusco, de tal manera que sirvió para ver los parámetros de diseño que manejaron para el año 2018 y la proyección que plantean para el año 2042.

### 5.2 Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

Según los resultados de los cálculos presentados anteriormente, se puede dar el siguiente análisis:





- Los sistemas de acerojado están sustituyendo cada vez más a los macizos de anclaje, ya que estos macizos en algunos casos, como los presentados en algunos cálculos de la presente tesis, son pesados y voluminosos.
- A medida que el diámetro de las tuberías aumenta, es necesario incrementar las dimensiones de los macizos. Este hecho puede dar lugar a complicaciones significativas en cuanto a la ocupación del subsuelo, ya que diversas redes, como las de electricidad, saneamiento y telecomunicaciones, deben compartir un espacio restringido.
- Las normativas del sector vinculadas al concreto establecen un periodo de fraguado de 28 días para que alcance sus propiedades mecánicas distintivas. Aunque es posible reducir este plazo en la construcción con aditivos, sigue representando una molestia significativa, lo cual no resulta aceptable en entornos urbanos, imposibilitando su prueba hidráulica a corto plazo.
- El área ocupada por las tuberías equipadas con sistemas de acerojado es exactamente la misma que la ocupada por aquellas que carecen de este sistema. Esto posibilita reservar suficiente espacio para otras redes, al mismo tiempo que se contribuye a disminuir el volumen necesario para la excavación.
- La implementación de los sistemas acerojados se lleva a cabo de manera muy ágil, incluso tienen la capacidad de someterse a la prueba hidráulica de inmediato tras su montaje.
- La implementación de los sistemas acerojados da la opción de evaluar secciones más breves, facilita la identificación y solución de posibles inconvenientes, además de posibilitar el pronto cierre de las zanjas.

### 5.3 Comentario de la demostración de la hipótesis

Respecto a la hipótesis planteada inicialmente, donde se expone que la tubería acerojada es más eficiente que los macizos de anclaje, para soportar los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, en el sistema Vilcanota II; llegamos a la conclusión que esta hipótesis es demostrada debido a que la eficiencia se puede medir mediante los siguientes parámetros como:

- **Facilidad de Instalación:** La tubería acerojada lleva un proceso de instalación más rápida respecto a los macizos, ya que este tiene las mismas subpartidas de suministro e instalación que la tubería HD de unión flexible; en cambio, los macizos de anclaje requieren un proceso constructivo más elaborado, teniendo



sub partidas como encofrado, desencofrado, mayor medición en nivel de replanteo y mayor excavación.

- Eficiencia Espacial: Podría ser el parámetro donde la tubería acerrojada saca una gran ventaja frente a los macizos de anclaje, debido a que el emplazamiento para la tubería HD unión acerrojada es el mismo que el de la tubería HD unión estándar; en cambio, para el macizo de anclaje dependiendo del dimensionamiento de este, podría ser voluminoso y en lugares donde el área de servidumbre de paso es limitada, construir un macizo sería imposible.
- Análisis económico: En este parámetro el macizo de anclaje es mucho más viable económicamente que la tubería acerrojada, debido a que los insumos que se requieren para su elaboración son de bajo costo.

#### **5.4 Aporte de la investigación**

La presente investigación aporta en los siguientes puntos

##### **5.4.1 Desarrollo de Metodologías Específicas:**

Durante mi investigación, he desarrollado metodologías específicas para calcular los dimensionamientos de la tubería acerrojada y los macizos de anclaje. Estas metodologías pueden ser una referencia valiosa para ingenieros y profesionales del sector que se enfrentan a desafíos similares en el diseño de infraestructuras.

##### **5.4.2 Propuesta de fórmulas y parámetros:**

Identifiqué fórmulas, parámetros y factores clave que afectan los dimensionamientos de estos sistemas. La presente investigación contribuye a la formulación de modelos más precisos y específicos para futuros cálculos en proyectos similares.

##### **5.4.3 Consideración de Variables Específicas:**

Identifiqué variables específicas que impactan los dimensionamientos, como, diámetro nominal, altura de zanja, sobrepresiones de las simulaciones de transitorio hidráulico, tipo de accesorio (codos, reducciones, tees y tapones), tipo de suelo, etc. La presente investigación es esencial para incorporar estas consideraciones en futuros cálculos y diseños.

##### **5.4.4 Guía para el dimensionamiento de macizos de anclaje y tuberías acerrojadas:**

La presente investigación sirve como una guía detallada, al proporcionar información específica sobre cómo llevar a cabo los cálculos para dimensionar tanto la tubería acerrojada como los macizos de anclaje. Así como los pasos a seguir para un correcto cálculo, siguiendo los parámetros de diseño particular a cada proyecto.



## Glosario

**Modelo hidráulico:** Modelo reducido de un sistema de abastecimiento, para simular la acción que tendrá este; bajo diversas condiciones.

**Transitorio hidráulico:** Es un fenómeno repentino y temporal que ocurre en sistemas de distribución de agua cuando se produce un cambio brusco en la velocidad o en la dirección del flujo de agua. Este cambio puede ser causado por eventos como la apertura o cierre rápido de válvulas, el arranque o detención de bombas, o la ruptura de una tubería.

**Simulación Hidráulica:** Es un proceso computarizado que modela el comportamiento de un sistema hidráulico, como una red de distribución de agua, un sistema de alcantarillado, o un cuerpo de agua, utilizando principios de la hidráulica y matemáticas aplicadas.

**Pérdida de carga:** Disminución de la presión del agua en una tubería, o pérdida de la velocidad de la corriente en un cauce o canal, debido a la rugosidad de las paredes de la tubería.

**Presión de un fluido:** Es la fuerza por unidad de área ejercida por un fluido sobre el elemento que lo contiene, como las tuberías.

**Válvulas:** Elemento metálico con implemento mecánico, instalada en la descarga de una tubería a presión o en un tramo intermedio, dotada de un mecanismo que permite que una hoja de metal cierre o abra el paso de un flujo de agua.

**Celeridad de Onda:** Es la velocidad a la que se propaga una onda de presión o de flujo a lo largo de un conducto, como una tubería o un canal.



## Conclusiones

- **Conclusión N°01**

Se logró demostrar la hipótesis general, “la tubería acerojada es más eficiente que los macizos de anclaje, para soportar los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, en el proyecto Sistema Vilcanota II”. Después de haber analizado los escenarios para optar por un método de protección, para los empujes en transitorios hidráulicos podemos afirmar que el sistema de tuberías con acerojamiento, son más eficientes que los macizos de anclaje en el proyecto Sistema Vilcanota II, debido a su fácil manejo para la instalación, comportamiento frente a los empujes en transitorios hidráulicos. De igual manera, las tuberías acerojadas son más eficientes debido a su pronta disposición para las pruebas hidráulicas correspondientes.

- **Conclusión N°02**

Se logró demostrar la hipótesis específica, “la tubería acerojada no proporciona ventajas económicas frente a los macizos de anclaje”. De acuerdo al cuadro comparativo en elaboración y suministros de los macizos de anclaje y tubería acerojada, la tubería acerojada es una alternativa muy costosa. A pesar de las ventajas que ofrece la tubería acerojada, su mayor costo podría ser un factor determinante en la toma de decisiones para los responsables del proyecto Sistema Vilcanota II. Esta conclusión resalta la importancia de equilibrar la eficiencia técnica con consideraciones económicas en la selección de métodos para la construcción de infraestructuras de protección para los esfuerzos de empuje en transitorios hidráulicos en el Sistema Vilcanota II. En temas generales, la viabilidad económica de la tubería acerojada dependerá en gran medida de la disponibilidad de recursos financieros y de la prioridad otorgada a la eficiencia en la gestión de los esfuerzos de empuje. En contextos donde la eficiencia técnica y la resistencia son cruciales, la inversión adicional en tubería acerojada podría justificarse; sin embargo, en proyectos con restricciones presupuestarias estrictas, la opción de macizos de anclaje podría ser más atractiva.

- **Conclusión N°03**

Se logró demostrar la hipótesis general, “la instalación de tubería acerojada es más sencilla que los macizos de anclaje debido a los procesos constructivos que requiere”.



Tras una evaluación de la instalación de la tubería acerrojada en comparación con los macizos de anclaje, se ha demostrado de manera consistente que la tubería acerrojada presenta una notable ventaja en términos de simplicidad en los procesos constructivos. La facilidad con la que se implementa la tubería acerrojada representa no solo un ahorro significativo de tiempo, sino también una simplificación considerable de las fases de construcción, aumentando la productividad y rendimiento en obra. En términos generales, la elección de la tubería acerrojada no solo se respalda por su eficiencia técnica, sino también por la facilidad con la que puede integrarse en los procesos constructivos. Esta conclusión refuerza la posición de la tubería acerrojada como una alternativa práctica y efectiva, ofreciendo un equilibrio óptimo entre eficacia en la instalación y rendimiento en la retención de esfuerzos de empuje

- **Conclusión N°04**

Se logró demostrar la hipótesis general, “la instalación de una tubería acerrojada demuestra una mayor eficiencia espacial en comparación con la extensión de terreno requerida para los macizos de anclaje”. La investigación ha revelado de manera concluyente que la instalación de una tubería acerrojada supera significativamente a los macizos de anclaje en términos de eficiencia espacial. La capacidad de la tubería acerrojada para ocupar un espacio más reducido representa un aspecto clave en la toma de decisiones para proyectos que requieren una planificación cuidadosa del terreno, por ejemplo, como es el caso del Sistema Vilcanota II, ya que su alineamiento pasa por zonas arqueológicas, zonas urbanas, zonas en las que el espacio es reducido. En resumen, la preferencia por la tubería acerrojada sobre los macizos de anclaje se justifica no solo por su eficiencia técnica, sino también por la capacidad demostrada de maximizar la utilización del espacio disponible. Esta conclusión refuerza la posición de la tubería acerrojada como una opción altamente eficiente en términos de eficiencia espacial, lo que la convierte en una elección estratégica para proyectos que buscan optimizar el diseño y la utilización del terreno disponible.



## Sugerencias

- **Sugerencia N°01**

Para un mejor detalle para los cálculos en el dimensionamiento de los instrumentos de protección, se recomienda tener toda la información necesaria de manera ordenada, sistematizada, para no obviar ningún elemento que pueda dar como resultado un mal dimensionamiento.

- **Sugerencia N°02**

Para optar por un método, ya sea un macizo de anclaje o tubería acerrojada, se recomienda tener en cuenta el saneamiento físico legal de todo el lugar de emplazamiento del proyecto, porque como se vio en esta investigación, el área disponible para elegir entre los dos métodos de protección, depende también del espacio disponible en el proyecto.

- **Sugerencia N°03**

Se recomienda en líneas impulsión evaluar la posibilidad de sustituir las válvulas de cierre rápido y usar válvulas de cierre lento, como en la línea de Interconexión tramo reservorio R12 a la cámara Bolívar. Esta sugerencia se fundamenta en las ventajas que las válvulas de cierre lento ofrecen, como la reducción de los empujes hidráulicos, la protección de la infraestructura contra desgastes prematuros y la optimización general del rendimiento del sistema. Este cambio no solo puede traducirse en una mayor eficiencia operativa, sino también en la minimización de costos asociados al mantenimiento y una prolongación de la vida útil de los componentes.

- **Sugerencia N°04**

Se recomienda realizar las simulaciones de transitorios hidráulicos, en softwares especializados como son ALLIEVI, KYPIPE, HAMMER, para obtener un mayor detalle a la hora de simular el comportamiento de nuestro sistema hidráulico en régimen de transitorio hidráulico.

- **Sugerencia N°05**

Se recomienda realizar las simulaciones de transitorios hidráulicos en escenarios con sistemas de protección, considerando: calderines antiarriete, válvulas de aire, válvulas e



purga y válvulas de control, esto evitará un sobre dimensionamiento al momento de obtener las envolventes de nuestro sistema hidráulico.

- **Sugerencia N°06**

Se recomienda contactar con los diferentes proveedores especializados en tuberías acerrojados, como Saint Gobain, Jindal, etc., para poder obtener de estos mismos cotizaciones actualizadas y métodos modernos para el dimensionamiento que requieran los proyectos en particular.





### Referencias Bibliográficas

- **Carmona Paredes, L. G. (2017).** Transitorios hidráulicos en conductos a presión.
- **Cárdenas D., Franklin P. (2010).** “Estudios y diseños definitivos del sistema de agua potable de la comunidad de Tutucán, Cantón Paute, provincia del Azuay”
- **Soriano Olivares, J. (2011).** Simulación del comportamiento hidráulico en régimen permanente y transitorio de un tramo de red residencial de distribución de agua utilizando consumos reales.
- **Rocha Felices, A. (2007).** Hidráulica de tubería y canales.
- **Azevedo Netto, J. M. (1998).** Manual de hidráulica. Editorial Edgard Blücher LTDA. Octava edición.
- **Alayo Ruiz, M. W., & Espinoza Orosco, J. S. (2018).** Simulación hidráulica de la línea de conducción y red de distribución de agua potable aplicando el software WaterCAD en la localidad de Laredo.
- **Pozos-Estrada, O., Fuentes, O. A., Sánchez, A., Rodal, E. A., & De Luna, F. (2017).** Análisis de los efectos del aire atrapado en transitorios hidráulicos en acueductos a bombeo. *Revista Internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 33(1-2), 79-89.
- **Valencia Molina, K. J. (2020).** Caracterización y modelización de transitorios hidráulicos para tres redes de agua en alta en la provincia de Valencia.
- **Prieto, I. G. (2017).** Utilización de ventosas como elemento de protección en transitorios hidráulicos.
- **Alberola, M. C., & DEL MAR, M. A. R. Í. A. (2007).** *Estudio de la influencia de las ventosas en transitorios hidráulicos con aire atrapado* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- **Tixe, S. (2004).** Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural.
- **Soriano Oliva, J. (2012).** Influencia de las instalaciones de suministro de agua de edificios sobre el comportamiento hidráulico en régimen permanente y transitorio de la red general de distribución.
- **Bhardwaj, V., & Metzgar, C. (2001).** Reservoirs, Towers, and Tanks in Tech Brief: A National Drinking Water Clearing House Fact Sheet.
- **Giles, Ranald V. (2003).** *Mecánica de los fluidos e hidráulica: teoría y problemas*. Editorial McGraw-Hill. Tercera edición



- **Juan, D. S. (2016).** *Golpe de ariete. consecuencias y prevenciones* – *Revista Cero Grados*. <https://0grados.com/golpe-de-ariete-consecuencias-y-prevenciones/>
- **ISO. (2009).** **ISO 2531:2009.** Tuberías, accesorios y sus uniones de hierro dúctil para aplicaciones de agua o gas.
- **Saint Gobain. (2010).** Water supply and distribution
- **Bellón, D. (2010).** Curso de Hidrología e Hidráulica Aplicadas - Bombas
- **Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., Baptista Lucio, P. (2014).** Metodología de la investigación.
- **Reglamento Nacional de Edificaciones. (2019).** Lima, Peru: Instituto de la Construcción y Gerencia
- **León Zegarra, B. O. (2015).** Estudio de optimización de costos y productividad en la instalación de agua potable.
- **Hinojosa Flórez, K. L., Vigil Bravo, C.R. (2018).** Modelamiento hidráulico para la interconexión de los sistemas de abatecimiento Piuray – Vilcanota de agua potable de la ciudad del Cusco.
- **Vergara Calle, L. A. (2005).** Diseño de tubería de Impulsión para enlace de Estación de bombeo Chongón con el canal Chongón sube y baja provincia del Guayas.
- **Soriano Olivares, Javier. (2011).** Simulación del comportamiento hidráulico en régimen permanente y transitorio de un tramo de red residencial de distribución de agua utilizando consumos reales con alta resolución.
- Agua y fluido. Import SAC (s. f.). <https://www.aguayfluido.com.pe/productos/tuberas-de-hierro-ductil>
- **Labalde, B. (2021).** Importancia de los macizos de anclaje en las conducciones. EADIC
- **ML Negofer SAC. (2020).** Catálogo ML Negofer SAC 2020 [en línea]. <https://mylnegofersac.com/wp-content/uploads/2021/05/Catalogo-ML-Negofer-SAC-2020-.pdf>
- **Bermad. (2020).** Guía de productos. Edición 2020. [https://www.bermad.com/app/uploads/IR\\_Product-Guide\\_Spanish\\_1-2020.pdf](https://www.bermad.com/app/uploads/IR_Product-Guide_Spanish_1-2020.pdf)
- Charlatte. (2021). Calderines antiariete para aguas limpias. <https://antiariete.com/antiariete/limpias.html>



Apéndices

Matriz de consistencia



Título: "ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO, EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO - 2023"				
MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable n° 01	
¿La tubería acerrojada es la técnica más efectiva frente a los macizos de anclaje de concreto para resistir los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, producidos por los cambios de dirección, en el Proyecto Sistema Vilcanota II?	Comparar la eficiencia entre el uso de tuberías acerrojadas y los macizos de anclaje, para soportar los esfuerzos de empuje en transitorios hidráulicos, en el proyecto Sistema Vilcanota II.	La tubería acerrojada es más eficiente que los macizos de anclaje, para soportar los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, en el proyecto Sistema Vilcanota II.	Eficiencia	Porcentaje
Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Específica	Variable n° 02	
¿La tubería acerrojada es la técnica de resistencia a los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos que proporciona ventajas económicas frente a los macizos de anclaje?	Analizar si usar tubería acerrojada proporciona ventajas económicas frente a los macizos de anclaje para soportar los esfuerzos de empuje en transitorio hidráulico.	La tubería acerrojada no proporciona ventajas económicas frente a los macizos de anclaje.	Tubería Acerrojada: -Tubería Acerrojada Externa -Tubería Acerrojada Interna	Longitud efectiva de Tubería Acerrojada
				Diámetro Nominal
				Presión Nominal
			Variable n° 03	
¿La tubería acerrojada es la técnica de resistencia a los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, que posee mayor facilidad de instalación frente a los macizos de anclaje?	Analizar si la instalación de la tubería acerrojada es más sencilla que la instalación de macizos de anclaje para soportar los esfuerzos de empuje en transitorio hidráulico.	La instalación de tubería acerrojada es más sencilla que los macizos de anclaje debido a los procesos constructivos que requiere.	Macizos de Anclaje: -Macizo de Anclaje Horizontal -Macizo de Anclaje Vertical	Metros Cúbicos
¿La tubería acerrojada es la técnica de resistencia a los esfuerzos de empujes en transitorios hidráulicos, que posee una mejor eficiencia espacial de instalación frente a los macizos de anclaje?	Analizar la eficiencia espacial de la tubería acerrojada en comparación con los macizos de anclaje para soportar los esfuerzos de empuje en transitorio hidráulico.	La instalación de una tubería acerrojada demuestra una mayor eficiencia espacial en comparación con la extensión de terreno requerida para los macizos de anclaje.		

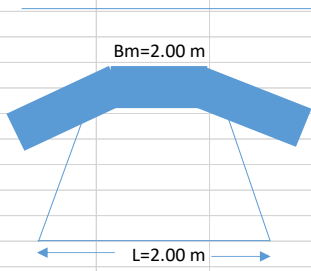
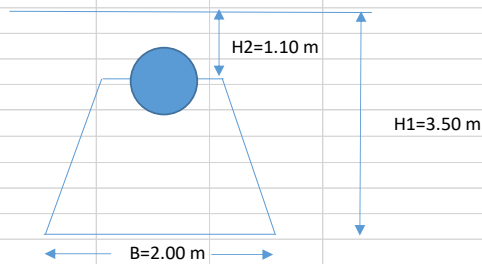


Hojas de cálculo de los macizos de anclaje tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca

I. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 90° PN 25

Figura N° 65 Hoja de cálculo macizo de Anclaje progresiva: 0+000.00km



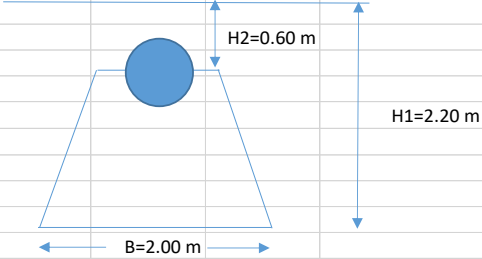
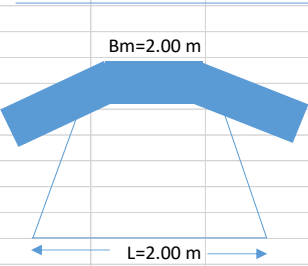
 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE			
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023				
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna				
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800
Datos					
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8		
P. prueba (Bar)	6.236	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.653		
$\alpha^\circ$	90				
k	1.00	F (Kp)	57585.1		
Reacción pasiva del suelo					
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800				
H1 (m)	3.5				
H2 (m)	1.1				
$\Theta$	35				
B	2				
<b>T<sub>g</sub> (kp) =</b>	<b>73331.1</b>				
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo					
Alt. macizo (m)	2.4				
Long. Macizo (m)	2				
Base mayor (m)	2				
Base menor (m)	2				
Area macizo (m <sup>2</sup> )	4.8				
Vc (m <sup>3</sup> )	9.6				
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100				
Vs (m <sup>3</sup> )	4.4				
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800				
f	0.57				
<b>T<sub>f</sub> (kp) =</b>	<b>16005.6</b>				
<b>T<sub>g</sub> + T<sub>f</sub> =</b>	<b>89336.7</b>	<b>1.1 F =</b>	<b>86377.65</b>		
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 \cdot F$	<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA					
RESUMEN					
PROG.	0+000.00				
B =	2.00	m			
L =	2.00	m			
H =	2.40	m			
V =	9.6	m <sup>3</sup>			





II. Accesorio: Tee E-E-B HD Ø 36" (DN 900mm – DN 600mm) PN 25



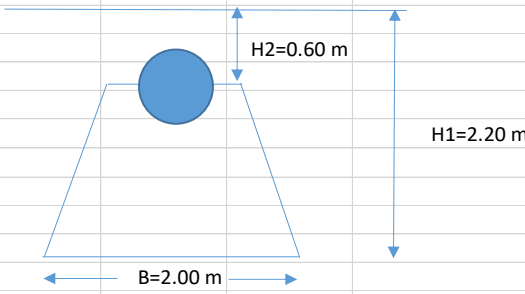
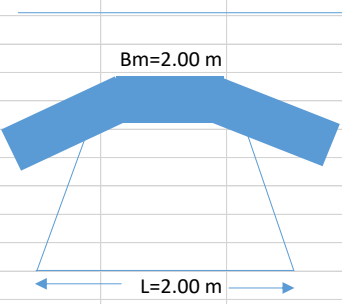
Figura N° 66 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+024.75km

		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE			
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023				
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna				
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800
Datos					
DN (mm)	600	DI (mm)	607.6		
P. prueba (Bar)	6.236	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.290		
$\alpha^\circ$	90				
k	1.00	F (Kp)	25570.93		
Reacción pasiva del suelo					
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800				
H1 (m)	2.2				
H2 (m)	0.6				
$\Theta$	35				
B	2				
<b>Tg (kp) =</b>	<b>29757.55</b>				
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo					
Alt. macizo (m)	1.6				
Long. Macizo (m)	2				
Base mayor (m)	2				
Base menor (m)	2				
Area macizo (m <sup>2</sup> )	3.2				
Vc (m <sup>3</sup> )	6.4				
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100				
Vs (m <sup>3</sup> )	2.4				
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800				
f	0.57				
<b>Tf (kp) =</b>	<b>10123.2</b>				
<b>Tg + Tf =</b>	<b>39880.75</b>	<b>1.1 F =</b>	<b>38356.395</b>		
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 \cdot F$	<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA					
RESUMEN					
PROG.	0+024.75 (T)				
B =	2.00	m			
L =	2.00	m			
H =	1.60	m			
V =	6.4	m <sup>3</sup>			



III. Accesorio: Tee E-E-B HD Ø 36" (DN 900mm – DN 600mm) PN 25



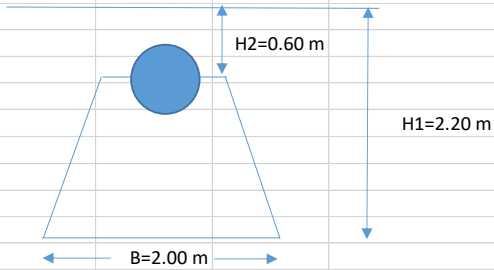
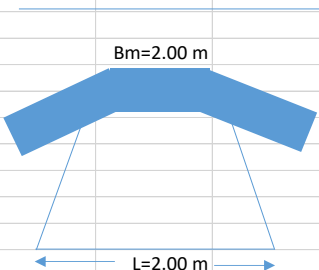
Figura N° 67 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+145.45km

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE					
PROYECTO	:	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Codo 11°15'	0.20		Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00		Material orgánico	15	0.26	1800	
<b>Datos</b>							
DN (mm)	600	DI (mm)	607.6				
P. prueba (Bar)	6.236	Sec. Int. (m2)	0.290				
α°	90						
k	1.00	F (Kp)	25570.93				
<b>Reacción pasiva del suelo</b>							
δs (kg/m3)	1800						
H1 (m)	2.2						
H2 (m)	0.6						
Θ	35						
B	2						
<b>Tg (kp) =</b>	<b>8064</b>						
<b>Fuerza de rozamiento hormigón - suelo</b>							
Alt. macizo (m)	1.6						
Long. Macizo (m)	2						
Base mayor (m)	2						
Base menor (m)	2						
Area macizo (m2)	3.2						
Vc (m3)	6.4						
δc (kg/m3)	2100						
Vs (m3)	2.4						
δs (kg/m3)	1800						
f	0.57						
<b>Tf (kp) =</b>	<b>10123.2</b>						
<b>Tg + Tf =</b>	<b>18187.2</b>	<b>1.1 F =</b>	<b>38356.395</b>				
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>No Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA							
RESUMEN							
PROG.	0+145.45 (T)						
B =	2.00	M					
L =	2.00	M					
H =	1.60	M					
V =	6.4	M3					



IV. Accesorio: Tee E-E-B HD Ø 36" (DN 900mm – DN 600mm) PN 25

Figura N° 68 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+251.95km



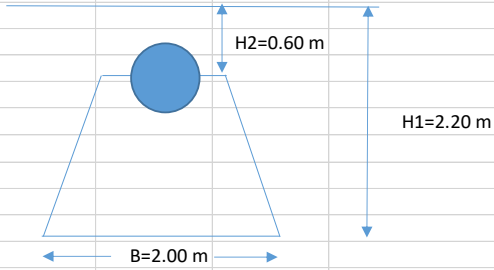
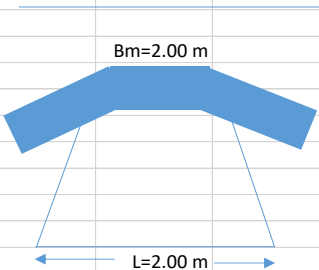
 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE		 INSTITUTO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
PROYECTO	:	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023			
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna			
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800
Datos					
DN (mm)	600	DI (mm)	607.6		
P. prueba (Bar)	6.086	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.290		
$\alpha^\circ$	90				
k	1.00	F (Kp)	24955.85		
Reacción pasiva del suelo					
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800				
H1 (m)	2.2				
H2 (m)	0.6				
$\Theta$	35				
B	2				
<b>Tg (kp) =</b>	<b>29757.55</b>				
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo					
Alt. macizo (m)	1.6				
Long. Macizo (m)	2				
Base mayor (m)	2				
Base menor (m)	2				
Area macizo (m <sup>2</sup> )	3.2				
Vc (m <sup>3</sup> )	6.4				
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100				
Vs (m <sup>3</sup> )	2.4				
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800				
f	0.57				
<b>Tf (kp) =</b>	<b>10123.2</b>				
<b>Tg + Tf =</b>	<b>39880.75</b>	<b>1.1 F =</b>	<b>37433.775</b>		
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 \cdot F$	<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA					
RESUMEN					
PROG.	0+251.95 (T)				
B =	2.00	M			
L =	2.00	M			
H =	1.60	M			
V =	6.4	M3			





V. Accesorio: Tee E-E-B HD Ø 36" (DN 900mm – DN 600mm) PN 25



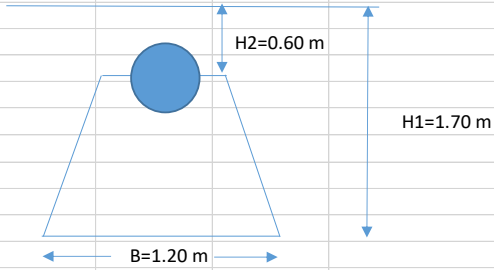
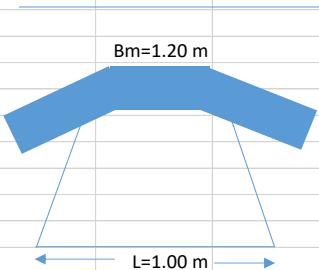
Figura N° 69 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+405.76km

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	600	DI (mm)	607.6			
P. prueba (Bar)	6.17	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.290			
$\alpha^\circ$	90					
k	1.00	F (Kp)	25300.29			
Reacción pasiva del suelo						
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800					
H1 (m)	2.2					
H2 (m)	0.6					
$\Theta$	35					
B	2					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>29757.55</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	1.6					
Long. Macizo (m)	2					
Base mayor (m)	2					
Base menor (m)	2					
Area macizo (m <sup>2</sup> )	3.2					
Vc (m <sup>3</sup> )	6.4					
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100					
Vs (m <sup>3</sup> )	2.4					
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>10123.2</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>39880.75</b>	<b>1.1 F =</b>	<b>37950.435</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$	<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	0+405.76 (T)					
B =	2.00	M				
L =	2.00	M				
H =	1.60	M				
V =	6.4	M3				



VI. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 11.25° PN 25



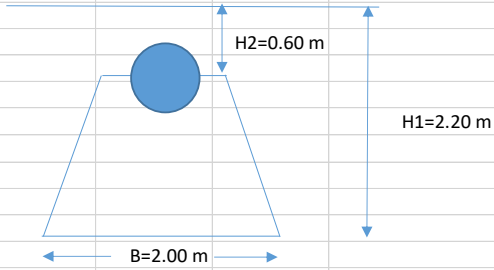
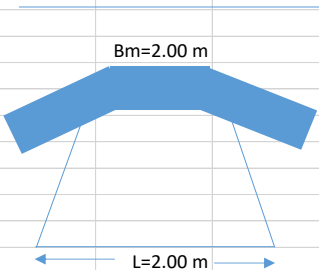
Figura N° 70 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+471.28km

		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	6.141	Sec. Int. (m2)	0.653			
α°	11.25					
k	0.20	F (Kp)	7860.68			
Reacción pasiva del suelo						
δs (kg/m3)	1800					
H1 (m)	1.7					
H2 (m)	0.6					
Θ	35					
B	1.2					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>10083.03</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	1.1					
Long. Macizo (m)	1					
Base mayor (m)	1.2					
Base menor (m)	1.2					
Area macizo (m2)	1.32					
Vc (m3)	1.32					
δc (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	0.72					
δs (kg/m3)	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>2318.76</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>12401.79</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>11791.02</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	0+471.28 (11.25°)					
B =	1.20	M				
L =	1.20	M				
H =	1.10	M				
V =	1.32	M3				



VII. Accesorio: Tee E-E-B HD Ø 36" (DN 900mm – DN 600mm) PN 25



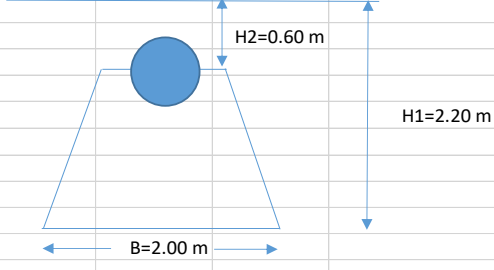
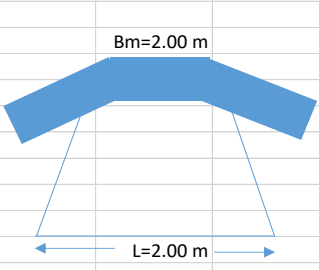
Figura N° 71 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+665.91km

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE				 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023						
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna						
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )		
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000		
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900		
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000		
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900		
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800		
Datos							
DN (mm)	600	DI (mm)	607.6				
P. prueba (Bar)	6.017	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.290				
$\alpha^\circ$	90						
k	1.00	F (Kp)	24672.91				
Reacción pasiva del suelo							
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800						
H1 (m)	2.2						
H2 (m)	0.6						
$\Theta$	35						
B	2						
<b>Tg (kp) =</b>	<b>29757.55</b>						
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo							
Alt. macizo (m)	1.6						
Long. Macizo (m)	2						
Base mayor (m)	2						
Base menor (m)	2						
Area macizo (m <sup>2</sup> )	3.2						
Vc (m <sup>3</sup> )	6.4						
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100						
Vs (m <sup>3</sup> )	2.4						
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800						
f	0.57						
<b>Tf (kp) =</b>	<b>10123.2</b>						
<b>Tg + Tf =</b>	<b>39880.75</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>37009.365</b>				
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA							
RESUMEN							
PROG.	0+665.91 (T)						
B =	2.00	M					
L =	2.00	M					
H =	1.60	M					
V =	6.4	M3					



VIII. Accesorio: Tee E-E-B HD Ø 36" (DN 900mm – DN 600mm) PN 25



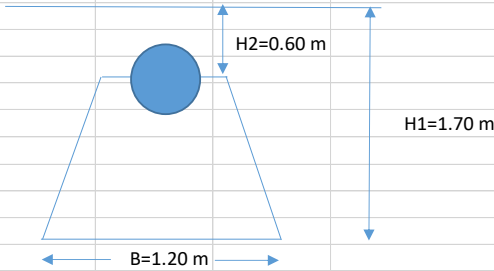
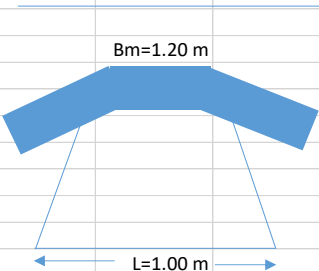
Figura N° 72 Hoja de Cálculo macizo de anclaje Progresiva: 0+821.98km

		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	600	DI (mm)	607.6			
P. prueba (Bar)	5.916	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.290			
$\alpha^\circ$	90					
k	1.00	F (Kp)	24258.76			
Reacción pasiva del suelo						
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800					
H1 (m)	2.2					
H2 (m)	0.6					
$\Theta$	35					
B	2					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>29757.55</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	1.6					
Long. Macizo (m)	2					
Base mayor (m)	2					
Base menor (m)	2					
Area macizo (m <sup>2</sup> )	3.2					
Vc (m <sup>3</sup> )	6.4					
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100					
Vs (m <sup>3</sup> )	2.4					
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>10123.2</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>39880.75</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>36388.14</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 \cdot F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	0+821.98 (T)					
B =	2.00	M				
L =	2.00	M				
H =	1.60	M				
V =	6.4	M3				



IX. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 11.25° PN 25



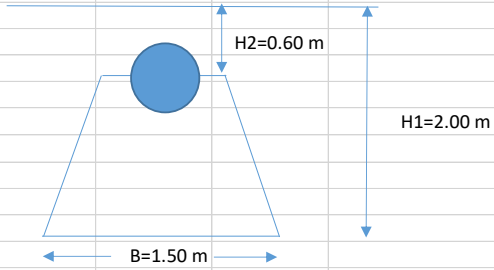
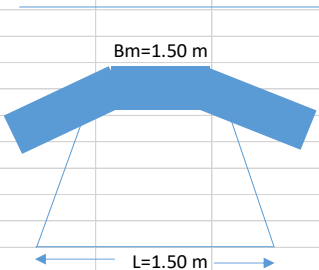
Figura N° 73 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+823.70km

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE				 CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023						
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna						
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)		
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000		
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900		
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000		
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900		
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800		
Datos							
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8				
P. prueba (Bar)	5.914	Sec. Int. (m2)	0.653				
α°	11.25	F (Kp)	7570.11				
k	0.20						
Reacción pasiva del suelo							
δs (kg/m3)	1800						
H1 (m)	1.7						
H2 (m)	0.6						
Θ	35						
B	1.2						
<b>Tg (kp) =</b>	<b>10083.03</b>						
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo							
Alt. macizo (m)	1.1						
Long. Macizo (m)	1						
Base mayor (m)	1.2						
Base menor (m)	1.2						
Area macizo (m2)	1.32						
Vc (m3)	1.32						
δc (kg/m3)	2100						
Vs (m3)	0.72						
δs (kg/m3)	1800						
f	0.57						
<b>Tf (kp) =</b>	<b>2318.76</b>						
<b>Tg + Tf =</b>	<b>12401.79</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>11355.165</b>				
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 \cdot F$		<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA							
RESUMEN							
PROG.	0+823.70 (11.25°)						
B =	1.20	M					
L =	1.20	M					
H =	1.10	M					
V =	1.32	M3					



X. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 22.5° PN 25



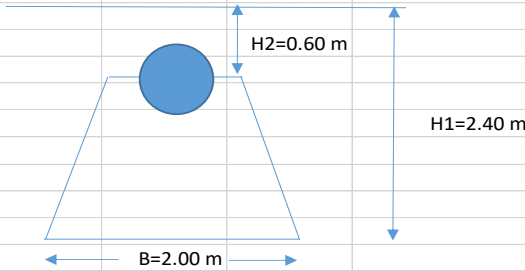
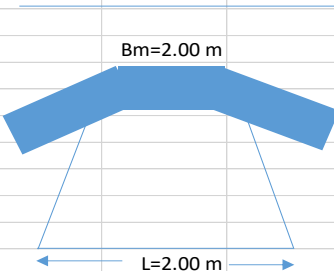
Figura N° 74 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+913.12km

		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	5.852	Sec. Int. (m2)	0.653			
α°	22.5					
k	0.39	F (Kp)	14909.36			
Reacción pasiva del suelo						
δs (kg/m3)	1800					
H1 (m)	2					
H2 (m)	0.6					
Θ	35					
B	1.5					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>18133.51</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	1.4					
Long. Macizo (m)	1.5					
Base mayor (m)	1.5					
Base menor (m)	1.5					
Area macizo (m2)	2.1					
Vc (m3)	3.15					
δc (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	1.35					
δs (kg/m3)	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>5155.65</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>23289.16</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>22364.04</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	0+913.12 (22.5°)					
B =	1.50	M				
L =	1.50	M				
H =	1.40	M				
V=	3.15	M3				



**XI. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 45° PN 25**

Figura N° 75 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+923.72km



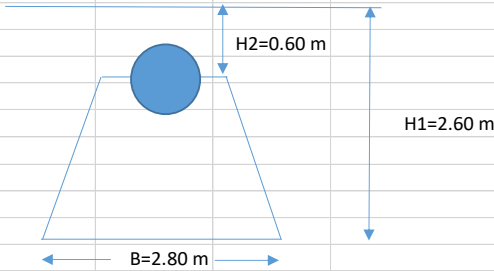
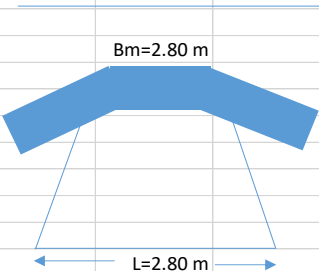
		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	5.847	Sec. Int. (m2)	0.653			
α°	45					
k	0.77	F (Kp)	29220.78			
<b>Reacción pasiva del suelo</b>						
δs (kg/m3)	1800					
H1 (m)	2.4					
H2 (m)	0.6					
Θ	35					
B	2					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>35868.48</b>					
<b>Fuerza de rozamiento hormigón - suelo</b>						
Alt. macizo (m)	1.8					
Long. Macizo (m)	2					
Base mayor (m)	2					
Base menor (m)	2					
Area macizo (m2)	3.6					
Vc (m3)	7.2					
δc (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	2.4					
δs (kg/m3)	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>11080.8</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>46949.28</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>43831.17</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1,5 F$	<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	0+923.72 (45°)					
B =	2.00	M				
L =	2.00	M				
H =	1.80	M				
V =	7.2	M3				





**XII. Accesorio: Tee E-E-E HD Ø 36" (DN 900mm – DN 900mm) PN 25**



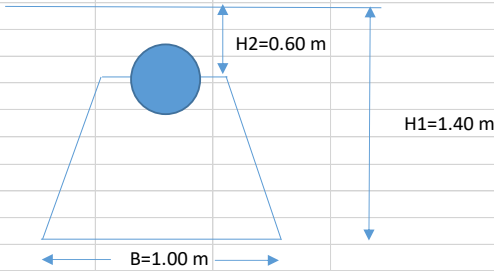
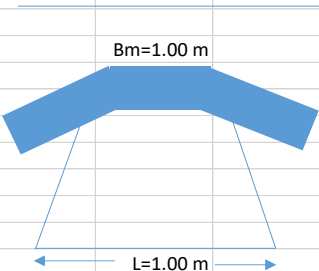
*Figura N° 76 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+935.91km*

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE				 CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA	
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023						
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna						
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )		
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000		
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900		
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000		
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900		
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800		
Datos							
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8				
P. prueba (Bar)	5.838	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.653				
$\alpha^\circ$	90						
k	1.00	F (Kp)	53909.85				
Reacción pasiva del suelo							
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800						
H1 (m)	2.6						
H2 (m)	0.6						
$\Theta$	35						
B	2.8						
<b>Tg (kp) =</b>	<b>59515.1</b>						
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo							
Alt. macizo (m)	2						
Long. Macizo (m)	2.8						
Base mayor (m)	2.8						
Base menor (m)	2.8						
Area macizo (m <sup>2</sup> )	5.6						
Vc (m <sup>3</sup> )	15.68						
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100						
Vs (m <sup>3</sup> )	4.704						
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800						
f	0.57						
<b>Tf (kp) =</b>	<b>23595.26</b>						
<b>Tg + Tf =</b>	<b>83110.36</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>80864.775</b>				
Condición:	$T_t + T_r \geq 1,5 \cdot F$		<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA							
RESUMEN							
PROG.	0+935.91 (T)						
B =	2.80	M					
L =	2.80	M					
H =	2.00	M					
V =	15.68	M3					



XIII. Accesorio: Reducción HD Ø 36" (DN 900mm – DN 700mm) PN 25



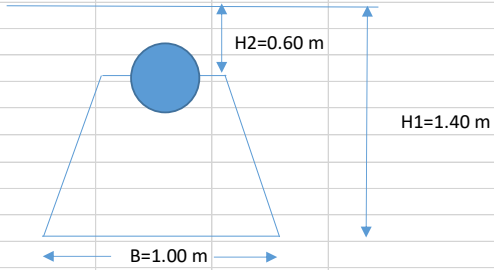
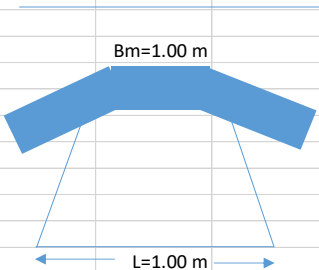
Figura N° 77 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 0+990.65km

 Universidad Andina del Cusco		CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE				 CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI1 (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	5.838	DI2 (mm)	710.4			
α°	11.25	Sec. Int. (m2)	0.257			
k	0.20	F (Kp)	2936.63			
Reacción pasiva del suelo						
δs (kg/m3)	1800					
H1 (m)	1.4					
H2 (m)	0.6					
Θ	35					
B	1					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>5313.85</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	0.8					
Long. Macizo (m)	1					
Base mayor (m)	1					
Base menor (m)	1					
Area macizo (m2)	0.8					
Vc (m3)	0.8					
δc (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	0.6					
δs (kg/m3)	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>1573.2</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>6887.05</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>4404.945</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1,5 \cdot F$	<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	0+990.65 (R)					
B =	1.00	M				
L =	1.00	M				
H =	0.80	M				
V =	0.8	M3				



**XIV. Accesorio: Reducción HD Ø 36" (DN 900mm – DN 700mm) PN 25**



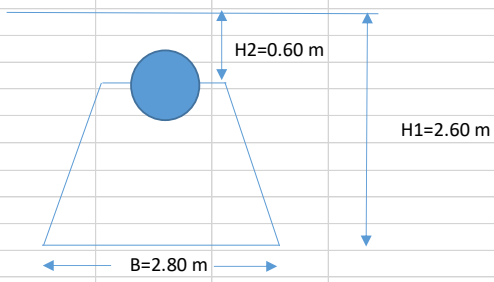
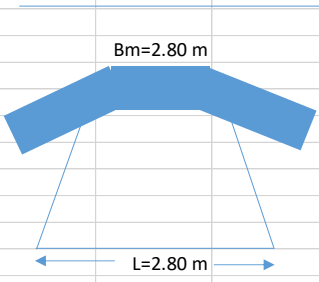
*Figura N° 78 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+127.85km*

 Universidad Andina del Cusco		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				 COLEGIO PROFESIONAL DE INGENIEROS	
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023						
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna						
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m3)		
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000		
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900		
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000		
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900		
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800		
Datos							
DN (mm)	900	DI1 (mm)	911.8				
P. prueba (Bar)	5.838	DI2 (mm)	710.4				
$\alpha^\circ$	11.25	Sec. Int. (m2)	0.257				
k	0.20	F (Kp)	2936.63				
Reacción pasiva del suelo							
$\delta_s$ (kg/m3)	1800						
H1 (m)	1.4						
H2 (m)	0.6						
$\Theta$	35						
B	1						
<b>Tg (kp) =</b>	<b>5313.85</b>						
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo							
Alt. macizo (m)	0.8						
Long. Macizo (m)	1						
Base mayor (m)	1						
Base menor (m)	1						
Area macizo (m2)	0.8						
Vc (m3)	0.8						
$\delta_c$ (kg/m3)	2100						
Vs (m3)	0.6						
$\delta_s$ (kg/m3)	1800						
f	0.57						
<b>Tf (kp) =</b>	<b>1573.2</b>						
<b>Tg + Tf =</b>	<b>6887.05</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>4404.945</b>				
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA							
RESUMEN							
PROG.	1+127.85 (R)						
B =	1.00	M					
L =	1.00	M					
H =	0.80	M					
V =	0.8	M3					



XV. Accesorio: Tee E-E-E HD Ø 36" (DN 900mm – DN 900mm) PN 25



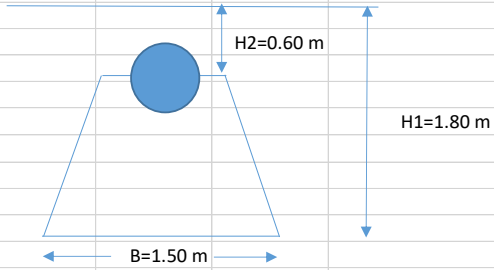
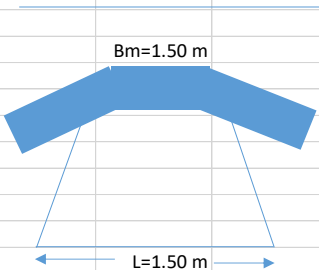
Figura N° 79 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+150.10km

		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>					
PROYECTO	:	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )		
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000		
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900		
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000		
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900		
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800		
Datos							
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8				
P. prueba (Bar)	5.137	Sec. Int. (m <sup>2</sup> )	0.653				
$\alpha^\circ$	90						
k	1.00	F (Kp)	47436.61				
Reacción pasiva del suelo							
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800						
H1 (m)	2.6						
H2 (m)	0.6						
$\Theta$	35						
B	2.8						
<b>Tg (kp) =</b>	<b>59515.1</b>						
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo							
Alt. macizo (m)	2						
Long. Macizo (m)	2.8						
Base mayor (m)	2.8						
Base menor (m)	2.8						
Area macizo (m <sup>2</sup> )	5.6						
Vc (m <sup>3</sup> )	15.68						
$\delta_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	2100						
Vs (m <sup>3</sup> )	4.704						
$\delta_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	1800						
f	0.57						
<b>Tf (kp) =</b>	<b>23595.26</b>						
<b>Tg + Tf =</b>	<b>83110.36</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>71154.915</b>				
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 \cdot F$	<b>Cumple</b>					
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA							
RESUMEN							
PROG.	1+150.10 (T)						
B =	2.80	M					
L =	2.80	M					
H =	2.00	M					
V =	15.68	M3					



XVI. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 22.5° PN 25



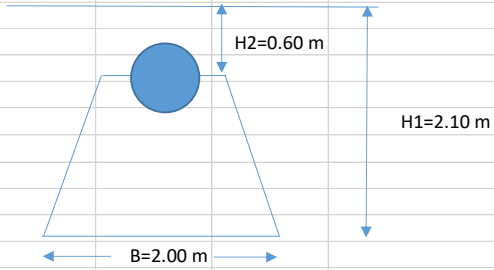
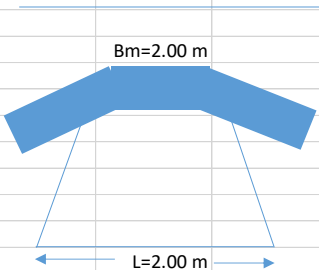
Figura N° 80 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+322.08km

		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	4.297	Sec. Int. (m2)	0.653			
$\alpha^\circ$	22.5					
k	0.39	F (Kp)	10947.63			
Reacción pasiva del suelo						
$\delta_s$ (kg/m3)	1800					
H1 (m)	1.8					
H2 (m)	0.6					
$\Theta$	35					
B	1.5					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>14347.39</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	1.2					
Long. Macizo (m)	1.5					
Base mayor (m)	1.5					
Base menor (m)	1.5					
Area macizo (m2)	1.8					
Vc (m3)	2.7					
$\delta_c$ (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	1.35					
$\delta_s$ (kg/m3)	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>4617</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>18964.39</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>16421.445</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	1+322.08 (22.5°)					
B =	1.50	M				
L =	1.50	M				
H =	1.20	M				
V =	2.7	M3				



**XVII. Accesorio Vertical: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 11.25° PN 25**



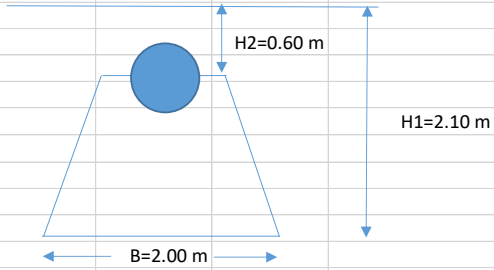
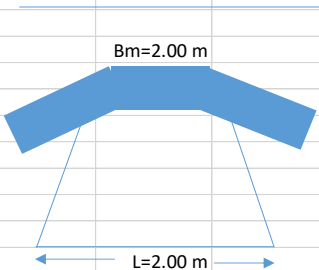
Figura N° 81 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+332.73km

		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	4.543	Sec. Int. (m2)	0.653			
α°	11.25					
k	0.20	F (Kp)	5815.19			
Reacción pasiva del suelo						
δs (kg/m3)	1800					
H1 (m)	2.1					
H2 (m)	0.6					
Θ	35					
B	2					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>26901.36</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	1.5					
Long. Macizo (m)	2					
Base mayor (m)	2					
Base menor (m)	2					
Area macizo (m2)	3					
Vc (m3)	6					
δc (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	2.4					
δs (kg/m3)	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>9644.4</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>36545.76</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>8722.785</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$	<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	1+332.73 (11.25°)					
B =	2.00	M				
L =	2.00	M				
H =	1.50	M				
V =	6	M3				



**XVIII. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 11.25° PN 25**

Figura N° 82 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 1+337.96km



		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	4.543	Sec. Int. (m2)	0.653			
α°	45					
k	0.77	F (Kp)	22703.95			
Reacción pasiva del suelo						
δs (kg/m3)	1800					
H1 (m)	2.1					
H2 (m)	0.6					
Θ	35					
B	2					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>26901.36</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	1.5					
Long. Macizo (m)	2					
Base mayor (m)	2					
Base menor (m)	2					
Area macizo (m2)	3					
Vc (m3)	6					
δc (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	2.4					
δs (kg/m3)	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>9644.4</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>36545.76</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>34055.925</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	1+337.96 (45°)					
B =	2.00	M				
L =	2.00	M				
H =	1.50	M				
V =	6	M3				

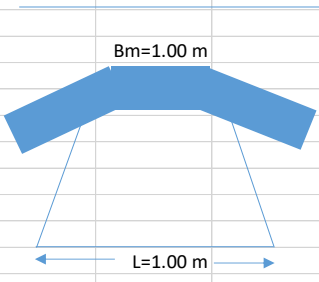
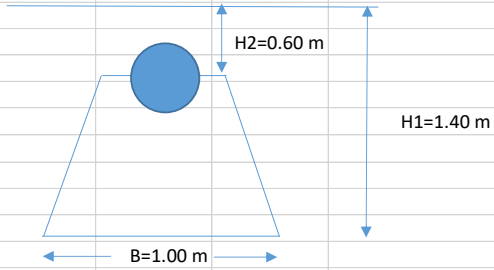




**XIX. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 22.5° PN 25**

*Figura N° 83 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+562.50km*



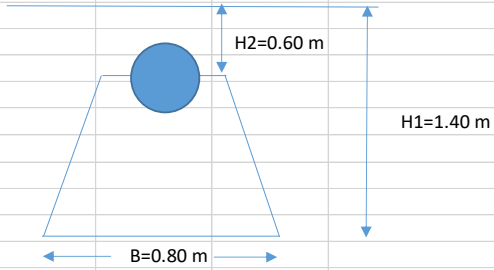
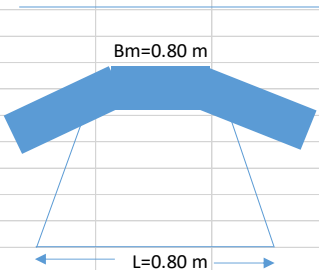
		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	1.524	Sec. Int. (m2)	0.653			
α°	22.5					
k	0.39	F (Kp)	3882.75			
Reacción pasiva del suelo						
δs (kg/m3)	1800					
H1 (m)	1.4					
H2 (m)	0.6					
Θ	35					
B	1					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>5313.85</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	0.8					
Long. Macizo (m)	1					
Base mayor (m)	1					
Base menor (m)	1					
Area macizo (m2)	0.8					
Vc (m3)	0.8					
δc (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	0.6					
δs (kg/m3)	1800					
f	0.57					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>1573.2</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>6887.05</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>5824.125</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	2+562.50 (22.5°)					
B =	1.00	M				
L =	1.00	M				
H =	0.80	M				
V =	0.8	M3				





**XX. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 11.25° PN 25**



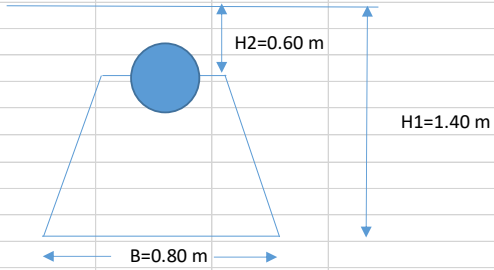
*Figura N° 84 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+630.79km*

 Universidad Andina del Cusco		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023</b>					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	1.098	Sec. Int. (m2)	0.653			
$\alpha^\circ$	11.25					
k	0.20	F (Kp)	1405.48			
Reacción pasiva del suelo						
$\delta_s$ (kg/m3)	1800					
H1 (m)	1.4					
H2 (m)	0.6					
$\Theta$	30					
B	0.8					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>3456</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	0.8					
Long. Macizo (m)	0.8					
Base mayor (m)	0.8					
Base menor (m)	0.8					
Area macizo (m2)	0.64					
Vc (m3)	0.512					
$\delta_c$ (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	0.384					
$\delta_s$ (kg/m3)	1800					
f	0.5					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>883.2</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>4339.2</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>2108.22</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	2+630.79 (11.25°)					
B =	0.80	M				
L =	0.80	M				
H =	0.80	M				
V=	0.512	M3				



**XXI. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 22.5° PN 25**



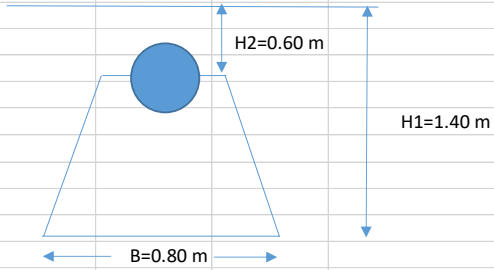
Figura N° 85 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+749.22km

 Universidad Andina del Cusco		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	1.252	Sec. Int. (m2)	0.653			
α°	22.5					
k	0.39	F (Kp)	3189.77			
Reacción pasiva del suelo						
δs (kg/m3)	1800					
H1 (m)	1.4					
H2 (m)	0.6					
Θ	40					
B	0.8					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>5297.94</b>					
						
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	0.8					
Long. Macizo (m)	0.8					
Base mayor (m)	0.8					
Base menor (m)	0.8					
Area macizo (m2)	0.64					
Vc (m3)	0.512					
δc (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	0.384					
δs (kg/m3)	1800					
f	0.64					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>1130.5</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>6428.44</b>		<b>1.5 F =</b>	<b>4784.655</b>		
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	2+749.22 (22.5°)					
B =	0.80	M				
L =	0.80	M				
H =	0.80	M				
V=	0.512	M3				



**XXII. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 22.5° PN 25**



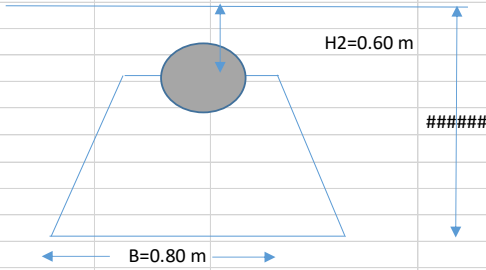
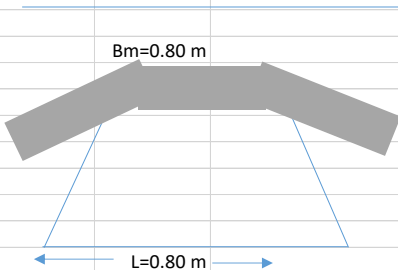
Figura N° 86 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+798.98km

 Universidad Andina del Cusco		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>					
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023						
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna						
Accesorio	k	Tipo de terreno	Θ	f = sen(Θ)	δs (kg/m3)		
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000		
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900		
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000		
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900		
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800		
Datos							
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8				
P. prueba (Bar)	1.369	Sec. Int. (m2)	0.653				
α°	22.5						
k	0.39						
		F (Kp)	3487.85				
Reacción pasiva del suelo							
δs (kg/m3)	1800						
H1 (m)	1.4						
H2 (m)	0.6						
Θ	40						
B	0.8						
<b>Tg (kp) =</b>	<b>5297.94</b>						
							
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo							
Alt. macizo (m)	0.8						
Long. Macizo (m)	0.8						
Base mayor (m)	0.8						
Base menor (m)	0.8						
Area macizo (m2)	0.64						
Vc (m3)	0.512						
δc (kg/m3)	2100						
Vs (m3)	0.384						
δs (kg/m3)	1800						
f	0.64						
<b>Tf (kp) =</b>	<b>1130.5</b>						
<b>Tg + Tf =</b>	<b>6428.44</b>		<b>1.5 F =</b>	<b>5231.775</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>				
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA							
RESUMEN							
PROG.	2+798.98 (22.5°)						
B =	0.80	M					
L =	0.80	M					
H =	0.80	M					
V=	0.512	M3					



**XXIII. Accesorio: Codo HD Ø 36" (DN 900mm) x 45° PN 25**

Figura N° 87 Hoja de Cálculo macizo de anclaje progresiva: 2+825.50km

 Universidad Andina del Cusco		<b>CÁLCULO DE MACIZO DE ANCLAJE</b>				
PROYECTO :	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023					
RESPONSABLE :	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna					
Accesorio	k	Tipo de terreno	$\Theta$	$f = \text{sen}(\Theta)$	$\delta_s$ (kg/m3)	
Codo 90	1.43	Roca fragmentada	40	0.64	2000	
Codo 45	0.77	Grava / arena	35	0.57	1900	
Codo 22°30'	0.39	Arena / grava	30	0.5	2000	
Codo 11°15'	0.20	Limos / arcillas	25	0.42	1900	
Tee 90° y Tapones	1.00	Material orgánico	15	0.26	1800	
Datos						
DN (mm)	900	DI (mm)	911.8			
P. prueba (Bar)	1.256	Sec. Int. (m2)	0.653			
$\alpha^\circ$	45					
k	0.77	F (Kp)	6276.95			
Reacción pasiva del suelo						
$\delta_s$ (kg/m3)	1800					
H1 (m)	1.8					
H2 (m)	0.6					
$\Theta$	40					
B	0.8					
<b>Tg (kp) =</b>	<b>9536.3</b>					
Fuerza de rozamiento hormigón - suelo						
Alt. macizo (m)	1.2					
Long. Macizo (m)	0.8					
Base mayor (m)	0.8					
Base menor (m)	0.8					
Area macizo (m2)	0.96					
Vc (m3)	0.768					
$\delta_c$ (kg/m3)	2100					
Vs (m3)	0.384					
$\delta_s$ (kg/m3)	1800					
f	0.64					
<b>Tf (kp) =</b>	<b>1474.56</b>					
<b>Tg + Tf =</b>	<b>11010.86</b>	<b>1.5 F =</b>	<b>9415.425</b>			
Condición:	$T_g + T_f \geq 1.5 F$		<b>Cumple</b>			
L. IMPUL. PIÑIPAMPA A E.B. RUMICOLCA						
RESUMEN						
PROG.	2+814.31 (45°)					
B =	0.80	M				
L =	0.80	M				
H =	1.20	M				
V=	0.768	M3				



Hojas de cálculo de la tubería acerrojada línea de Impulsión

Figura N° 88 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 01

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																				
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																				
TRAMO		E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA										ACCESORIOS			HORIZONTALES							
DATOS										REVESTIMIENTO DE TUBO		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"								
Coeficiente Seguridad		C	1.2	Zinc + Pintura Bituminosa		α1	90.00°		0.7854													
Diámetro Nominal Tub.		DN	900 mm	Poliétileno o Poliuretano		2/3	45.00°		0.4880													
Diámetro Exterior Tub.		D ext.	945 mm				22.50°		0.2734													
Coeficiente de Repartición de las Presiones		K	1.1				11.25°		0.1450													
Peso Métrico del Tubo Vacío		Wp	2708.58 N/m																			
Peso Métrico del Agua		Ww	6403.35 N/m																			
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA										TIPO DE PRUEBA												
Longitud Útil de Tubería Junta Standart		Lu	7 m	Junta Bajo Relleno		α2																
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada		La	6.87 m	Junta al Descubierta		2/3																
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUEBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fr" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN		
1	0+036.57	45.00°	42.00°	1950	3.712	2.767	0.701	168.934	16.893	2,189,335	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	50,003	79,747	0.4880	11.28	2	13.74	ACERROJADA
2	0+062.56	11.25°	42.00°	1950	3.481	2.536	0.701	161.741	16.174	2,117,415	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	45,828	73,646	0.1450	3.51	1	6.87	ACERROJADA
3	0+075.54	22.50°	42.00°	1950	2.524	1.579	0.701	158.155	15.815	2,081,547	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28,534	48,367	0.2734	9.90	2	13.74	ACERROJADA
4	0+410.00	45.00°	42.00°	1950	2.058	1.113	0.701	154.795	15.480	2,047,950	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	20,113	36,058	0.4880	23.33	4	27.48	ACERROJADA
5	0+426.32	45.00°	42.00°	1950	2.529	1.584	0.701	139.890	13.989	1,898,897	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28,625	48,499	0.4880	16.08	3	20.61	ACERROJADA
6	0+525.84	22.50°	42.00°	1950	2.567	1.622	0.701	137.015	13.702	1,870,154	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	29,311	49,503	0.2734	8.69	2	13.74	ACERROJADA
7	0+549.37	11.25°	42.00°	1950	3.930	2.985	0.701	136.339	13.634	1,863,387	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	53,942	85,506	0.1450	2.66	1	6.87	ACERROJADA
8	0+576.29	22.50°	42.00°	1950	2.324	1.379	0.701	136.175	13.617	1,861,750	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	24,920	43,084	0.2734	9.94	2	13.74	ACERROJADA
9	0+600.52	22.50°	42.00°	1950	2.669	1.724	0.701	135.800	13.580	1,857,996	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	31,155	52,197	0.2734	8.19	2	13.74	ACERROJADA
10	0+610.07	11.25°	42.00°	1950	2.364	1.419	0.701	135.662	13.566	1,856,624	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	25,643	44,141	0.1450	5.13	1	6.87	ACERROJADA
11	0+656.50	11.25°	42.00°	1950	2.188	1.243	0.701	135.826	13.583	1,858,259	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	22,462	39,492	0.1450	5.74	1	6.87	ACERROJADA
12	0+686.77	22.50°	42.00°	1950	2.281	1.336	0.701	135.916	13.592	1,859,162	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	24,143	41,949	0.2734	10.20	2	13.74	ACERROJADA
13	0+729.36	22.50°	42.00°	1950	2.249	1.304	0.701	135.174	13.517	1,851,735	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	23,565	41,103	0.2734	10.37	2	13.74	ACERROJADA
14	0+777.41	11.25°	42.00°	1950	2.245	1.300	0.701	133.887	13.389	1,838,870	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	23,492	40,998	0.1450	5.48	1	6.87	ACERROJADA
15	0+794.03	11.25°	42.00°	1950	2.226	1.281	0.701	133.425	13.342	1,834,248	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	23,149	40,496	0.1450	5.53	1	6.87	ACERROJADA
16	0+817.87	11.25°	42.00°	1950	2.192	1.247	0.701	132.907	13.291	1,829,071	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	22,535	39,598	0.1450	5.64	1	6.87	ACERROJADA
17	0+845.59	11.25°	42.00°	1950	2.202	1.257	0.701	132.774	13.277	1,827,736	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	22,715	39,862	0.1450	5.60	1	6.87	ACERROJADA
18	0+902.10	11.25°	42.00°	1950	2.946	2.001	0.701	130.100	13.010	1,800,996	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	36,160	59,514	0.1450	3.69	1	6.87	ACERROJADA
19	0+930.31	11.25°	42.00°	1950	2.664	1.719	0.701	129.501	12.950	1,795,005	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	31,064	52,065	0.1450	4.21	1	6.87	ACERROJADA
20	0+946.65	22.50°	42.00°	1950	3.180	2.235	0.701	128.645	12.864	1,786,445	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	40,389	65,695	0.2734	6.26	1	6.87	ACERROJADA



Figura N° 89 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 02

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO																				UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
PROYECTO	:	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																					
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																					
TRAMO	:	E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA														ACCESORIOS				:	HORIZONTALES		
DATOS								REVESTIMIENTO DE TUBO				α1		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"							
Coficiente Seguridad		C	1.2					Zinc + Pintura Bituminosa			1			90.00°		0.7854							
Diametro Nominal Tub.		DN	900	mm				Poliuretano o Poliuretano			2/3			45.00°		0.4880							
Diametro Exterior Tub.		D ext.	945	mm										22.50°		0.2734							
Coficiente de Repartición de las Presiones		K	1.1											11.25°		0.1450							
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA								TIPO DE PRUEBA				α2											
Longitud Útil de Tubería Junta Standart		Lu	7	m				Junta Bajo Relleno			1												
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada		La	6.87	m				Junta al Descubierta			2/3												
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUEBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (Q2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (Q1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "Wv" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fr" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN			
21	1+108.92	11.25°	42.00°	1950	2.731	1.786	0.701	126.196	12.620	1,761,958	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	32,275	53,835	0.1450	4.00	1	6.87	ACERROJADA	
22	1+168.00	11.25°	42.00°	1950	3.032	2.087	0.701	130.379	13.038	1,803,793	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	37,714	61,786	0.1450	3.56	1	6.87	ACERROJADA	
23	1+296.60	11.25°	42.00°	1950	2.822	1.877	0.701	119.085	11.908	1,690,848	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	33,919	56,239	0.1450	3.67	1	6.87	ACERROJADA	
24	1+352.44	11.25°	42.00°	1950	3.007	2.062	0.701	111.036	11.104	1,610,355	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	37,263	61,125	0.1450	3.22	1	6.87	ACERROJADA	
25	1+408.02	11.25°	42.00°	1950	2.933	1.988	0.701	111.347	11.135	1,613,473	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	35,925	59,171	0.1450	3.33	1	6.87	ACERROJADA	
26	2+462.01	11.25°	42.00°	1950	2.100	1.155	0.701	114.364	11.436	1,643,640	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	20,872	37,168	0.1450	5.40	1	6.87	ACERROJADA	
27	2+491.61	11.25°	42.00°	1950	3.771	2.826	0.701	112.419	11.242	1,624,194	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	51,069	81,306	0.1450	2.44	1	6.87	ACERROJADA	
28	2+839.13	11.25°	42.00°	1950	2.383	1.438	0.701	103.397	10.340	1,533,968	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	25,986	44,643	0.1450	4.19	1	6.87	ACERROJADA	
29	2+871.35	11.25°	42.00°	1950	2.397	1.452	0.701	92.806	9.281	1,392,089	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	26,239	45,013	0.1450	3.78	1	6.87	ACERROJADA	
30	2+898.89	11.25°	42.00°	1950	2.472	1.527	0.701	78.892	7.889	1,183,379	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	27,595	46,994	0.1450	3.07	1	6.87	ACERROJADA	
31	2+913.36	11.25°	42.00°	1950	2.361	1.416	0.701	73.203	7.320	1,098,039	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	25,589	44,062	0.1450	3.04	1	6.87	ACERROJADA	
32	2+942.39	11.25°	42.00°	1950	2.230	1.285	0.701	72.862	7.286	1,092,933	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	23,221	40,601	0.1450	3.29	1	6.87	ACERROJADA	
33	3+567.49	22.50°	42.00°	1950	2.436	1.491	0.701	93.655	9.365	1,404,824	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	26,944	46,043	0.2734	7.02	2	13.74	ACERROJADA	
34	3+581.75	22.50°	42.00°	1950	1.973	1.028	0.701	94.275	9.427	1,414,118	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	18,577	33,813	0.2734	9.62	2	13.74	ACERROJADA	
35	3+653.03	22.50°	42.00°	1950	1.983	1.038	0.701	96.985	9.698	1,454,770	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	18,758	34,077	0.2734	9.82	2	13.74	ACERROJADA	
36	3+666.20	22.50°	42.00°	1950	2.001	1.056	0.701	97.504	9.750	1,462,556	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	19,083	34,553	0.2734	9.74	2	13.74	ACERROJADA	
37	3+765.15	11.25°	42.00°	1950	2.591	1.646	0.701	101.222	10.122	1,512,221	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	29,745	50,137	0.1450	3.68	1	6.87	ACERROJADA	
38	4+676.90	11.25°	42.00°	1950	2.500	1.555	0.701	138.210	13.821	1,882,104	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28,101	47,733	0.1450	4.81	1	6.87	ACERROJADA	
39	4+798.36	11.25°	42.00°	1950	2.456	1.511	0.701	142.840	14.284	1,928,402	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	27,305	46,571	0.1450	5.05	1	6.87	ACERROJADA	
40	4+837.62	11.25°	42.00°	1950	2.030	1.085	0.701	144.219	14.422	1,942,191	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	19,607	35,319	0.1450	6.71	1	6.87	ACERROJADA	





Figura N° 90 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 03

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																				
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Amau Cuscina																				
TRAMO		E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA												ACCESORIOS			HORIZONTALES					
DATOS						REVESTIMIENTO DE TUBO			α1		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"									
Coeficiente Seguridad		C	1.2			Zinc + Pintura Bituminosa			1		90.00°		0.7854									
Diámetro Nominal Tub.		DN	900	mm		Poliuretano o Poliuretano			2/3		45.00°		0.4880									
Diámetro Exterior Tub.		D ext.	945	mm							22.50°		0.2734									
Coeficiente de Repartición de las Presiones		K	1.1			TIPO DE PRUEBA			α2		11.25°		0.1450									
Peso Métrico del Tubo Vacío		Wp	2708.58	N/m		Junta Bajo Relleno			1													
Peso Métrico del Agua		Ww	6403.35	N/m		Junta al Descubierta			2/3													
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA																						
Longitud Útil de Tubería Junta Standart		Lu	7	m																		
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada		La	6.87	m																		
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUEBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fn" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN		
41	4+889.07	11.25°	42.00°	1950	2.074	1.129	0.701	145.946	14.595	1,959,459	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	20,402	36,481	0.1450	6.56	1	6.87	ACERROJADA
42	4+979.27	11.25°	42.00°	1950	2.258	1.313	0.701	149.038	14.904	1,990,377	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	23,727	41,341	0.1450	5.88	1	6.87	ACERROJADA
43	4+994.14	11.25°	42.00°	1950	2.512	1.567	0.701	149.535	14.953	1,995,348	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28,317	48,050	0.1450	5.07	1	6.87	ACERROJADA
44	5+033.94	11.25°	42.00°	1950	2.402	1.457	0.701	150.745	15.074	2,007,447	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	26,330	45,145	0.1450	5.43	1	6.87	ACERROJADA
45	5+037.94	45.00°	42.00°	1950	2.500	1.555	0.701	150.872	15.087	2,008,725	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28,101	47,733	0.4880	17.28	3	20.61	ACERROJADA
46	5+102.80	22.50°	12.00°	2100	1.871	0.926	0.701	180.551	18.055	2,305,510	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	18,021	8,401	0.2734	63.15	10	68.7	ACERROJADA
47	5+103.80	11.25°	12.00°	2100	2.005	1.06	0.701	180.996	18.100	2,309,960	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	20,629	9,371	0.1450	30.09	5	34.35	ACERROJADA
48	5+317.19	45.00°	12.00°	2100	1.866	0.921	0.701	182.672	18.267	2,326,720	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	17,924	8,365	0.4880	114.24	17	116.79	ACERROJADA
49	5+347.45	11.25°	12.00°	2100	2.675	1.73	0.701	182.762	18.276	2,327,620	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	33,668	14,223	0.1450	19.98	3	20.61	ACERROJADA
50	5+574.01	11.25°	12.00°	2100	2.500	1.555	0.701	181.950	18.195	2,319,500	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	30,262	12,956	0.1450	21.86	4	27.48	ACERROJADA
51	5+607.55	11.25°	12.00°	2100	2.423	1.478	0.701	181.862	18.186	2,318,620	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	28,764	12,398	0.1450	22.83	4	27.48	ACERROJADA
52	6+067.98	11.25°	12.00°	2100	2.611	1.666	0.701	180.997	18.100	2,309,970	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	32,422	13,760	0.1450	20.49	3	20.61	ACERROJADA
53	6+088.47	11.25°	12.00°	2100	2.509	1.564	0.701	181.007	18.101	2,310,070	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	30,437	13,021	0.1450	21.66	4	27.48	ACERROJADA
54	6+268.62	22.50°	12.00°	2100	2.415	1.47	0.701	179.304	17.930	2,293,040	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	28,608	12,340	0.2734	42.76	7	48.09	ACERROJADA
55	6+300.38	11.25°	12.00°	2100	2.365	1.42	0.701	179.039	17.904	2,290,390	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	27,635	11,978	0.1450	23.34	4	27.48	ACERROJADA
56	6+373.32	11.25°	12.00°	2100	2.289	1.344	0.701	179.077	17.908	2,290,770	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	26,156	11,428	0.1450	24.47	4	27.48	ACERROJADA
57	6+388.17	45.00°	12.00°	2100	2.147	1.202	0.701	178.908	17.891	2,289,080	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	23,392	10,400	0.4880	90.40	14	96.18	ACERROJADA
58	6+419.60	45.00°	12.00°	2100	2.423	1.478	0.701	178.562	17.856	2,285,620	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	28,764	12,398	0.4880	75.72	12	82.44	ACERROJADA
59	6+531.16	45.00°	12.00°	2100	2.500	1.555	0.701	177.674	17.767	2,276,739	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	30,262	12,956	0.4880	72.17	11	75.57	ACERROJADA
60	6+546.57	45.00°	12.00°	2100	2.499	1.554	0.701	177.509	17.751	2,275,092	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	30,243	12,949	0.4880	72.16	11	75.57	ACERROJADA

Figura N° 91 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 04



**CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO**

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																											
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Ama Cuscuna																											
TRAMO		E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA											ACCESORIOS			HORIZONTALES													
DATOS											REVESTIMIENTO DE TUBO		α1		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"												
Coeficiente Seguridad		C	1.2								Zinc + Pintura Bituminosa		1	90.00°		0.7854													
Diámetro Nominal Tub.		DN	900	mm									Poliuretano o Poliuretano		2/3	45.00°		0.4880											
Diámetro Exterior Tub.		D ext.	945	mm												22.50°		0.2734											
Coeficiente de Repartición de las Presiones		K	1.1								TIPO DE PRUEBA		α2		11.25°		0.1450												
Peso Métrico del Tubo Vacío		Wp	2708.58	N/m									Junta Bajo Relleno		1														
Peso Métrico del Agua		Ww	6403.35	N/m									Junta al Descubierta		2/3														
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA																													
Longitud Útil de Tubería Junta Standard		Lu	7	m																									
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada		La	6.87	m																									
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUEBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fn" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN									
61	6+571.92	22.50°	12.00°	2100	2.306	1.361	0.701	177.841	17.784	2,278,413	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	26,487	11,551	0.2734	45.39	7	48.09	ACERROJADA							
62	7+716.48	11.25°	12.00°	2100	2.406	1.461	0.701	172.033	17.203	2,220,331	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	28,433	12,275	0.1450	22.08	4	27.48	ACERROJADA							
63	7+838.49	45.00°	12.00°	2100	2.933	1.988	0.701	169.296	16.930	2,192,956	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	38,689	16,091	0.4880	55.97	9	61.83	ACERROJADA							
64	7+861.19	45.00°	12.00°	2100	2.500	1.555	0.701	169.006	16.901	2,190,061	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	30,262	12,956	0.4880	69.43	11	75.57	ACERROJADA							
65	9+731.26	45.00°	24.00°	2100	2.285	1.34	0.701	159.051	15.905	2,090,510	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.35	Junta Bajo Relleno	1	26,078	23,469	0.4880	36.58	6	41.22	ACERROJADA							
66	9+744.02	45.00°	31.00°	2010	2.431	1.486	0.701	158.976	15.898	2,089,760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	27,680	32,769	0.4880	26.19	4	27.48	ACERROJADA							
67	9+845.89	45.00°	31.00°	2010	2.313	1.368	0.701	158.943	15.894	2,089,427	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	25,482	30,535	0.4880	28.10	5	34.35	ACERROJADA							
68	9+854.19	45.00°	31.00°	2010	3.075	2.13	0.701	159.018	15.902	2,090,184	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	39,676	44,964	0.4880	19.09	3	20.61	ACERROJADA							
69	10+516.25	45.00°	31.00°	2010	2.865	1.92	0.701	156.301	15.630	2,063,006	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	35,764	40,987	0.4880	20.67	4	27.48	ACERROJADA							
70	10+518.70	45.00°	31.00°	2010	3.051	2.106	0.701	156.303	15.630	2,063,033	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	39,229	44,509	0.4880	19.04	3	20.61	ACERROJADA							
71	10+553.10	45.00°	31.00°	2010	2.780	1.835	0.701	158.215	15.821	2,082,147	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	34,181	39,378	0.4880	21.72	4	27.48	ACERROJADA							
72	10+557.84	45.00°	31.00°	2010	2.674	1.729	0.701	158.222	15.822	2,082,218	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	32,206	37,370	0.4880	22.88	4	27.48	ACERROJADA							
73	10+607.63	11.25°	31.00°	2010	2.380	1.435	0.701	155.218	15.522	2,052,178	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	26,730	31,803	0.1450	7.88	2	13.74	ACERROJADA							
74	11+753.81	11.25°	10.00°	2010	2.354	1.409	0.701	151.831	15.183	2,018,313	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.14	Junta Bajo Relleno	1	26,246	9,524	0.1450	25.87	4	27.48	ACERROJADA							
75	12+470.39	22.50°	10.00°	2100	3.120	2.175	0.701	190.037	19.004	2,400,374	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.14	Junta Bajo Relleno	1	42,328	14,496	0.2734	38.10	6	41.22	ACERROJADA							
76	12+535.90	22.50°	10.00°	2100	3.198	2.253	0.701	189.903	18.990	2,399,032	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.14	Junta Bajo Relleno	1	43,846	14,965	0.2734	36.89	6	41.22	ACERROJADA							
77	12+563.71	11.25°	10.00°	2100	2.619	1.674	0.701	189.845	18.984	2,398,448	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.14	Junta Bajo Relleno	1	32,578	11,481	0.1450	25.50	4	27.48	ACERROJADA							
78	16+175.33	11.25°	22.00°	1950	2.681	1.736	0.701	138.884	13.888	1,888,840	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.32	Junta Bajo Relleno	1	31,371	25,073	0.1450	9.20	2	13.74	ACERROJADA							
79	16+321.00	11.25°	22.00°	1950	2.466	1.521	0.701	137.645	13.765	1,876,450	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.32	Junta Bajo Relleno	1	27,486	22,362	0.1450	10.24	2	13.74	ACERROJADA							
80	16+518.43	45.00°	22.00°	1950	2.822	1.877	0.701	135.608	13.561	1,856,080	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.32	Junta Bajo Relleno	1	33,919	26,851	0.4880	28.39	5	34.35	ACERROJADA							

Figura N° 92 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 05



**CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO**



PROYECTO	:	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023															
RESPONSABLE	:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna															
TRAMO	:	E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA										ACCESORIOS			:	HORIZONTALES	

DATOS				REVESTIMIENTO DE TUBO		α1	ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"
Coefficiente Seguridad	C	1.2		Zinc + Pintura Bituminosa		1	90.00°	0.7854	
Diametro Nominal Tub.	DN	900	mm	Poliuretano o Poliuretano		2/3	45.00°	0.4880	
Diametro Exterior Tub.	D ext.	945	mm				22.50°	0.2734	
Coefficiente de Repartición de las Presiones	K	1.1		TIPO DE PRUEBA		α2	11.25°	0.1450	
Peso Métrico del Tubo Vacío	Wp	2708.58	N/m	Junta Bajo Relleno		1			
Peso Métrico del Agua	Ww	6403.35	N/m	Junta al Descubierta		2/3			
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA									
Longitud Útil de Tubería Junta Standart	Lu	7	m						
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada	La	6.87	m						

N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fn" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN		
81	16+531.84	45.00°	22.00°	1950	2.720	1.775	0.701	135.550	13.555	1,855,500	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.32	Junta Bajo Relleno	1	32,076	25,565	0.4880	29.81	5	34.35	ACERROJADA
82	16+724.85	45.00°	22.00°	1950	3.010	2.065	0.701	134.809	13.481	1,848,090	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.32	Junta Bajo Relleno	1	37,317	29,222	0.4880	25.97	4	27.48	ACERROJADA
83	16+767.35	45.00°	22.00°	1950	3.100	2.155	0.701	134.669	13.467	1,846,690	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.32	Junta Bajo Relleno	1	38,943	30,357	0.4880	24.98	4	27.48	ACERROJADA
84	18+121.69	45.00°	38.00°	2100	3.416	2.471	0.701	117.538	11.754	1,675,380	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	48,089	67,950	0.4880	10.13	2	13.74	ACERROJADA
85	18+140.02	22.50°	39.00°	2100	4.010	3.065	0.701	117.496	11.750	1,674,960	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.61	Junta Bajo Relleno	1	59,649	85,544	0.2734	4.51	1	6.87	ACERROJADA
86	18+665.82	45.00°	39.00°	2100	2.776	1.831	0.701	113.354	11.335	1,633,540	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.61	Junta Bajo Relleno	1	35,633	53,547	0.4880	12.53	2	13.74	ACERROJADA
87	18+711.18	45.00°	39.00°	2100	2.202	1.257	0.701	113.219	11.322	1,632,190	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.61	Junta Bajo Relleno	1	24,463	38,664	0.4880	17.34	3	20.61	ACERROJADA
88	21+103.53	45.00°	35.00°	2020	2.449	1.504	0.701	84.889	8.489	1,273,335	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	28,155	38,264	0.4880	13.67	2	13.74	ACERROJADA
89	21+148.53	11.25°	35.00°	2020	2.570	1.625	0.701	53.552	5.355	803,280	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	30,420	40,913	0.1450	2.40	1	6.87	ACERROJADA
90	21+182.91	22.50°	35.00°	2020	2.467	1.522	0.701	53.726	5.373	805,890	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	28,492	38,658	0.2734	4.80	1	6.87	ACERROJADA
91	21+331.07	22.50°	35.00°	2020	2.375	1.43	0.701	53.102	5.310	796,530	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	26,769	36,643	0.2734	5.00	1	6.87	ACERROJADA
92	21+634.61	11.25°	35.00°	2020	2.232	1.287	0.701	49.414	4.941	741,210	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	24,092	33,512	0.1450	2.70	1	6.87	ACERROJADA
93	21+719.63	11.25°	35.00°	2020	2.476	1.531	0.701	48.265	4.827	723,975	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	28,660	38,855	0.1450	2.27	1	6.87	ACERROJADA
94	21+965.63	22.50°	38.00°	2150	4.035	3.09	0.701	46.339	4.634	695,085	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	61,567	85,347	0.2734	1.87	1	6.87	ACERROJADA
95	21+986.68	11.25°	38.00°	2150	3.402	2.457	0.701	43.783	4.378	656,745	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	48,955	69,068	0.1450	1.16	1	6.87	ACERROJADA
96	22+035.36	45.00°	38.00°	2150	2.047	1.102	0.701	42.843	4.284	642,645	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	21,957	34,221	0.4880	7.71	2	13.74	ACERROJADA
97	22+078.66	11.25°	38.00°	2150	2.224	1.279	0.701	42.262	4.226	633,930	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	25,484	38,773	0.1450	2.00	1	6.87	ACERROJADA
98	22+153.54	11.25°	38.00°	2150	2.665	1.72	0.701	41.267	4.127	619,005	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	34,270	50,114	0.1450	1.51	1	6.87	ACERROJADA
99	22+256.65	45.00°	38.00°	2150	2.417	1.472	0.701	38.755	3.876	581,325	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	29,329	43,736	0.4880	5.46	1	6.87	ACERROJADA
100	22+595.74	45.00°	38.00°	2150	2.220	1.275	0.701	29.612	2.961	444,180	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	25,404	38,670	0.4880	4.72	1	6.87	ACERROJADA
101	22+609.23	22.50°	32.00°	2120	2.507	1.562	0.701	29.194	2.919	437,910	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	30,688	37,149	0.2734	2.71	1	6.87	ACERROJADA
102	22+619.42	11.25°	32.00°	2120	2.061	1.116	0.701	28.879	2.888	433,185	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	21,926	27,913	0.1450	1.89	1	6.87	ACERROJADA
103	23+112.28	45.00°	32.00°	2120	2.418	1.473	0.701	4.910	0.491	73,650	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	28,939	35,306	0.4880	0.86	1	6.87	ACERROJADA
104	23+120.11	22.50°	32.00°	2120	2.458	1.513	0.701	4.239	0.424	63,585	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	29,725	36,135	0.2734	0.40	1	6.87	ACERROJADA

Cálculo para accesorios verticales



Figura N° 93 Hoja de cálculo para tuberías acorrojadas, para accesorios verticales E.B. Rumicolca – E.B. Collana 01

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO																		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO								
PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																										
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																										
TRAMO		E.B. RUMICOLCA - E.B. COLLANA										ACCESORIOS					VERTICALES											
DATOS										REVESTIMIENTO DE TUBO			α2		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"											
Coeficiente Seguridad		C	1.2							Zinc + Pintura Bituminosa		1	90.00°		0.7854													
Diámetro Nominal Tub.		DN	900	mm						Polietileno o Poliuretano		2/3	45.00°		0.4880													
Diámetro Exterior Tub.		D ext.	945	mm									22.50°		0.2734													
Coeficiente de Reparación de las Presiones		K	1.1							TIPO DE PRUEBA		α1	11.25°		0.1450													
Peso Métrico del Tubo Vacío		Wp	2708.58	N/m						Junta Bajo Relleno		1																
Peso Métrico del Agua		Ww	6403.35	N/m						Junta al Descubierto		2/3																
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA										PRESIONES DE LA TUBERÍA																		
Longitud Útil de Tubería Junta Standart		Lu	7	m								DN	PFA	PMA	PEA													
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada		La	6.87	m								900	25	30	35													
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fn" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN								
1	0+012.33	11.25°	42.00°	1950	3.588	2.643	0.701	169.66	16.97	2196600	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	47761.95	76471.87143	0.1450	3.51	1	6.87	ACERROJADA						
2	0+075.54	11.25°	42.00°	1950	2.524	1.579	0.701	169.58	16.96	2195800	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28534.29	48367.24769	0.1450	5.54	1	6.87	ACERROJADA						
3	5+139.35	11.25°	12.00°	2100	2.056	1.111	0.701	169.58	16.96	2195800	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	21621.39	9740.651556	0.1450	27.52	5	34.35	ACERROJADA						
4	5+145.33	22.50°	12.00°	2100	1.245	0.3	0.701	181.00	18.10	2309960	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	5838.36	3867.751703	0.2734	137.43	21	144.27	ACERROJADA						
5	5+146.13	45.00°	12.00°	2100	1.245	0.3	0.701	181.00	18.10	2309960	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	5838.36	3867.751703	0.4880	245.29	36	247.32	ACERROJADA						
6	8+493.01	11.25°	12.00°	2100	2.396	1.451	0.701	161.24	16.12	2112401	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.17	Junta Bajo Relleno	1	28238.20	12202.77973	0.1450	21.13	4	27.48	ACERROJADA						
7	10+521.19	22.50°	31.00°	2010	4.164	3.219	0.701	156.31	15.63	2063057	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	59960.78	65584.03484	0.2734	7.24	2	13.74	ACERROJADA						
8	10+525.89	22.50°	31.00°	2010	2.503	1.558	0.701	156.32	15.63	2063153	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	29021.09	34132.51828	0.2734	13.91	3	20.61	ACERROJADA						
9	10+541.31	22.50°	31.00°	2010	2.500	1.555	0.701	156.28	15.63	2062836	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	28965.21	34075.71241	0.2734	13.93	3	20.61	ACERROJADA						
10	10+548.09	22.50°	31.00°	2010	3.038	2.093	0.701	156.85	15.68	2068495	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	38986.62	44262.89839	0.2734	10.75	2	13.74	ACERROJADA						
11	15+627.03	22.50°	10.00°	2100	2.500	1.555	0.701	117.97	11.80	1679740	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.14	Junta Bajo Relleno	1	30262.16	10765.4122	0.2734	35.90	6	41.22	ACERROJADA						
12	15+633.93	22.50°	10.00°	2100	2.501	1.556	0.701	117.93	11.79	1679310	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.14	Junta Bajo Relleno	1	30281.62	10771.42941	0.2734	35.87	6	41.22	ACERROJADA						
13	15+683.14	22.50°	10.00°	2100	2.500	1.555	0.701	117.64	11.76	1676371	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.14	Junta Bajo Relleno	1	30262.16	10765.4122	0.2734	35.83	6	41.22	ACERROJADA						
14	15+693.72	22.50°	10.00°	2100	2.499	1.554	0.701	117.57	11.76	1675735	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.14	Junta Bajo Relleno	1	30242.70	10759.395	0.2734	35.84	6	41.22	ACERROJADA						
15	21+982.28	22.50°	38.00°	2150	2.504	1.559	0.701	45.34	4.53	680072	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	31062.39	45973.76485	0.2734	3.40	1	6.87	ACERROJADA						
16	21+990.96	22.50°	38.00°	2150	2.500	1.555	0.701	45.88	4.59	688132	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	30982.69	45870.89576	0.2734	3.45	1	6.87	ACERROJADA						

Cálculo para accesorios horizontales

Figura N° 94 Hoja de cálculo para tuberías acorrojadas, para accesorios horizontales E.B. Collana – Reservorio R12 01



**CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO**

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																				
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																				
TRAMO		E.B. COLLANA- E.B. RUMICOLCA												ACCESORIOS			HORIZONTALES					
DATOS						REVESTIMIENTO DE TUBO						TIPO DE PRUEBA		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"						
Coficiente Seguridad	C	1.2				Zinc + Pintura Bituminosa	α1					90.00°	0.7854									
Diametro Nominal Tub.	DN	900	mm			Poliuretano o Poliuretano	2/3					45.00°	0.4880									
Diametro Exterior Tub.	D ext.	945	mm									22.50°	0.2734									
Coficiente de Repartición de las Presiones	K	1.1										11.25°	0.1450									
Peso Métrico del Tubo Vacío	Wp	2708.58	N/m																			
Peso Métrico del Agua	Ww	6403.35	N/m																			
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA																						
Longitud Útil de Tubería Junta Standart	Lu	7	m																			
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada	La	6.87	m																			
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fn" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN		
1	0+054.57	22.50°	32.00°	2120	2.26	1.316	0.701	257.355	25.736	3,073,552	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	25,855	32,055	0.2734	22.06	4	27.48	ACERROJADA
2	0+061.23	45.00°	32.00°	2120	2.42	1.477	0.701	258.379	25.838	3,083,789	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	29,018	35,389	0.4880	35.79	6	41.22	ACERROJADA
3	0+187.88	45.00°	32.00°	2120	2.45	1.502	0.701	266.268	26.627	3,162,679	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	29,509	35,907	0.4880	36.18	6	41.22	ACERROJADA
4	0+200.67	45.00°	32.00°	2120	2.53	1.581	0.701	266.787	26.679	3,167,871	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	31,061	37,543	0.4880	34.66	6	41.22	ACERROJADA
5	0+450.30	22.50°	32.00°	2120	2.68	1.739	0.701	261.630	26.163	3,116,298	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	34,165	40,815	0.2734	17.57	3	20.61	ACERROJADA
6	0+461.51	22.50°	32.00°	2120	3.98	3.033	0.701	261.686	26.169	3,116,862	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	59,588	67,612	0.2734	10.61	2	13.74	ACERROJADA
7	0+491.80	22.50°	32.00°	2120	2.51	1.56	0.701	261.701	26.170	3,117,005	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	30,649	37,108	0.2734	19.33	3	20.61	ACERROJADA
8	1+689.89	45.00°	42.00°	2120	2.42	1.477	0.701	258.185	25.819	3,081,851	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	29,018	49,074	0.4880	25.79	4	27.48	ACERROJADA
9	1+703.43	45.00°	42.00°	2120	2.37	1.426	0.701	258.145	25.815	3,081,451	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	28,016	47,610	0.4880	26.58	4	27.48	ACERROJADA
10	2+135.77	11.25°	42.00°	2120	2.59	1.649	0.701	217.996	21.800	2,679,955	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	32,397	54,014	0.1450	6.06	1	6.87	ACERROJADA
11	2+154.34	11.25°	42.00°	2120	2.83	1.888	0.701	214.955	21.496	2,649,554	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	37,093	60,877	0.1450	5.31	1	6.87	ACERROJADA
12	2+378.68	45.00°	42.00°	2120	2.78	1.831	0.701	190.998	19.100	2,409,984	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	35,973	59,240	0.4880	16.71	3	20.61	ACERROJADA
13	2+392.12	22.50°	42.00°	2120	2.71	1.768	0.701	189.658	18.966	2,396,581	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	34,735	57,431	0.2734	9.60	2	13.74	ACERROJADA
14	2+397.38	45.00°	42.00°	2120	2.85	1.908	0.701	189.128	18.913	2,391,275	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	37,486	61,451	0.4880	15.98	3	20.61	ACERROJADA
15	2+415.30	11.25°	42.00°	2120	2.91	1.969	0.701	187.367	18.737	2,373,665	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	38,684	63,203	0.1450	4.58	1	6.87	ACERROJADA
16	2+450.07	22.50°	42.00°	2120	2.42	1.479	0.701	187.130	18.713	2,371,296	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.66	Junta Bajo Relleno	1	29,057	49,132	0.2734	11.11	2	13.74	ACERROJADA
17	2+747.93	22.50°	38.00°	2050	2.42	1.477	0.701	195.186	19.519	2,451,860	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	28,060	42,098	0.2734	13.40	2	13.74	ACERROJADA
18	3+098.62	11.25°	38.00°	2050	2.82	1.875	0.701	197.611	19.761	2,476,112	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	35,621	51,858	0.1450	5.83	1	6.87	ACERROJADA
19	3+149.13	22.50°	38.00°	2050	2.63	1.684	0.701	197.518	19.752	2,475,179	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	31,992	47,174	0.2734	12.07	2	13.74	ACERROJADA
20	3+156.64	45.00°	38.00°	2050	2.54	1.598	0.701	197.637	19.764	2,476,367	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.59	Junta Bajo Relleno	1	30,359	45,065	0.4880	22.57	4	27.48	ACERROJADA
21	3+170.13	11.25°	37.00°	1950	2.40	1.45	0.701	197.834	19.783	2,478,339	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	26,203	38,442	0.1450	7.87	2	13.74	ACERROJADA
22	3+261.77	11.25°	37.00°	1950	3.50	2.554	0.701	192.303	19.230	2,423,029	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	46,154	63,376	0.1450	4.67	1	6.87	ACERROJADA

Figura N° 95 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales E.B. Collana – Reservorio R12 02



PROYECTO		:	ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																			
RESPONSABLE		:	Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																			
TRAMO		:	E. B. COLLANA - E. B. RUMICOLCA										ACCESORIOS			:	HORIZONTALES					
DATOS							REVESTIMIENTO DE TUBO					α1		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"						
Coeficiente Seguridad		C	1.2				Zinc + Pintura Bituminosa		1		90.00°		0.7854									
Diámetro Nominal Tub.		DN	900	mm				Poliuretano o Poliuretano		2/3		45.00°		0.4880								
Diámetro Exterior Tub.		D ext.	945	mm								22.50°		0.2734								
Coeficiente de Repartición de las Presiones		K	1.1								11.25°		0.1450									
Peso Métrico del Tubo Vacío		Wp	2708.58	N/m				TIPO DE PRUEBA		α2												
Peso Métrico del Agua		Ww	6403.35	N/m				Junta Bajo Relleno		1												
								Junta al Descubierta		2/3												
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA																						
Longitud Útil de Tubería Junta Standart		Lu	7	m																		
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada		La	6.87	m																		
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRCCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98% (kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fr" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN		
23	3+365.58	22.50°	37.00°	1950	2.68	1.736	0.701	184.722	18.472	2,347,222	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	31,371	44,901	0.2734	12.03	2	13.74	ACERROJADA
24	3+444.27	11.25°	37.00°	1950	2.26	1.319	0.701	175.077	17.508	2,250,772	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	23,836	35,483	0.1450	7.74	2	13.74	ACERROJADA
25	3+552.99	11.25°	37.00°	1950	2.81	1.864	0.701	162.452	16.245	2,124,520	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	33,685	47,792	0.1450	5.43	1	6.87	ACERROJADA
26	3+611.03	11.25°	37.00°	1950	2.85	1.905	0.701	155.090	15.509	2,050,901	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	34,425	48,718	0.1450	5.14	1	6.87	ACERROJADA
27	3+651.67	11.25°	37.00°	1950	2.97	2.024	0.701	149.583	14.958	1,995,831	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	36,576	51,406	0.1450	4.74	1	6.87	ACERROJADA
28	3+752.67	11.25°	37.00°	1950	2.59	1.645	0.701	139.418	13.942	1,894,179	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.57	Junta Bajo Relleno	1	29,727	42,846	0.1450	5.40	1	6.87	ACERROJADA
29	4+261.33	11.25°	33.00°	2120	2.43	1.485	0.701	87.653	8.765	1,314,795	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	29,175	36,837	0.1450	4.36	1	6.87	ACERROJADA
30	4+275.02	22.50°	33.00°	2120	2.22	1.272	0.701	85.705	8.571	1,285,578	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	24,990	32,267	0.2734	9.17	2	13.74	ACERROJADA
31	4+295.08	11.25°	33.00°	2120	2.45	1.508	0.701	83.088	8.309	1,246,323	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	29,627	37,331	0.1450	4.08	1	6.87	ACERROJADA
32	4+329.21	11.25°	33.00°	2120	2.55	1.609	0.701	79.910	7.991	1,198,655	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	31,611	39,498	0.1450	3.70	1	6.87	ACERROJADA
33	4+353.53	11.25°	33.00°	2120	2.34	1.394	0.701	76.389	7.639	1,145,838	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	27,387	34,885	0.1450	4.01	1	6.87	ACERROJADA
34	4+359.73	22.50°	33.00°	2120	2.54	1.599	0.701	75.609	7.561	1,134,129	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	31,415	39,283	0.2734	6.64	1	6.87	ACERROJADA
35	4+377.44	11.25°	33.00°	2120	1.98	1.039	0.701	73.317	7.332	1,099,749	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	20,413	27,268	0.1450	4.92	1	6.87	ACERROJADA
36	4+389.09	11.25°	33.00°	2120	2.36	1.416	0.701	71.772	7.177	1,076,579	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	27,820	35,357	0.1450	3.72	1	6.87	ACERROJADA
37	4+400.32	11.25°	33.00°	2120	3.08	2.139	0.701	71.411	7.141	1,071,165	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	42,024	50,869	0.1450	2.57	1	6.87	ACERROJADA
38	4+409.54	11.25°	33.00°	2120	3.73	2.788	0.701	71.219	7.122	1,068,291	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	54,775	64,794	0.1450	2.01	1	6.87	ACERROJADA
39	4+424.81	11.25°	33.00°	2120	2.72	1.778	0.701	70.919	7.092	1,063,784	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	34,932	43,124	0.1450	3.01	1	6.87	ACERROJADA
40	4+466.41	11.25°	33.00°	2120	2.52	1.57	0.701	68.215	6.822	1,023,228	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	30,845	38,661	0.1450	3.23	1	6.87	ACERROJADA
41	4+601.16	11.25°	33.00°	2120	2.53	1.585	0.701	45.927	4.593	688,904	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	31,140	38,983	0.1450	2.16	1	6.87	ACERROJADA
42	4+652.05	22.50°	33.00°	2120	2.52	1.574	0.701	37.277	3.728	559,151	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	30,924	38,747	0.2734	3.32	1	6.87	ACERROJADA
43	4+665.04	45.00°	33.00°	2120	2.07	1.121	0.701	34.933	3.493	523,995	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	22,024	29,027	0.4880	7.41	2	13.74	ACERROJADA
44	4+684.26	45.00°	33.00°	2120	2.28	1.33	0.701	31.319	3.132	469,782	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.50	Junta Bajo Relleno	1	26,130	33,512	0.4880	5.76	1	6.87	ACERROJADA

Cálculo para accesorios verticales





Figura N° 96 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios verticales E.B. Collana – Reservorio R12 01

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO																		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO								
PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																										
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																										
TRAMO		E. B. COLLANA- E.B. RUMICOLCA												ACCESORIOS			VERTICALES											
DATOS							REVESTIMIENTO DE TUBO			$\alpha_1$		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"														
Coefficiente Seguridad	C	1.2					Zinc + Pintura Bituminosa		1		90.00°	0.7854																
Diametro Nominal Tub.	DN	900	mm				Polietileno o Poliuretano		2/3		45.00°	0.4880																
Diametro Exterior Tub.	D ext.	945	mm								22.50°	0.2734																
Coefficiente de Reparación de las Presiones	K	1.1					TIPO DE PRUEBA			$\alpha_2$		11.25°		0.1450														
Peso Métrico del Tubo Vacío	Wp	2708.58	N/m				Junta Bajo Relleno		1																			
Peso Métrico del Agua	Ww	6403.35	N/m				Junta al Descubierta		2/3																			
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA							PRESIONES DE LA TUBERÍA																					
Longitud Útil de Tubería Junta Standart	Lu	7	m				DN	PFA	PMA	PEA																		
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada	La	6.87	m				900	25	30	35																		
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL (kg/m <sup>3</sup> )	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m <sup>2</sup> )	PRESIÓN DINÁMICA (M.C.A.)	PRESIÓN DINÁMICA (BAR)	PRESIÓN DE PRUEBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (Ø2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	TIPO DE PRUEBA (Ø1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fr" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN								
1	0+455.93	22.50°	32.00°	2120	2.78	1.83	0.701	261.644	26.164	3116437.00	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	36031.76	42782.04	0.2734	16.76	3	20.61	ACERROJADA						
2	0+463.79	22.50°	32.00°	2120	2.50	1.56	0.701	261.717	26.172	3117174.00	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	30628.96	37087.14	0.2734	19.34	3	20.61	ACERROJADA						
3	0+483.28	22.50°	32.00°	2120	2.63	1.68	0.701	261.764	26.176	3117644.00	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	33006.19	39592.90	0.2734	18.12	3	20.61	ACERROJADA						
4	0+491.05	22.50°	32.00°	2120	2.48	1.53	0.701	261.698	26.170	3116980.00	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.48	Junta Bajo Relleno	1	30098.50	36528.01	0.2734	19.64	3	20.61	ACERROJADA						





Hojas de cálculo de la tubería acerrojada línea de Interconexión

Figura N° 97 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar 02

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																						
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																						
TRAMO		RESERVORIO R12 - CÁMARA DE EMPALME BOLIVAR										ACCESORIOS				HORIZONTALES								
DATOS		REVESTIMIENTO DE TUBO										α1		ÁNGULO "θ" CODO		VALOR "θ"								
Coefficiente Seguridad	C	1.2	Zinc + Pintura Bituminosa										1		90.00°		0.7854							
Diametro Nominal Tub.	DN	800	Polietileno o Poliuretano										2/3		45.00°		0.4880							
Diametro Exterior Tub.	D ext.	842													22.50°		0.2734							
Coefficiente de Reparación de las Presiones	K	1.1	TIPO DE PRUEBA										α2		11.25°		0.1450							
Peso Métrico del Tubo Vacío	Wp	2708.58	Junta Bajo Relleno										1											
Peso Métrico del Agua	Ww	6403.35	Junta al Descubierta										2/3											
Cota del Nivel Reservorio		3488.93	PRESIONES DE LA TUBERÍA																					
LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA																								
Longitud Útil de Tubería Junta Standart	Lu	7																						
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada	La	6.89																						
			DN	PFA	PMA	PEA																		
			800	25	30	35																		
N°	PROG.	ANGULO CODO HORIZ.	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98%(kg/m3)	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m2)	COTA (m.s.n.m)	ΔH	PRESIÓN DE TRANSITORIO O (M.C.A.)	PRESIÓN DE TRANSITORIO (BAR)	PRESIÓN DE PRUEBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	REVESTIMIENTO TUBO (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fn" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN		
20	2+449.61	45.00°	31.00°	2120	2.53	1.688	0.557	3295.66	220.290	220.290	22.029	2702900	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	29548.73	34668.89	0.4880	25.42	4	27.56	ACERROJADA
21	2+457.49	45.00°	31.00°	2120	2.52	1.673	0.557	3295.56	220.481	220.481	22.048	2704810	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	29286.15	34401.96	0.4880	25.64	4	27.56	ACERROJADA
22	2+548.86	45.00°	31.00°	2120	2.85	2.003	0.557	3289.47	223.275	223.275	22.328	2732750	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	35062.86	40274.23	0.4880	22.12	4	27.56	ACERROJADA
23	2+558.64	45.00°	31.00°	2120	2.99	2.151	0.557	3289.07	224.032	224.032	22.403	2740320	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.46	Junta Bajo Relleno	1	37653.63	42907.86	0.4880	20.82	4	27.56	ACERROJADA
24	2+874.11	45.00°	43.00°	2100	2.52	1.677	0.557	3294.67	229.892	229.892	22.989	2798920	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.68	Junta Bajo Relleno	1	29079.23	50667.10	0.4880	18.01	3	20.67	ACERROJADA
25	2+882.54	45.00°	43.00°	2100	2.72	1.873	0.557	3294.36	229.873	229.873	22.987	2798730	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.68	Junta Bajo Relleno	1	32477.88	55786.73	0.4880	16.36	3	20.67	ACERROJADA
26	2+927.13	22.50°	43.00°	2100	3.28	2.436	0.557	3291.35	229.788	229.788	22.979	2797880	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.68	Junta Bajo Relleno	1	42240.31	70492.58	0.2734	7.25	2	13.78	ACERROJADA
27	2+983.01	45.00°	43.00°	2100	3.14	2.3	0.557	3287.85	230.808	230.808	23.081	2808080	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.68	Junta Bajo Relleno	1	39882.07	66940.19	0.4880	13.68	2	13.78	ACERROJADA
28	2+992.24	22.50°	43.00°	2100	3.19	2.345	0.557	3287.91	231.434	231.434	23.143	2814340	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.68	Junta Bajo Relleno	1	40662.37	68115.61	0.2734	7.55	2	13.78	ACERROJADA
29	3+003.46	11.25°	41.00°	2100	2.99	2.152	0.557	3388.14	232.193	232.193	23.219	2821930	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	37315.74	59365.85	0.1450	4.61	1	6.89	ACERROJADA
30	3+293.99	11.25°	41.00°	2100	2.73	1.889	0.557	3294.27	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	32755.32	52900.06	0.1450	5.24	1	6.89	ACERROJADA
31	3+347.14	11.25°	41.00°	2100	2.50	1.661	0.557	3294.36	235.825	235.825	23.583	2858250	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	28801.79	47294.74	0.1450	5.86	1	6.89	ACERROJADA
32	3+437.77	11.25°	41.00°	2100	2.56	1.716	0.557	3297.24	235.128	235.128	23.513	2851280	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	29755.49	48646.90	0.1450	5.68	1	6.89	ACERROJADA
33	3+522.01	11.25°	41.00°	2100	2.49	1.648	0.557	3299.02	234.408	234.408	23.441	2844080	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	28576.37	46975.14	0.1450	5.87	1	6.89	ACERROJADA
34	4+280.14	11.25°	35.00°	1950	3.21	2.368	0.557	3311.45	230.257	230.257	23.026	2802570	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.53	Junta Bajo Relleno	1	38128.25	49930.32	0.1450	5.44	1	6.89	ACERROJADA



Cálculo para accesorios verticales

Figura N° 98 Hoja de cálculo para tuberías acerrojadas, para accesorios horizontales Reservorio R12 - Cámara de Empalme Bolivar 01

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO EN EFICIENCIA DE TUBERÍAS ACERROJADAS Y MACIZOS DE ANCLAJE, PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE EMPUJE EN TRANSITORIO HIDRÁULICO EN EL PROYECTO SISTEMA VILCANOTA II, CUSCO – 2023																						
RESPONSABLE		Bach. Christian Dalmiro Amau Cusicuna																						
TRAMO		RESERVORIO R12 - CÁMARA DE EMPALME BOLIVAR										ACCESORIOS					VERTICALES							
<b>CÁLCULO DE LONGITUD DE ACERROJADO</b>																								
<b>DATOS</b>																								
Coefficiente Seguridad	C	1.2																						
Diametro Nominal Tub.	DN	800	mm																					
Diametro Exterior Tub.	D ext.	842	mm																					
Coefficiente de Reparación de las Presiones	K	1.1																						
Peso Métrico del Tubo Vacío	Wp	2708.58	N/m																					
Peso Métrico del Agua	Ww	6403.35	N/m																					
Cota del Nivel Reservorio		3488.93	m.s.n.m.																					
<b>LONGITUD ÚTIL DE TUBERÍA</b>																								
Longitud Útil de Tubería Junta Standart	Lu	7	m																					
Longitud Útil de Tubería Junta Acerrojada	La	6.89	m																					
<b>REVESTIMIENTO DE TUBO</b>																								
<b>α1</b>																								
Zinc + Pintura Bituminosa																								
Polietileno o Poliuretano																								
<b>ÁNGULO "θ" CODO</b>																								
90.00°																								
45.00°																								
22.50°																								
11.25°																								
<b>VALOR "θ"</b>																								
0.7854																								
0.4880																								
0.2734																								
0.1450																								
<b>TIPO DE PRUEBA</b>																								
<b>α2</b>																								
Junta Bajo Relleno																								
Junta al Descubierta																								
<b>PRESIONES DE LA TUBERÍA</b>																								
<b>DN</b>																								
<b>PFA</b>																								
<b>PMA</b>																								
<b>PEA</b>																								
800																								
25																								
30																								
35																								
N°	PROG.	ÁNGULO CODO HORIZ.	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNO (β)	DENSIDAD DE MATERIAL AL 98%(kg/m <sup>3</sup> )	ALTURA DE ZANJA (m)	ALTURA DE RELLENO (m)	ÁREA TUB. EXT. "S" (m <sup>2</sup> )	COTA (m.s.n.m)	ΔH	PRESIÓN DE TRANSITORIO O (M.C.A.)	PRESIÓN DE TRANSITORIO (BAR)	PRESIÓN DE PRUBA EN OBRA (Pa)	REVESTIMIENTO DE TUBO (α2)	COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "f" (suelo/tubo)	REVESTIMIENTO TUBO (α1)	PESO MÉTRICO DEL RELLENO "We" (N/m)	FUERZA DE ROZAMIENTO DEL TUBO "Fn" (N/m)	Valor "θ"	LONGITUD A ACERROJAR (m)	TUBOS A USAR POR LADO (und)	LONGITUD ACERROJADA EFECTIVA(m)	TIPO DE UNIÓN		
1	3+085.70	45.00°	41.00°	2100	2.22	0.50	0.557	3294.27	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	8670.02	18751.84	0.4880	49.78	8	55.12	ACERROJADA
2	3+086.50	45.00°	41.00°	2100	1.43	1.00	0.557	3294.27	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	17340.03	31044.22	0.4880	30.07	5	34.45	ACERROJADA
3	3+093.50	45.00°	41.00°	2100	1.57	1.00	0.557	3294.27	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	17340.03	31044.22	0.4880	30.07	5	34.45	ACERROJADA
4	3+094.30	45.00°	41.00°	2100	2.39	0.50	0.557	3294.27	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	8670.02	18751.84	0.4880	49.78	8	55.12	ACERROJADA
5	3+325.70	45.00°	41.00°	2100	2.48	1.633	0.557	3459.69	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	28316.27	46606.37	0.4880	20.03	3	20.67	ACERROJADA
6	3+326.50	45.00°	41.00°	2100	1.77	0.924	0.557	3455.53	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	16022.19	29175.78	0.4880	31.99	5	34.45	ACERROJADA
7	3+333.50	45.00°	41.00°	2100	1.65	0.812	0.557	3444.82	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	14080.10	26422.28	0.4880	35.33	6	41.34	ACERROJADA
8	3+334.30	45.00°	41.00°	2100	2.48	1.635	0.557	3440.82	236.276	236.276	23.628	2862760	Zinc + Pintura Bituminosa	1	0.64	Junta Bajo Relleno	1	28350.95	46655.53	0.4880	20.01	3	20.67	ACERROJADA



### Panel Fotográfico

**Foto N° 01:** Estación de bombeo 01: Piñipampa vista general



**Foto N° 02:** Tubería de 350mm, apoyado en un macizo de anclaje.







**Foto N° 03:** Caseta de bombeo del pozo n°02 en la E.B. Piñipampa



**Foto N° 04:** Puente metálico de Piñipampa, 138 metros de longitud.





**Foto N° 05:** Estación de bombeo de Rumicolca



**Foto N° 06:** Recorrido del alineamiento de tubería proyectado para evaluación de disponibilidad de terreno, vía nacional Cusco-Sicuani, altura de la laguna de Huacarpay







**Foto N° 07:** Recorrido del alineamiento de tubería proyectado para evaluación de disponibilidad de terreno, sector Huacarpay.



**Foto N° 08:** Recorrido del alineamiento de tubería proyectado para evaluación de disponibilidad de terreno, sector Oropesa





**Foto N° 09:** Exposición del proyecto Sistema Vilcanota II



**Foto N° 10:** Exposición del proyecto Sistema Vilcanota II







**Foto N° 11:** Recorrido al sistema Vilcanota I, salida de la Est. Bombeo Rumicolca



**Foto N° 12:** Recorrido del alineamiento de tubería proyectado para evaluación de disponibilidad de terreno, altura de paradero Enaco





## ANEXOS

Tabla N° 34 Lista de BM's del Levantamiento Topográfico

LISTA DE BMS EN LA LINEA DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO				
N°	ESTE	NORTE	ELEVACION	DESCRIPCION
1	209596.304	8489203.717	3133.443	BM
2	208349.367	8490901.702	3199.157	BM
3	207282.074	8492161.450	3221.751	BM
4	206201.239	8492733.536	3207.747	BM
5	205210.475	8493361.895	3159.335	BM
6	203923.789	8493715.222	3128.620	BM
7	200956.854	8494713.230	3138.905	BM
8	201012.273	8494810.359	3141.524	BM
9	200771.783	8494916.088	3142.529	BM
10	200372.406	8495092.780	3141.100	BM
11	199735.736	8495357.714	3140.870	BM
12	198218.596	8496121.134	3149.852	BM
13	195319.387	8497477.727	3171.320	BM
14	193624.159	8498275.724	3194.004	BM
15	190921.462	8499577.282	3222.137	BM
16	189676.234	8499968.924	3243.272	BM
17	189674.590	8500340.217	3260.787	BM
18	188926.694	8500382.165	3268.325	BM
19	188996.830	8500856.254	3298.195	BM
20	187462.090	8501221.052	3315.729	BM
21	186702.288	8501235.495	3303.901	BM
22	185519.923	8501916.308	3304.037	BM
23	184831.849	8502002.141	3290.257	BM
24	182081.852	8502838.821	3375.441	BM
25	181589.548	8502601.679	3343.734	BM
26	181047.465	8503149.422	3373.887	BM
27	180322.937	8503315.189	3396.486	BM
28	180195.510	8503343.152	3402.047	BM
29	180010.882	8503465.145	3415.137	BM
30	187031.697	8502548.284	3469.848	BM

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 35 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca 01

**Reporte de Tuberías**  
**Simulación Hidráulica: Tramo Piñipampa Rumicolca**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
33	P-1	20	J-1	J-2	911.8	Ductile Iron	140.0	0	0.00	0.00	0.000
35	P-2	141	J-2	J-3	911.8	Ductile Iron	140.0	290	0.44	0.03	0.000
37	P-3	40	J-3	J-4	911.8	Ductile Iron	140.0	579	0.89	0.03	0.000
39	P-4	66	J-4	J-5	911.8	Ductile Iron	140.0	579	0.89	0.04	0.000
41	P-5	140	J-5	J-6	911.8	Ductile Iron	140.0	868	1.33	0.19	0.000
43	P-6	64	J-6	J-7	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.16	0.050
45	P-7	352	J-7	J-8	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.83	0.050
47	P-8	90	J-8	J-9	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.23	0.100
49	P-9	10	J-9	J-10	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.06	0.200
51	P-10	11	J-10	J-11	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.03	0.000
53	P-11	61	J-11	J-12	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.14	0.000
55	P-12	131	J-12	J-13	708.4	Ductile Iron	140.0	1,158	2.94	1.04	0.000
57	P-13	62	J-13	J-14	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.15	0.000
59	P-14	17	J-14	J-15	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.04	0.000
61	P-15	24	J-15	J-16	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.06	0.000
63	P-16	42	J-16	J-17	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.10	0.000
65	P-17	50	J-17	J-18	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.15	0.200
67	P-18	16	J-18	J-19	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.05	0.100
69	P-19	69	J-19	J-20	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.16	0.000
71	P-20	13	J-20	J-21	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.03	0.000
73	P-21	58	J-21	J-22	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.14	0.000
75	P-22	58	J-22	J-23	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.13	0.000
77	P-23	20	J-23	J-24	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.05	0.000
79	P-24	42	J-24	J-25	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.10	0.000
81	P-25	35	J-25	J-26	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.08	0.000
83	P-26	32	J-26	J-27	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.08	0.000
85	P-27	192	J-27	J-28	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.45	0.000
87	P-28	71	J-28	J-29	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.17	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 36 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Piñipampa – E.B. Rumicolca 02

**Reporte de Tuberías 2da Etapa**  
**Simulación Hidráulica: Tramo Piñipampa Rumicolca**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
89	P-29	71	J-29	J-30	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.16	0.000
91	P-30	45	J-30	J-31	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.10	0.000
93	P-31	8	J-31	J-32	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.02	0.000
95	P-32	21	J-32	J-33	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.05	0.000
97	P-33	95	J-33	J-34	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.22	0.000
99	P-34	187	J-34	J-35	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.44	0.000
101	P-35	10	J-35	J-36	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.02	0.000
103	P-36	10	J-36	J-37	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.02	0.000
105	P-37	7	J-37	J-38	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.02	0.000
107	P-38	7	J-38	J-39	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.02	0.000
109	P-39	6	J-39	J-40	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.01	0.000
111	P-40	8	J-40	J-41	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.02	0.000
113	P-41	4	J-41	J-42	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.01	0.000
115	P-42	5	J-42	J-45	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.01	0.000
122	P-43	11	POZO 06	PMP-6	406.0	Ductile Iron	140.0	289	2.24	0.10	0.000
123	P-44	10	PMP-6	J-43	406.0	Ductile Iron	140.0	289	2.24	0.18	0.370
124	P-45	57	J-43	J-5	454.2	Ductile Iron	140.0	289	1.79	0.36	0.370
125	P-46	12	POZO 07	PMP-7	406.0	Ductile Iron	140.0	289	2.23	0.11	0.000
126	P-47	7	PMP-7	J-44	406.0	Ductile Iron	140.0	289	2.23	0.16	0.370
127	P-48	77	J-44	J-3	454.2	Ductile Iron	140.0	289	1.78	0.47	0.370
129	P-49	65	J-45	J-48	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.15	0.000
138	P-50	10	POZO 8	PMP-8	911.8	Ductile Iron	140.0	290	0.44	0.00	0.000
139	P-51	9	PMP-8	J-46	911.8	Ductile Iron	140.0	290	0.44	0.01	0.370
140	P-52	60	J-46	J-2	454.2	Ductile Iron	140.0	290	1.79	0.38	0.370
144	P-53	14	POZO 05	PMP-5	911.8	Ductile Iron	140.0	290	0.44	0.00	0.000
145	P-54	9	PMP-5	J-47	911.8	Ductile Iron	140.0	290	0.44	0.01	0.370
146	P-55	114	J-47	J-6	454.2	Ductile Iron	140.0	290	1.79	0.67	0.370
152	P-56	73	J-48	J-49	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.17	0.000
154	P-57	7	J-49	J-50	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.03	0.100
156	P-58	16	J-50	J-51	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.05	0.050
158	P-59	146	J-51	J-52	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.35	0.050
160	P-60	4	J-52	J-53	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.01	0.000
162	P-61	7	J-53	J-54	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.02	0.000
164	P-62	24	J-54	J-55	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.07	0.100
166	P-63	21	J-55	J-56	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.05	0.000
168	P-64	18	J-56	J-57	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.06	0.100
170	P-65	22	J-57	J-58	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.08	0.200
171	P-66	22	J-58	Rumicolca	911.8	Ductile Iron	140.0	1,158	1.77	0.05	0.000



Tabla N° 37 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 01

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
601	P-300	10.60	RUMICOLCA	PMP- Rumicolca	911.8	Ductile Iron	140.0	569.42	0.87	0.01	0.000
602	P-301	11.97	PMP- Rumicolca	J-01	911.8	Ductile Iron	140.0	569.42	0.87	0.01	0.000
1055	P-515	12.37	J-01	J-447 Piñipampa	911.8	Ductile Iron	140.0	1,138.85	1.74	0.06	0.200
1057	P-516	14.77	J-447 Piñipampa	J-448	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.200
1059	P-517	50.16	J-448	J-449	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.17	0.370
1061	P-518	97.00	J-449	J-450	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.22	0.000
1063	P-519	25.68	J-450	J-451	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.000
1065	P-520	21.25	J-451	J-452	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.000
1067	P-521	19.20	J-452	J-453	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.000
1069	P-522	41.36	J-453	J-454	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.09	0.000
1071	P-523	18.76	J-454	J-455	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.000
1073	P-524	110.80	J-455	J-456	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.25	0.000
1075	P-525	9.64	J-456	J-457	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.200
1077	P-526	61.21	J-457	J-458	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.17	0.200
1079	P-527	40.22	J-458	J-459	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.10	0.100
1081	P-528	51.04	J-459	J-460	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.12	0.050
1083	P-529	30.08	J-460	J-461	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.08	0.100
1085	P-530	28.86	J-461	J-462	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.09	0.200
1087	P-531	17.44	J-462	J-463	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.100
1089	P-532	21.76	J-463	J-464	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.050
1091	P-533	49.83	J-464	J-465	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.13	0.100
1093	P-534	40.78	J-465	J-466	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.11	0.100
1095	P-535	39.73	J-466	J-467	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.10	0.100
1097	P-536	61.73	J-467	J-468	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.15	0.100
1099	P-537	15.00	J-468	J-469	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.050
1101	P-538	21.85	J-469	J-470	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.000
1103	P-539	6.98	J-470	J-471	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.02	0.050
1105	P-540	7.45	J-471	J-472	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.02	0.050
1107	P-541	10.41	J-472	J-473	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.02	0.000
1109	P-542	37.35	J-473	J-474	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.10	0.100

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 38 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 02

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
1111	P-543	93.74	J-474	J-475	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.21	0.000
1113	P-544	200.36	J-475	J-476	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.46	0.100
1115	P-545	40.58	J-476	J-477	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.10	0.050
1117	P-546	8.75	J-477	J-478	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.02	0.000
1119	P-547	11.06	J-478	J-479	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.03	0.050
1121	P-548	59.69	J-479	J-480	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.14	0.050
1123	P-549	33.19	J-480	J-481	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.08	0.050
1125	P-550	66.49	J-481	J-482	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.15	0.000
1127	P-551	18.70	J-482	J-483	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.000
1129	P-552	46.92	J-483	J-484	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.10	0.000
1131	P-553	39.29	J-484	J-485	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.09	0.000
1133	P-554	122.94	J-485	J-486	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.27	0.000
1135	P-555	31.40	J-486	J-487	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.07	0.000
1137	P-556	7.74	J-487	J-488	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.02	0.000
1139	P-557	15.47	J-488	J-489	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.03	0.000
1141	P-558	142.52	J-489	J-490	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.32	0.000
1143	P-559	15.91	J-490	J-491	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.000
1145	P-560	17.05	J-491	J-492	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.000
1147	P-561	41.25	J-492	J-493	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.09	0.000
1149	P-562	40.65	J-493	J-494	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.09	0.000
1151	P-563	99.34	J-494	J-495	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.22	0.000
1153	P-564	44.26	J-495	J-496	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.10	0.000
1155	P-565	32.39	J-496	J-497	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.07	0.000
1157	P-566	29.04	J-497	J-498	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.000
1159	P-567	50.15	J-498	J-499	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.11	0.000
1161	P-568	25.81	J-499	J-500	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.000
1163	P-569	81.62	J-500	J-501	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.18	0.000
1165	P-570	23.86	J-501	J-502	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.000
1167	P-571	61.62	J-502	J-503	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.14	0.000
1169	P-572	25.22	J-503	J-504	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.050
1171	P-573	19.79	J-504	J-505	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.050
1173	P-574	72.94	J-505	J-506	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.16	0.000
1175	P-575	109.43	J-506	J-507	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.24	0.000
1177	P-576	11.19	J-507	J-508	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.03	0.000
1179	P-577	79.65	J-508	J-509	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.18	0.000
1181	P-578	14.01	J-509	J-510	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.03	0.000
1183	P-579	18.05	J-510	J-511	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.000
1185	P-580	25.88	J-511	J-512	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.000
1187	P-581	34.96	J-512	J-513	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.09	0.050
1189	P-582	23.19	J-513	J-514	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.000
1191	P-583	9.66	J-514	J-515	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.03	0.050
1193	P-584	15.25	J-515	J-516	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.03	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022





Tabla N° 39 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 03

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
1195	P-585	21.85	J-516	J-517	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.050
1197	P-586	220.60	J-517	J-518	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.50	0.050
1199	P-587	138.39	J-518	J-519	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.31	0.000
1201	P-588	21.10	J-519	J-520	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.000
1203	P-589	37.78	J-520	J-521	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.08	0.000
1205	P-590	33.94	J-521	J-522	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.08	0.000
1207	P-591	46.77	J-522	J-523	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.10	0.000
1209	P-592	18.61	J-523	J-524	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.000
1211	P-593	108.21	J-524	J-525	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.26	0.100
1213	P-594	13.27	J-525	J-526	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.100
1215	P-595	71.12	J-526	J-527	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.17	0.100
1217	P-596	14.29	J-527	J-528	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.05	0.100
1219	P-597	98.65	J-528	J-529	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.23	0.050
1221	P-598	162.45	J-529	J-530	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.36	0.000
1223	P-599	60.96	J-530	J-531	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.14	0.000
1225	P-600	126.29	J-531	J-532	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.28	0.000
1227	P-601	76.80	J-532	J-533	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.17	0.000
1229	P-602	29.13	J-533	J-534	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.06	0.000
1231	P-603	79.13	J-534	J-535	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.18	0.000
1233	P-604	73.81	J-535	J-536	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.16	0.000
1235	P-605	103.44	J-536	J-537	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.23	0.000
1237	P-606	56.57	J-537	J-538	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.13	0.000
1239	P-607	145.46	J-538	J-539	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.32	0.000
1241	P-608	119.98	J-539	J-540	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.27	0.050
1243	P-609	37.84	J-540	J-541	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.09	0.050
1245	P-610	52.34	J-541	J-542	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.12	0.050
1247	P-611	50.51	J-542	J-543	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.12	0.050
1249	P-612	28.55	J-543	J-544	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.08	0.100
1251	P-613	70.98	J-544	J-545	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.17	0.050
1253	P-614	37.00	J-545	J-546	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.11	0.200
1255	P-615	30.99	J-546	J-547	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.10	0.200
1257	P-616	35.35	J-547	J-548	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.11	0.200
1259	P-617	14.35	J-548	J-549	911.8	Ductile Iron	140.0	1,130.19	1.73	0.04	0.050
1261	P-618	162.63	J-549	Huacarpay	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.37	0.100
1263	P-619	23.61	J-550	J-551	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.06	0.050
1265	P-620	27.39	J-551	J-552	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.06	0.000
1267	P-621	200.33	J-552	J-553	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.43	0.000
1269	P-622	32.50	J-553	J-554	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.08	0.050
1271	P-623	48.19	J-554	J-555	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.11	0.050
1273	P-624	85.26	J-555	J-556	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.19	0.000
1275	P-625	40.43	J-556	J-557	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.09	0.000
1277	P-626	74.25	J-557	J-558	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.16	0.000
1279	P-627	211.86	J-558	J-559	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.46	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022





Tabla N° 40 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 04

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
1281	P-628	21.64	J-559	J-560	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.05	0.050
1283	P-629	151.00	J-560	J-561	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.34	0.050
1285	P-630	28.68	J-561	J-562	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.07	0.050
1287	P-631	30.64	J-562	J-563	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.07	0.050
1289	P-632	85.48	J-563	J-564	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.19	0.050
1291	P-633	14.91	J-564	J-565	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.050
1293	P-634	7.96	J-565	J-566	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.05	0.200
1295	P-635	9.02	J-566	J-567	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.05	0.200
1297	P-636	109.49	J-567	J-568	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.24	0.000
1299	P-637	10.28	J-568	J-569	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.05	0.200
1301	P-638	14.71	J-569	J-570	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.06	0.200
1303	P-639	26.45	J-570	J-571	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.07	0.100
1305	P-640	10.74	J-571	J-572	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1307	P-641	17.60	J-572	J-573	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1309	P-642	39.76	J-573	J-574	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.09	0.000
1311	P-643	20.57	J-574	J-575	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1313	P-644	238.99	J-575	J-576	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.52	0.000
1315	P-645	83.64	J-576	J-577	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.18	0.000
1317	P-646	37.39	J-577	J-578	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.08	0.000
1319	P-647	126.95	J-578	J-579	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.28	0.000
1321	P-648	132.79	J-579	J-580	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.29	0.000
1323	P-649	19.93	J-580	J-581	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1325	P-650	45.46	J-581	J-582	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.10	0.000
1327	P-651	153.99	J-582	J-583	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.33	0.000
1329	P-652	217.94	J-583	J-584	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.48	0.050
1331	P-653	23.62	J-584	J-585	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.06	0.050
1333	P-654	11.78	J-585	J-586	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.03	0.000
1335	P-655	69.67	J-586	J-587	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.15	0.000
1337	P-656	16.67	J-587	J-588	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.07	0.200
1339	P-657	21.79	J-588	J-589	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.08	0.200
1341	P-658	94.55	J-589	J-590	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.21	0.000
1343	P-659	27.55	J-590	J-591	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.06	0.000
1345	P-660	6.63	J-591	J-592	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1347	P-661	9.82	J-592	J-593	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1349	P-662	10.57	J-593	J-594	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1351	P-663	46.89	J-594	J-595	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.10	0.000
1353	P-664	62.48	J-595	J-596	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.14	0.000
1355	P-665	80.68	J-596	J-597	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.18	0.000
1357	P-666	8.94	J-597	J-598	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1359	P-667	5.74	J-598	J-599	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1361	P-668	4.93	J-599	J-600	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1363	P-669	15.66	J-600	J-601	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.03	0.000
1365	P-670	118.23	J-601	J-602	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.26	0.000
1367	P-671	99.81	J-602	J-603	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.22	0.000
1369	P-672	30.03	J-603	J-604	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.07	0.000
1371	P-673	16.99	J-604	J-605	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.050
1373	P-674	9.92	J-605	J-606	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1375	P-675	7.13	J-606	J-607	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 41 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 05

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
1377	P-676	6.32	J-607	J-608	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1379	P-677	7.71	J-608	J-609	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1381	P-678	41.32	J-609	J-610	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.09	0.000
1383	P-679	19.59	J-610	J-611	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1385	P-680	3.71	J-611	J-612	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1387	P-681	4.75	J-612	J-613	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1389	P-682	6.32	J-613	J-614	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1391	P-683	62.71	J-614	J-615	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.14	0.000
1393	P-684	6.72	J-615	J-616	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1395	P-685	61.90	J-616	J-617	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.13	0.000
1397	P-686	69.03	J-617	J-618	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.15	0.000
1399	P-687	9.35	J-618	J-619	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1401	P-688	107.07	J-619	J-620	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.23	0.000
1403	P-689	74.83	J-620	J-621	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.16	0.000
1405	P-690	16.59	J-621	J-622	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1407	P-691	53.51	J-622	J-623	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.12	0.000
1409	P-692	92.41	J-623	J-624	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.20	0.000
1411	P-693	91.76	J-624	J-625	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.20	0.000
1413	P-694	19.23	J-625	J-626	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1415	P-695	43.40	J-626	J-627	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.09	0.000
1417	P-696	54.11	J-627	J-628	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.12	0.000
1419	P-697	73.36	J-628	J-629	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.16	0.000
1421	P-698	5.15	J-629	J-630	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1423	P-699	6.91	J-630	J-631	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1425	P-700	4.35	J-631	J-632	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1427	P-701	138.00	J-632	J-633	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.30	0.000
1429	P-702	81.55	J-633	J-634	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.18	0.000
1431	P-703	5.89	J-634	J-635	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.01	0.000
1433	P-704	6.98	J-635	J-636	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1435	P-705	39.83	J-636	J-637	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.12	0.200
1437	P-706	12.24	J-637	J-638	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.06	0.200
1439	P-707	37.79	J-638	J-639	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.08	0.000
1441	P-708	17.87	J-639	J-640	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1443	P-709	9.51	J-640	J-641	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.02	0.000
1445	P-710	18.44	J-641	J-642	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1447	P-711	18.86	J-642	J-643	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.07	0.200
1449	P-712	10.19	J-643	J-644	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.05	0.200
1451	P-713	81.08	J-644	J-645	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.18	0.000
1453	P-714	36.80	J-645	J-646	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.08	0.000
1455	P-715	41.46	J-646	J-647	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.09	0.000
1457	P-716	95.97	J-647	J-648	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.21	0.000
1459	P-717	24.92	J-648	J-649	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.05	0.000
1461	P-718	93.61	J-649	J-650	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.20	0.000
1463	P-719	16.48	J-650	J-651	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.04	0.000
1465	P-720	85.00	J-651	J-652	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.18	0.000
1467	P-721	67.86	J-652	J-653	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.15	0.000
1469	P-722	99.12	J-653	J-654 Oropesa	911.8	Ductile Iron	140.0	1,115.56	1.71	0.22	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 42 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 06

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
1471	P-723	18.49	J-654 Oropesa	J-655	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.07	0.200
1473	P-724	4.95	J-655	J-656	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.04	0.200
1475	P-725	13.55	J-656	J-657	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.06	0.200
1477	P-726	8.23	J-657	J-658	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.04	0.200
1479	P-727	9.39	J-658	J-659	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.05	0.200
1481	P-728	5.09	J-659	J-660	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.04	0.200
1483	P-729	17.11	J-660	J-661	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.03	0.000
1485	P-730	32.16	J-661	J-662	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.07	0.050
1487	P-731	9.99	J-662	J-663	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.02	0.000
1489	P-732	156.51	J-663	J-664	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.32	0.000
1491	P-733	469.46	J-664	J-665	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.96	0.000
1493	P-734	14.43	J-665	J-666	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.03	0.000
1495	P-735	37.15	J-666	J-667	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.08	0.000
1497	P-736	120.67	J-667	J-668	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.25	0.000
1499	P-737	74.43	J-668	J-669	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.15	0.000
1501	P-738	116.77	J-669	J-670	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.24	0.000
1503	P-739	27.06	J-670	J-671	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.06	0.000
1505	P-740	119.06	J-671	J-672	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.25	0.050
1507	P-741	62.27	J-672	J-673	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.13	0.000
1509	P-742	59.27	J-673	J-674	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.12	0.000
1511	P-743	116.82	J-674	J-675	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.24	0.000
1513	P-744	25.46	J-675	J-676	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.05	0.000
1515	P-745	176.77	J-676	J-677	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.36	0.000
1517	P-746	37.09	J-677	J-678	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.08	0.000
1519	P-747	19.78	J-678	J-679	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.04	0.000
1521	P-748	102.47	J-679	J-680	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.21	0.000
1523	P-749	117.99	J-680	J-681	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.25	0.100
1525	P-750	48.20	J-681	J-682	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.11	0.100
1527	P-751	44.08	J-682	J-683	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.10	0.050
1529	P-752	51.57	J-683	J-684	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.11	0.000
1531	P-753	21.23	J-684	J-685	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.04	0.000
1533	P-754	58.26	J-685	J-686	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.12	0.000
1535	P-755	19.74	J-686	J-687	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.04	0.000
1537	P-756	38.49	J-687	J-688	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.08	0.000
1539	P-757	148.13	J-688	J-689	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.30	0.000
1541	P-758	16.30	J-689	J-690	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.03	0.000
1543	P-759	55.34	J-690	J-691	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.11	0.000
1545	P-760	22.03	J-691	J-692	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.04	0.000
1547	P-761	285.15	J-692	J-693	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.58	0.000
1549	P-762	255.74	J-693	J-694	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.52	0.000
1551	P-763	85.49	J-694	J-695	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.17	0.000
1553	P-764	74.52	J-695	J-696	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.15	0.000
1555	P-765	111.80	J-696	J-697	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.23	0.000
1557	P-766	166.94	J-697	J-698	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.34	0.000
1559	P-767	10.87	J-698	J-699	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.02	0.000
1561	P-768	11.85	J-699	J-700	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.02	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 43 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 07

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
1563	P-769	37.51	J-700	J-701	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.08	0.000
1565	P-770	78.23	J-701	J-702	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.16	0.000
1567	P-771	61.94	J-702	J-703	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.13	0.000
1569	P-772	193.21	J-703	J-704	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.39	0.000
1571	P-773	46.14	J-704	J-705	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.09	0.000
1573	P-774	176.93	J-705	J-706	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.36	0.000
1575	P-775	247.29	J-706	J-707	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.50	0.000
1577	P-776	18.60	J-707	J-708	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.04	0.000
1579	P-777	6.92	J-708	J-709	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.01	0.000
1581	P-778	12.50	J-709	J-710	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.03	0.000
1583	P-779	39.81	J-710	J-711	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.08	0.000
1585	P-780	79.78	J-711	J-712	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.16	0.000
1587	P-781	56.42	J-712	J-713	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.12	0.000
1589	P-782	44.16	J-713	J-714	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.09	0.000
1591	P-783	150.34	J-714	J-715	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.31	0.000
1593	P-784	235.12	J-715	J-716	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.48	0.000
1595	P-785	147.47	J-716	J-717 Saylla Huasao	911.8	Ductile Iron	140.0	1,078.84	1.65	0.31	0.100
1597	P-786	56.93	J-717 Saylla Huasao	J-718	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.12	0.100
1599	P-787	8.87	J-718	J-719	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.03	0.100
1601	P-788	32.08	J-719	J-720	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.07	0.100
1603	P-789	109.47	J-720	J-721	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.20	0.000
1605	P-790	49.46	J-721	J-722	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.000
1607	P-791	153.52	J-722	J-723	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.29	0.000
1609	P-792	55.55	J-723	J-724	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.10	0.000
1611	P-793	20.40	J-724	J-725	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.04	0.000
1613	P-794	20.83	J-725	J-726	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.04	0.000
1615	P-795	20.36	J-726	J-727	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.04	0.000
1617	P-796	19.84	J-727	J-728	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.04	0.050
1619	P-797	20.50	J-728	J-729	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.04	0.000
1621	P-798	125.64	J-729	J-730	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.24	0.050
1623	P-799	66.28	J-730	J-731	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.12	0.000
1625	P-800	125.71	J-731	J-732	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.23	0.000
1627	P-801	7.17	J-732	J-733	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.04	0.200
1629	P-802	12.26	J-733	J-734	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.05	0.200
1631	P-803	97.14	J-734	J-735	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.18	0.000
1633	P-804	96.22	J-735	J-736	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.20	0.200
1635	P-805	33.52	J-736	J-737	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.200
1637	P-806	18.45	J-737	J-738	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.03	0.000
1639	P-807	73.06	J-738	J-739	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.14	0.000
1641	P-808	46.57	J-739	J-740	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.000
1643	P-809	37.80	J-740	J-741	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.07	0.000
1645	P-810	60.31	J-741	J-742	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.11	0.000
1647	P-811	222.25	J-742	J-743	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.41	0.000
1649	P-812	56.38	J-743	J-744	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.11	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 44 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 08

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
1651	P-813	62.99	J-744	J-745	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.12	0.000
1653	P-814	80.42	J-745	J-746	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.15	0.000
1655	P-815	39.39	J-746	J-747	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.07	0.000
1657	P-816	23.82	J-747	J-748	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.04	0.000
1659	P-817	60.83	J-748	J-749	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.13	0.100
1661	P-818	30.05	J-749	J-750	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.07	0.100
1663	P-819	46.50	J-750	J-751	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.000
1665	P-820	61.81	J-751	J-752	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.12	0.000
1667	P-821	79.78	J-752	J-753	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.15	0.000
1669	P-822	57.82	J-753	J-754	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.11	0.000
1671	P-823	15.33	J-754	J-755	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.03	0.050
1673	P-824	51.42	J-755	J-756	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.10	0.050
1675	P-825	37.28	J-756	J-757	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.07	0.000
1677	P-826	50.55	J-757	J-758	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.000
1679	P-827	68.14	J-758	J-759	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.13	0.000
1681	P-828	5.82	J-759	J-760	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.01	0.000
1683	P-829	44.37	J-760	J-761	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.10	0.100
1685	P-830	27.40	J-761	J-762	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.06	0.100
1687	P-831	23.22	J-762	J-763	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.06	0.100
1689	P-832	115.20	J-763	J-764	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.21	0.000
1691	P-833	6.85	J-764	J-765	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.01	0.000
1693	P-834	69.60	J-765	J-766	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.13	0.000
1695	P-835	38.29	J-766	J-767	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.07	0.000
1697	P-836	59.74	J-767	J-768	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.11	0.000
1699	P-837	111.94	J-768	J-769	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.21	0.000
1701	P-838	79.80	J-769	J-770	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.15	0.000
1703	P-839	45.71	J-770	J-771	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.11	0.200
1705	P-840	41.02	J-771	J-772	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.10	0.200
1707	P-841	52.20	J-772	J-773	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.10	0.000
1709	P-842	171.92	J-773	J-774	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.32	0.000
1711	P-843	68.45	J-774	J-775	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.13	0.000
1713	P-844	105.87	J-775	J-776	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.20	0.000
1715	P-845	175.85	J-776	J-777	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.33	0.000
1717	P-846	119.78	J-777	J-778	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.22	0.000
1719	P-847	215.07	J-778	J-779	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.40	0.000
1721	P-848	124.80	J-779	J-780	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.23	0.000
1723	P-849	50.41	J-780	J-781	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.000
1725	P-850	41.29	J-781	J-782	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.08	0.000
1727	P-851	118.25	J-782	J-783	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.22	0.000
1729	P-852	65.45	J-783	J-784	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.12	0.000
1731	P-853	143.29	J-784	J-785	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.27	0.000
1733	P-854	227.72	J-785	J-786	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.42	0.000
1735	P-855	82.04	J-786	J-787	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.15	0.000
1737	P-856	103.52	J-787	J-788	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.19	0.000
1739	P-857	82.82	J-788	J-789	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.15	0.000
1741	P-858	40.97	J-789	J-790	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.08	0.000
1743	P-859	90.76	J-790	J-791	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.17	0.000
1745	P-860	106.56	J-791	J-792	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.20	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 45 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Rumicolca – E.B. Collana 09

**Reporte de Tuberías**  
**Tramo Rumicolca - Collana**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
1747	P-861	206.93	J-792	J-793	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.41	0.200
1749	P-862	45.51	J-793	J-794	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.050
1751	P-863	33.61	J-794	J-795	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.08	0.100
1753	P-864	148.85	J-795	J-796	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.29	0.100
1755	P-865	48.81	J-796	J-797	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.10	0.100
1757	P-866	48.27	J-797	J-798	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.000
1759	P-867	55.20	J-798	J-799	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.10	0.000
1761	P-868	149.43	J-799	J-800	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.28	0.050
1763	P-869	86.30	J-800	J-801	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.17	0.050
1765	P-870	34.58	J-801	J-802	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.06	0.000
1767	P-871	192.19	J-802	J-803	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.36	0.000
1769	P-872	8.15	J-803	J-804	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.02	0.000
1771	P-873	10.08	J-804	J-805	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.03	0.100
1773	P-874	11.88	J-805	J-806	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.05	0.200
1775	P-875	9.37	J-806	J-807	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.02	0.050
1777	P-876	48.83	J-807	J-808	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.12	0.200
1779	P-877	45.28	J-808	J-809	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.050
1781	P-878	74.96	J-809	J-810	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.15	0.050
1783	P-879	53.42	J-810	J-811	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.10	0.000
1785	P-880	49.43	J-811	J-812	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.12	0.200
1787	P-881	35.23	J-812	J-813	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.07	0.000
1789	P-882	193.55	J-813	J-814	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.36	0.000
1791	P-883	111.94	J-814	J-815	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.23	0.200
1793	P-884	13.00	J-815	J-816	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.04	0.100
1795	P-885	12.54	J-816	J-817	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.03	0.050
1797	P-886	175.85	J-817	J-818	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.33	0.000
1799	P-887	98.25	J-818	J-819	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.18	0.000
1801	P-888	48.77	J-819	J-820	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.000
1803	P-889	115.65	J-820	J-821	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.22	0.000
1805	P-890	25.74	J-821	J-822	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.05	0.000
1807	P-891	33.32	J-822	J-823	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.09	0.200
1809	P-892	9.88	J-823	J-824	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.03	0.100
1811	P-893	13.91	J-824	J-825	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.05	0.200
1812	P-894	50.68	J-825	R-Collana	911.8	Ductile Iron	140.0	1,027.22	1.57	0.12	0.200
1815	P-895	9.88	RUMICOLCA	PMP-10	911.8	Ductile Iron	140.0	569.42	0.87	0.01	0.000
1816	P-896	12.39	PMP-10	J-01	911.8	Ductile Iron	140.0	569.42	0.87	0.01	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 46 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 01

**Reporte de Tuberías**  
**Simulación Hidraulica: Tramo Collana - R12**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
33	P-1	53.95	J-1	J-2	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.12	0.000
35	P-2	6.77	J-2	J-3	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
37	P-3	125.44	J-3	J-4	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.29	0.000
39	P-4	14.38	J-4	J-5	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000
41	P-5	261.09	J-5	J-6	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.60	0.000
43	P-6	12.00	J-6	J-7	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000
45	P-7	6.03	J-7	J-8	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
47	P-8	14.89	J-8	J-9	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000
49	P-9	8.40	J-9	J-10	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
51	P-10	115.92	J-10	J-11	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.27	0.000
53	P-11	337.53	J-11	J-12	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.77	0.000
55	P-12	21.95	J-12	J-13	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.05	0.000
57	P-13	159.06	J-13	J-14	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.36	0.000
59	P-14	34.23	J-14	J-15	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.08	0.000
61	P-15	19.12	J-15	J-16	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.04	0.000
63	P-16	37.68	J-16	J-17	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.09	0.000
65	P-17	31.58	J-17	J-18	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.07	0.000
67	P-18	39.30	J-18	J-19	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.09	0.000
69	P-19	61.66	J-19	J-20	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.14	0.000
71	P-20	34.41	J-20	J-21	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.08	0.000
73	P-21	76.74	J-21	J-22	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.18	0.000
75	P-22	42.71	J-22	J-23	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.10	0.000
77	P-23	103.94	J-23	J-24	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.24	0.000
79	P-24	81.49	J-24	J-25	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.19	0.000
81	P-25	12.92	J-25	J-26	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000
83	P-26	87.65	J-26	J-27	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.20	0.000
85	P-27	40.71	J-27	J-28	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.09	0.000
87	P-28	94.30	J-28	J-29	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.22	0.000
89	P-29	32.78	J-29	J-30	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.08	0.000
91	P-30	90.32	J-30	J-31	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.21	0.000
93	P-31	43.73	J-31	J-32	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.10	0.000
95	P-32	43.38	J-32	J-33	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.10	0.000
97	P-33	20.21	J-33	J-34	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.05	0.000
99	P-34	77.67	J-34	J-35	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.18	0.000
101	P-35	144.17	J-35	J-36	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.33	0.000
103	P-36	8.89	J-36	J-37	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
105	P-37	5.70	J-37	J-38	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
107	P-38	5.13	J-38	J-39	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
109	P-39	11.59	J-39	J-40	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022





Tabla N° 47 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 01

**Reporte de Tuberías**  
**Simulación Hidraulica: Tramo Collana - R12**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
111	P-40	40.49	J-40	J-41	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.09	0.000
113	P-41	83.42	J-41	J-42	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.19	0.000
115	P-42	186.01	J-42	J-43	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.43	0.000
117	P-43	29.37	J-43	J-44	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.07	0.000
119	P-44	348.71	J-44	J-45	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.80	0.000
121	P-45	51.01	J-45	J-46	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.12	0.000
123	P-46	9.15	J-46	J-47	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
125	P-47	12.41	J-47	J-48	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000
127	P-48	63.26	J-48	J-49	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.14	0.000
129	P-49	25.50	J-49	J-50	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.06	0.000
131	P-50	4.96	J-50	J-51	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
133	P-51	7.81	J-51	J-52	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
135	P-52	6.38	J-52	J-53	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
137	P-53	7.04	J-53	J-54	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
139	P-54	79.33	J-54	J-55	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.18	0.000
141	P-55	82.73	J-55	J-56	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.19	0.000
143	P-56	46.88	J-56	J-57	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.11	0.000
145	P-57	16.91	J-57	J-58	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.04	0.000
147	P-58	44.52	J-58	J-59	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.10	0.000
149	P-59	58.78	J-59	J-60	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.13	0.000
151	P-60	41.07	J-60	J-61	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.09	0.000
153	P-61	27.15	J-61	J-62	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.06	0.000
155	P-62	72.13	J-62	J-63	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.17	0.000
157	P-63	31.90	J-63	J-64	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.07	0.000
159	P-64	247.68	J-64	J-65	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.57	0.000
161	P-65	178.69	J-65	J-66	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.41	0.000
163	P-66	64.24	J-66	J-67	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.15	0.000
165	P-67	20.96	J-67	J-68	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.05	0.000
181	P-72	31.08	J-68	J-69	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.07	0.000
183	P-73	23.99	J-69	J-70	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.06	0.000

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 48 Reporte de simulación Hidráulica Impulsión Tramo E.B. Collana – Reservorio R12 02

**Reporte de Tuberías**  
**Simulación Hidraulica: Tramo Collana - R12**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (m)	Minor Loss Coefficient (Local)
185	P-74	3.21	J-70	J-71	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
187	P-75	5.23	J-71	J-72	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
189	P-76	4.51	J-72	J-73	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
191	P-77	13.73	J-73	J-74	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000
193	P-78	24.24	J-74	J-75	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.06	0.000
195	P-79	6.67	J-75	J-76	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
197	P-80	7.63	J-76	J-77	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
199	P-81	5.59	J-77	J-78	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
201	P-82	9.32	J-78	J-79	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.02	0.000
203	P-83	4.76	J-79	J-80	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
205	P-84	4.78	J-80	J-81	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
207	P-85	4.85	J-81	J-82	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.01	0.000
209	P-86	19.28	J-82	J-83	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.04	0.000
211	P-87	21.95	J-83	J-84	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.05	0.000
213	P-88	57.81	J-84	J-85	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.13	0.000
215	P-89	56.15	J-85	J-86	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.13	0.000
217	P-90	48.03	J-86	J-87	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.11	0.000
219	P-91	17.23	J-87	J-88	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.04	0.000
221	P-92	13.16	J-88	J-89	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000
223	P-93	13.85	J-89	J-90	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.03	0.000
225	P-94	16.25	J-90	J-91	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.04	0.000
226	P-95	15.88	J-91	R-12A	911.8	Ductile Iron	140.0	1,149	1.76	0.04	0.000
168	P-68	11.56	Cisterna-Collana	PMP-Collana1	911.8	Ductile Iron	140.0	574	0.88	0.01	0.000
169	P-69	8.21	PMP-Collana1	J-1	911.8	Ductile Iron	140.0	574	0.88	0.01	0.000
173	P-70	9.79	Cisterna-Collana	PMP-Collana2	911.8	Ductile Iron	140.0	574	0.88	0.01	0.000
174	P-71	10.78	PMP-Collana2	J-1	911.8	Ductile Iron	140.0	574	0.88	0.01	0.000

Collana R12 2da etapa.wtg

04/05/2022

Bentley Systems, Inc. Haestad Methods Solution Center

27 Siemon Company Drive Suite 200 W Watertown, CT 06795 USA +1-203-755-1666

WaterGEMS CONNECT Edition Update 2

[10.02.03.06]

Page 1 of 1

Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



Tabla N° 49 Reporte de simulación Hidráulica Interconexión Tramo R12 – Cámara de Empalme Bolivar

**Reporte de Tuberías Interconexión**

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss (Friction) (m)	Length (m)	Length (User Defined) (m)	Has User Defined Length?
34	Tub-1	129.45	R-12	J-1	708.40	Ductile Iron	140.0	550.48	1.40	0.27	135.92	135.92	True
36	Tub-2	2,909.12	J-1	J-2	708.40	Ductile Iron	140.0	550.48	1.40	6.13	3,054.58	3,054.58	True
38	Tub-3	473.23	J-2	J-3	708.40	Ductile Iron	140.0	550.48	1.40	1.00	496.89	496.89	True
40	Tub-4	2,096.81	J-3	J-4	708.40	Ductile Iron	140.0	369.03	0.94	2.11	2,201.65	2,201.65	True
42	Tub-5	411.58	J-4	J-5	708.40	Ductile Iron	140.0	177.34	0.45	0.11	432.16	432.16	True
44	Tub-6	2,092.09	J-5	J-6	507.00	Ductile Iron	140.0	177.34	0.88	2.76	2,196.69	2,196.69	True
46	Tub-7	620.54	J-6	J-7	406.00	Ductile Iron	140.0	36.86	0.28	0.13	651.57	651.57	True
50	Tub-9	1,720.74	J-7	J-9	406.00	Ductile Iron	140.0	10.10	0.08	0.03	1,806.78	1,806.78	True
51	Tub-10	772.36	J-9	E.B. R-5.	406.00	Ductile Iron	140.0	10.10	0.08	0.01	800.01	800.01	True
53	Tub-11	841.64	J-3	J-10	202.60	Ductile Iron	140.0	38.04	1.18	5.59	883.72	883.72	True
55	Tub-12	777.48	J-10	J-11	180.80	PVC	150.0	38.04	1.48	7.92	816.35	816.35	True
57	Tub-13	330.09	J-11	RESERVORIO R-14	180.80	PVC	150.0	38.04	1.48	3.31	341.34	341.34	True
66	Tub-15	772.59	J-4	J-14	303.60	Ductile Iron	140.0	191.69	2.65	14.31	811.22	811.22	True
67	Tub-16	478.30	J-14	RESERVORIO R-10	303.60	Ductile Iron	140.0	191.69	2.65	8.86	502.22	502.22	True
74	Tub-20	1,125.76	J-16	RESERVORIO R-1	406.00	Ductile Iron	140.0	231.43	1.79	7.18	1,182.05	1,182.05	True
76	Tub-21	221.54	J-6	J-17	303.60	Ductile Iron	140.0	87.60	1.21	0.96	232.62	232.62	True
77	Tub-22	413.36	J-17	RESERVORIO R-13	303.60	Ductile Iron	140.0	87.60	1.21	1.77	428.85	428.85	True
81	Tub-24	233.52	J-7	J-19	136.40	PVC	150.0	26.76	1.83	4.89	245.20	245.20	True
83	Tub-25	216.27	J-19	J-20	136.40	PVC	150.0	26.76	1.83	4.53	227.08	227.08	True
85	Tub-26	216.63	J-20	E.B. MD	144.60	PVC	150.0	26.76	1.63	3.41	227.46	227.46	True
88	Tub-27	1,124.97	R-12	J-22	810.80	Ductile Iron	140.0	610.32	1.18	1.49	1,181.22	1,181.22	True
90	Tub-28	1,575.87	J-22	J-23	810.80	Ductile Iron	140.0	610.32	1.18	2.08	1,654.66	1,654.66	True
92	Tub-29	370.36	J-23	J-24	810.80	Ductile Iron	140.0	610.32	1.18	0.49	388.88	388.88	True
94	Tub-31	476.77	R-1	R-12	923.80	Ductile Iron	140.0	1,349.41	2.01	1.45	500.61	500.61	True
112	Tub-36	795.20	J-34	J-16	406.00	Ductile Iron	140.0	231.43	1.79	5.07	834.96	834.96	True
113	Tub-37	3,396.69	J-24	J-34	810.80	Ductile Iron	140.0	610.32	1.18	4.49	3,566.52	3,566.52	True
119	Tub-41	229.29	J-6	J-36	406.00	Ductile Iron	140.0	52.88	0.41	0.09	240.75	240.75	True
122	Tub-43	722.30	J-36	EB R13	406.00	Ductile Iron	140.0	52.88	0.41	0.30	754.80	754.80	True
126	Tub-44	845.66	J-3	J-39	355.20	Ductile Iron	140.0	143.41	1.45	4.26	887.94	887.94	True
127	Tub-45	777.12	J-39	J-40	355.20	Ductile Iron	140.0	143.41	1.45	3.92	815.98	815.98	True
130	Tub-46	323.56	J-40	E.B. R-14	355.20	Ductile Iron	140.0	143.41	1.45	1.63	339.74	339.74	True
132	Tub-47	791.04	J-34	J-42	810.80	Ductile Iron	140.0	378.89	0.73	0.43	830.59	830.59	True
134	Tub-48	1,764.87	J-42	J-43	708.40	Ductile Iron	140.0	378.89	0.96	1.86	1,853.11	1,853.11	True
136	Tub-49	2,009.64	J-43	J-44	708.40	Ductile Iron	140.0	378.89	0.96	2.12	2,110.12	2,110.12	True
138	Tub-50	208.90	J-44	J-45	708.40	Ductile Iron	140.0	378.89	0.96	0.22	219.35	219.35	True
139	Tub-51	1,016.15	J-45	RES R-5 Y R-4	708.40	Ductile Iron	140.0	378.89	0.96	1.06	1,055.27	1,055.27	True

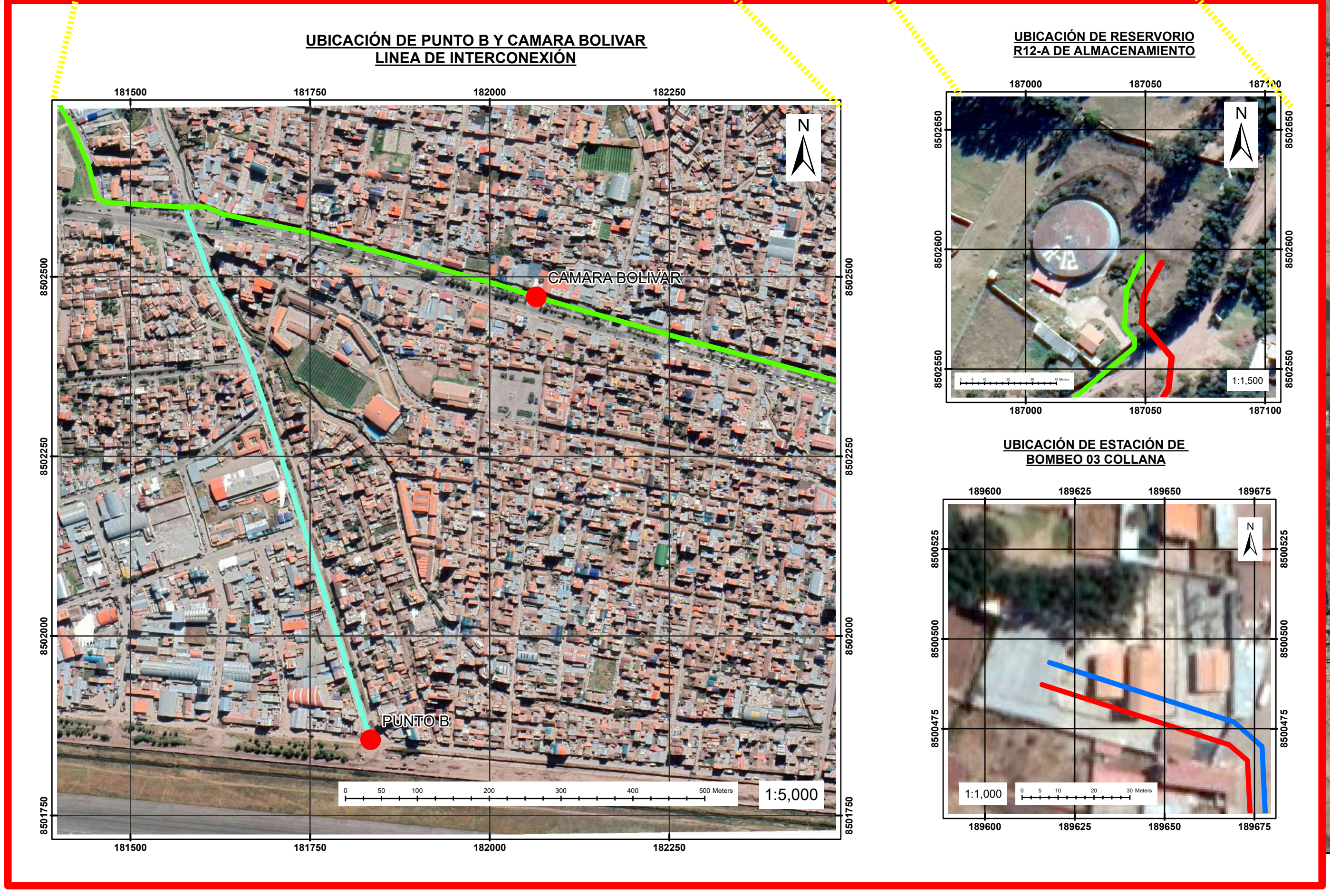
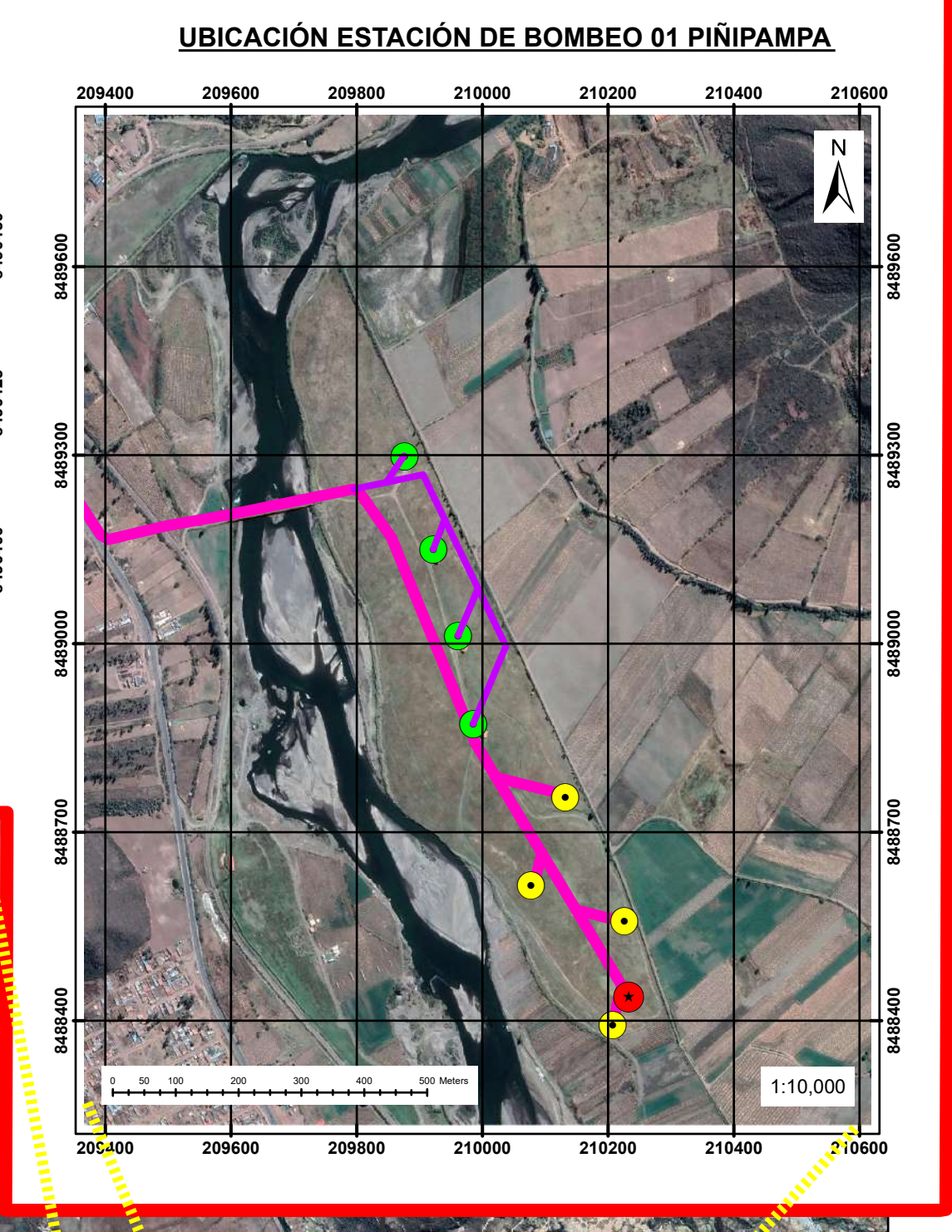
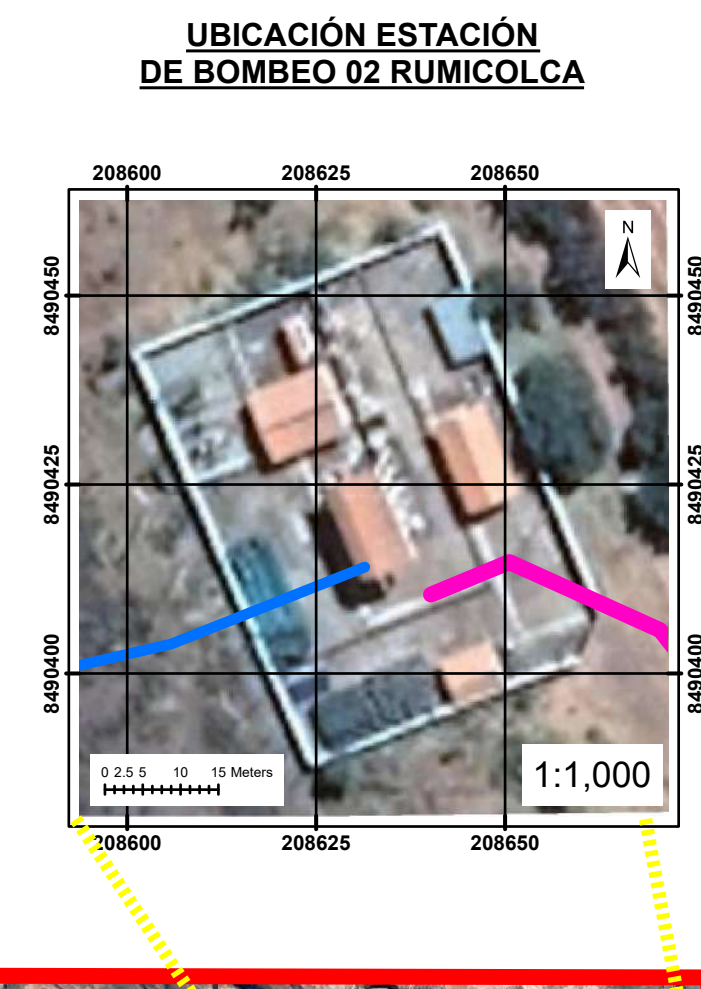
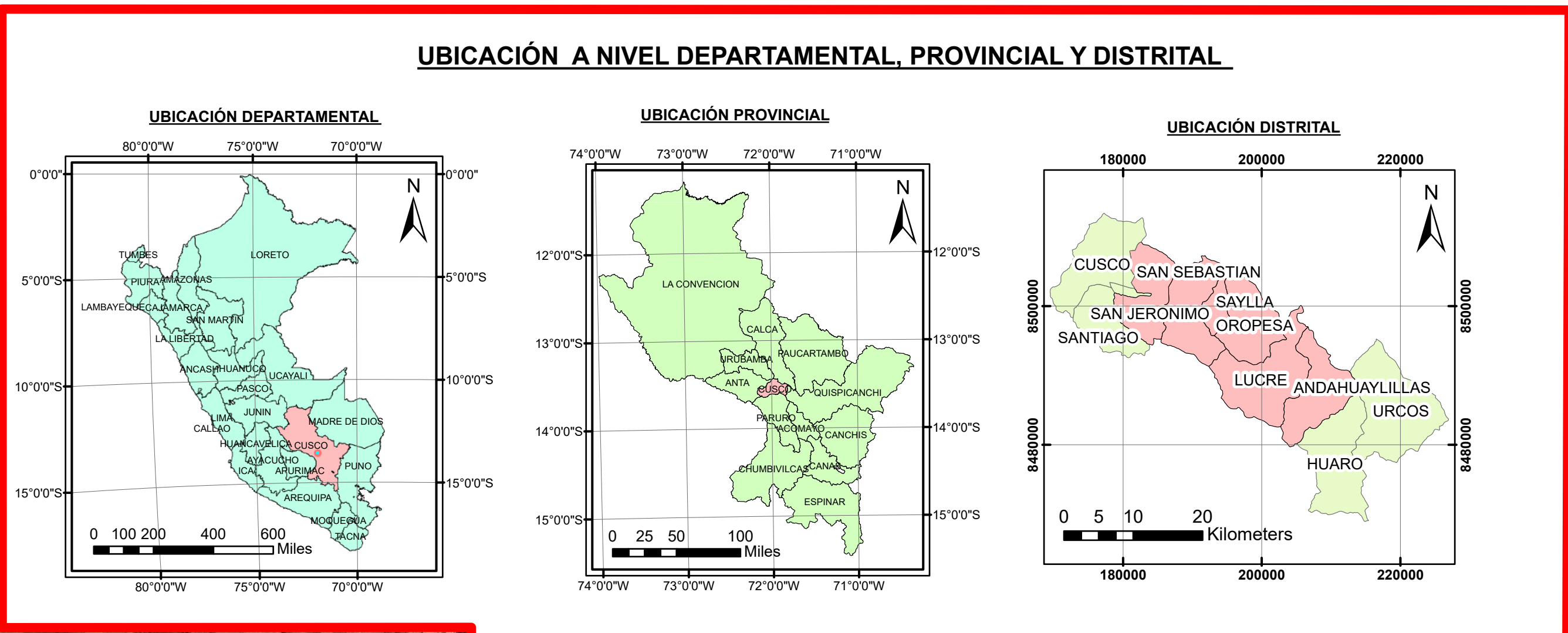
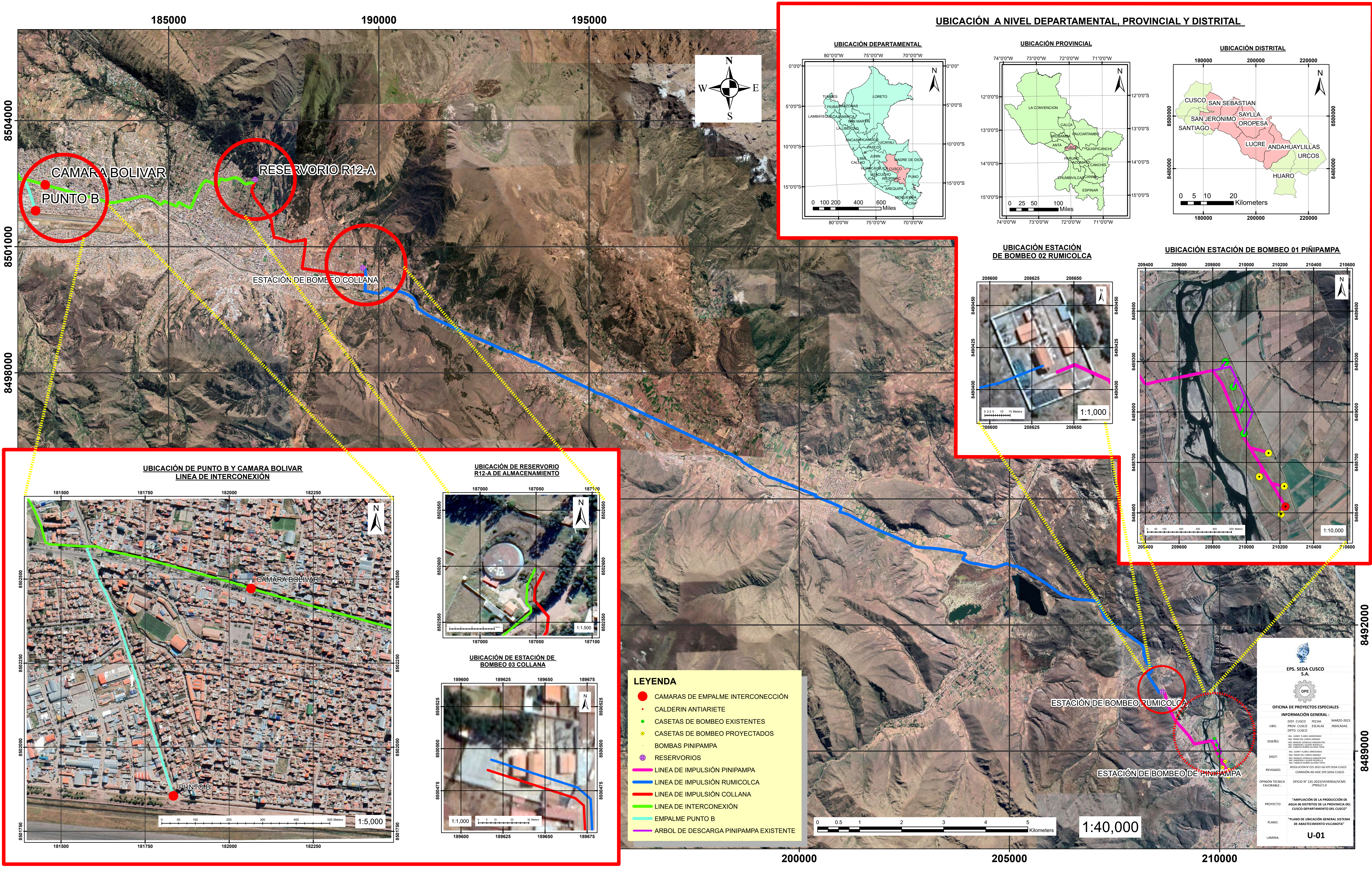
Fuente: E.P.S. SedaCusco 2022



## PLANOS



# PLANO DE UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA 06 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO"



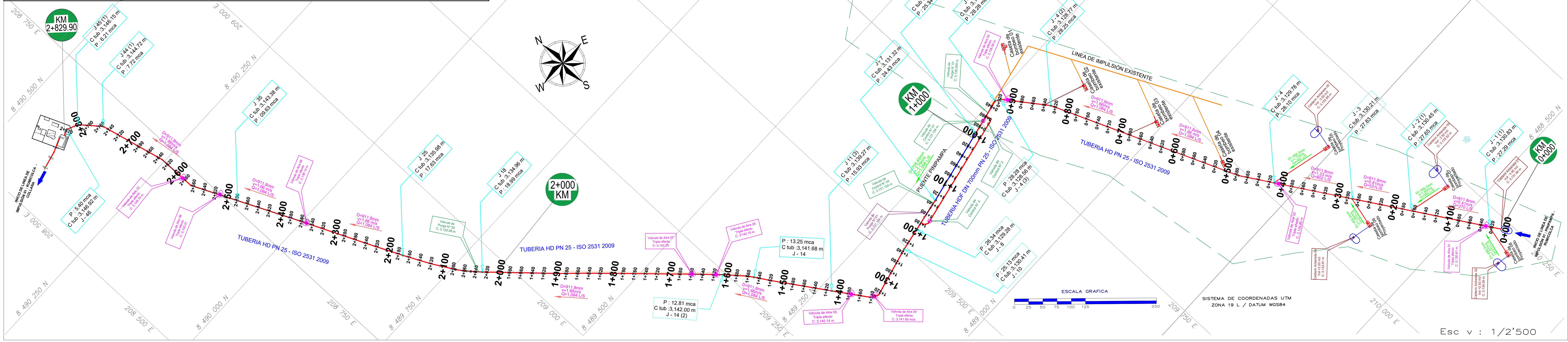
- ### LEYENDA
- CAMARAS DE EMPALME INTERCONEXIÓN
  - CALDERIN ANTIARIE
  - CASSETAS DE BOMBEO EXISTENTES
  - CASSETAS DE BOMBEO PROYECTADOS
  - BOMBAS PINIPAMPA
  - RESERVORIOS
  - LINEA DE IMPULSIÓN PINIPAMPA
  - LINEA DE IMPULSIÓN RUMICOLCA
  - LINEA DE IMPULSIÓN COLLANA
  - LINEA DE INTERCONEXIÓN
  - EMPALME PUNTO B
  - ARBOL DE DESCARGA PINIPAMPA EXISTENTE

<b>EPS. SEDA CUSCO</b>	
<b>OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES</b>	
<b>INFORMACIÓN GENERAL:</b>	
UBIC.:	DIST. CUSCO
PROY.:	FECHA:
DPTO.:	ESCALA:
DESAR.:	INDICADAS:
DIGIT.:	
REVISADO:	
OPINIÓN TÉCNICA FAVORABLE:	
PROYECTO:	"AMPLIACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA DE DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO"
PLANO:	"PLANO DE UBICACIÓN GENERAL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO VILCANOTA"
LAMINA:	<b>U-01</b>

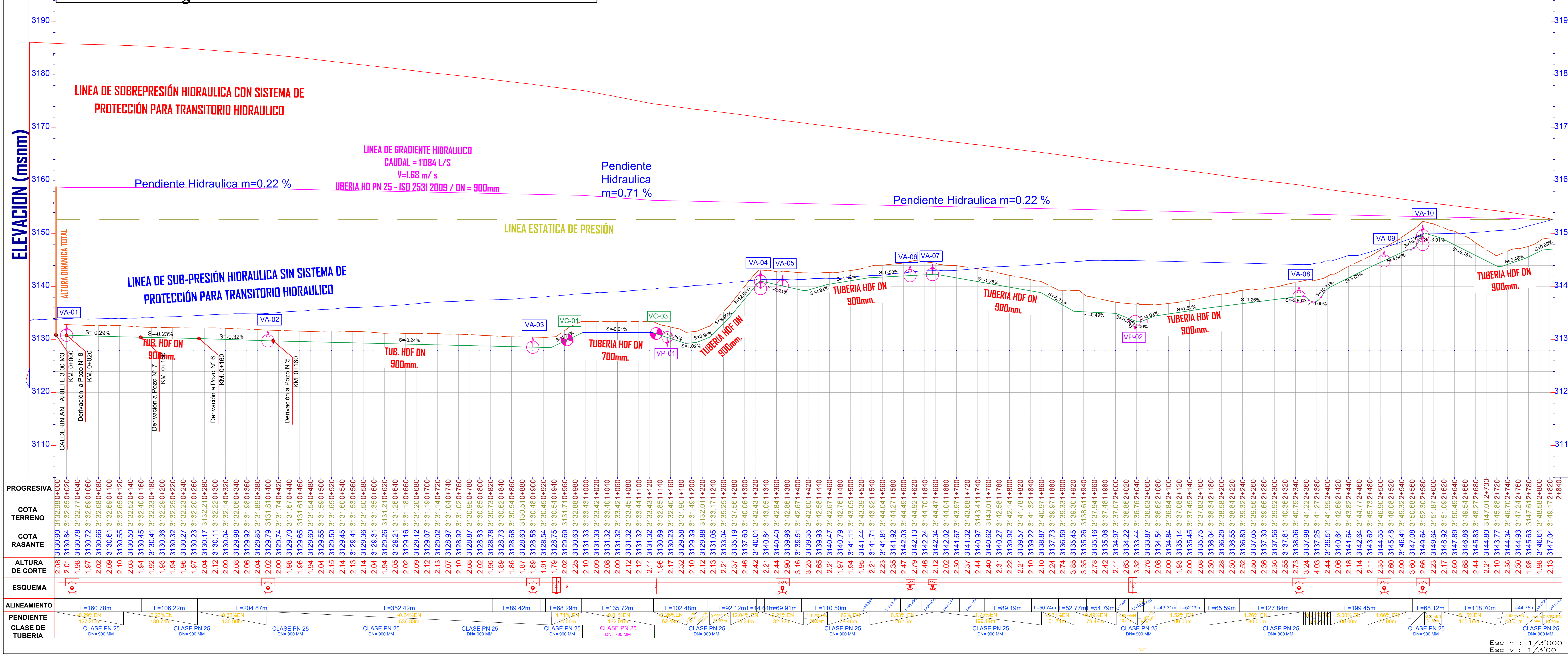


**PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO CON SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS- SEGUNDA ETAPA - TRAMO PINIPAMPA RUMICOLCA**  
 CAUDAL = 1'084.00 litros /segundo  
 TUBERIA HDF - PN 25 ISO 2531-2009 / DN = 900 mm

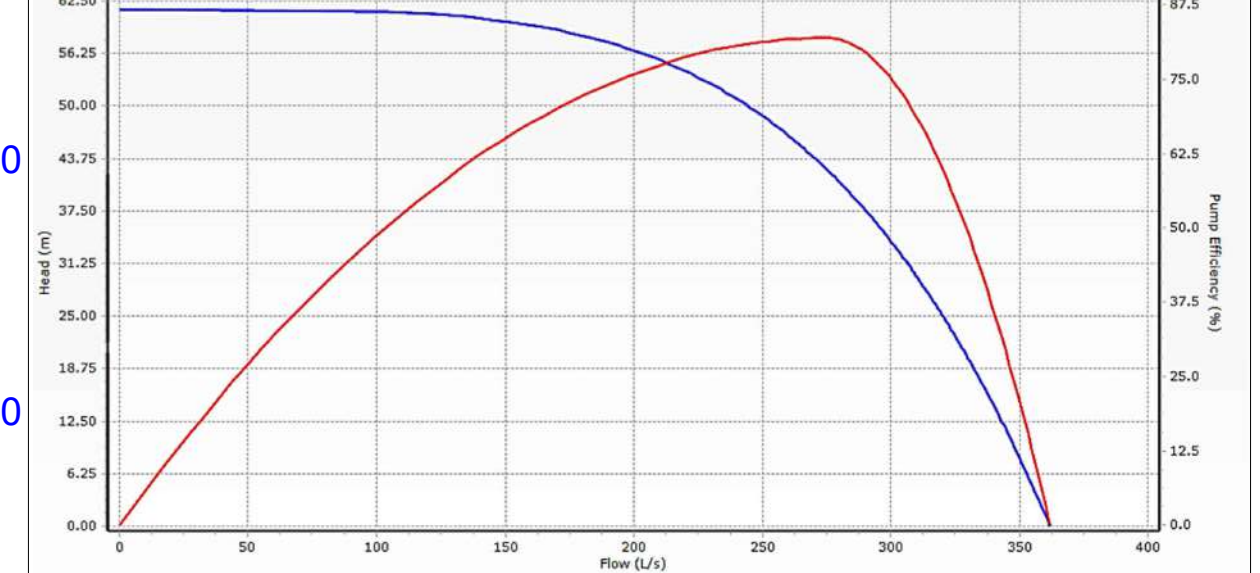
**Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección - Tramo Pinipampa Rumicolca**  
 Longitud : 0+000 - 2+829.90 m



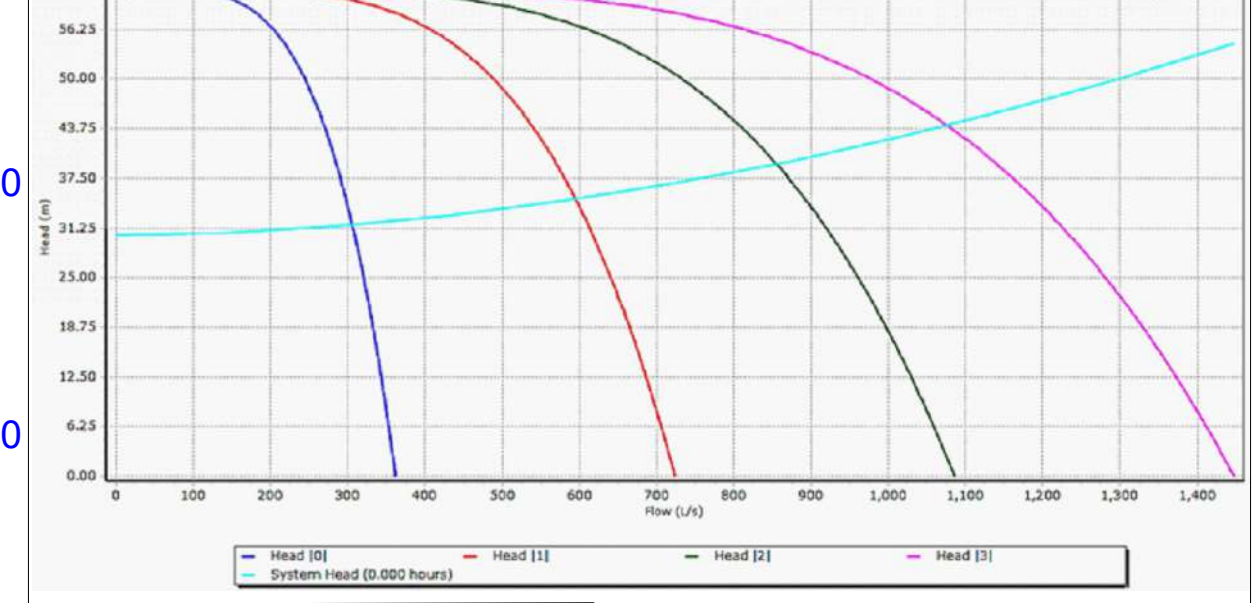
**Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección - Tramo Pinipampa Rumicolca**  
 Longitud : 0+000 - 2+829.90 m



**CURVA DE DISEÑO DE LAS BOMBAS - SIMULACIÓN HIDRAULICA EB PINIPAMPA**



**CURVA DEL SISTEMA DE BOMBEO - ESTACION DE BOMBEO PINIPAMPA**



**LEYENDA - PLANTA**

- D: mm: DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA EN MM
- Q: L/S: CAUDAL DE DISEÑO DE PRODUCCION EN L/S
- V: m/s: VELOCIDAD DEL FLUIDO EN M/S
- C: m: COTA GEOMETRICA DE LOS MIEMBROS
- J: PRESION LINEAL DE GRADIENTE HIDRAULICO EN METROS DE COLUMNA DE AGUA
- NORTE MAGNETICO
- DIRECCION DEL FLUIDO
- SIMULACION RESERVORIO
- SIMULACION BOMBA DE IMPULSION
- VALVULA DE AIRE
- CAUDERIN MANTENIMIENTO
- LINEA DE IMPULSION PROTEGIDA EN 190mm
- LINEA DE IMPULSION EXISTENTE EN 700mm

**LEYENDA - PERFIL**

- CAMARA DE VALVULA DE CONTROL
- CAMARA DE VALVULA DE PURGA
- CAMARA DE VALVULA DE AIRE
- CAMARA DE VALVULA DE AIRE - DISEÑO
- LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA SIN SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS
- LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICO PROYECTADO PARA CAUDAL = 1'084 L/S
- LINEA ESTATICA DE PRESION PROYECTADO
- LINEA DE TERRENO NATURAL
- LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA SIN SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS
- LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA CON SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS

**Especificaciones Generales**

- DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA : 900 mm
- DIAMETRO EFECTIVO DE TUBERIA : 911.80 mm
- CLASE DE TUBERIA : PN - 25
- MATERIAL DE LINEA DE IMPULSION : HDF ISO 2531 - 2009
- CAUDAL DE PRODUCCION : 1'084 litros /segundo

**EPS. SEDACUSCO S.A.**  
 OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES

**PHB-2**

PROYECTO: AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA POTABLE 6 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO II ETAPA

PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO 2DA ETAPA CON SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - LINEA DE IMPULSION TRAMO PINIPAMPA RUMICOLCA

UBICACION: CUSCO

FECHA: 2023

INDICACION: INDICACION

Esc h : 1/3'000  
 Esc v : 1/3'000



PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO CON SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - SEGUNDA ETAPA - TRAMO RUMICOLCA - COLLANA

CAUDAL = 1'123.87 litros /segundo
TUBERIA HDF - PN 25 ISO 2531-2009 /DN = 900 mm

Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección para Transitorio Hidraulico
Tramo Rumicolca - Collana
Longitud : 0+000 - 3+000.00 m

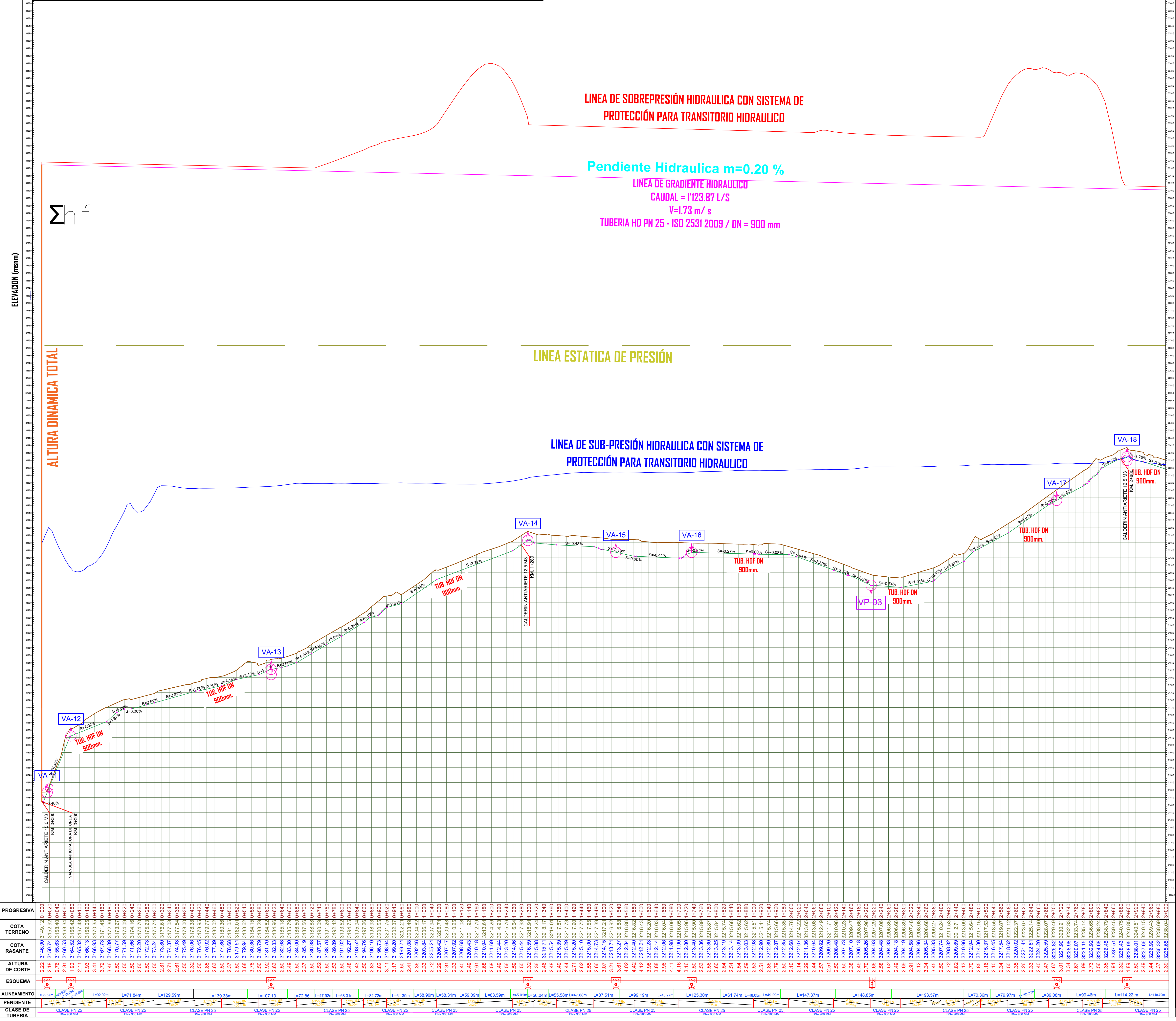


Table with columns: PROGRESIVA, COTA TERRENO, COTA RASANTE, ALTURA DE CORTE, ESQUEMA, ALINEAMIENTO, PENDIENTE, CLASE DE TUBERIA. Contains detailed data for the project segment.

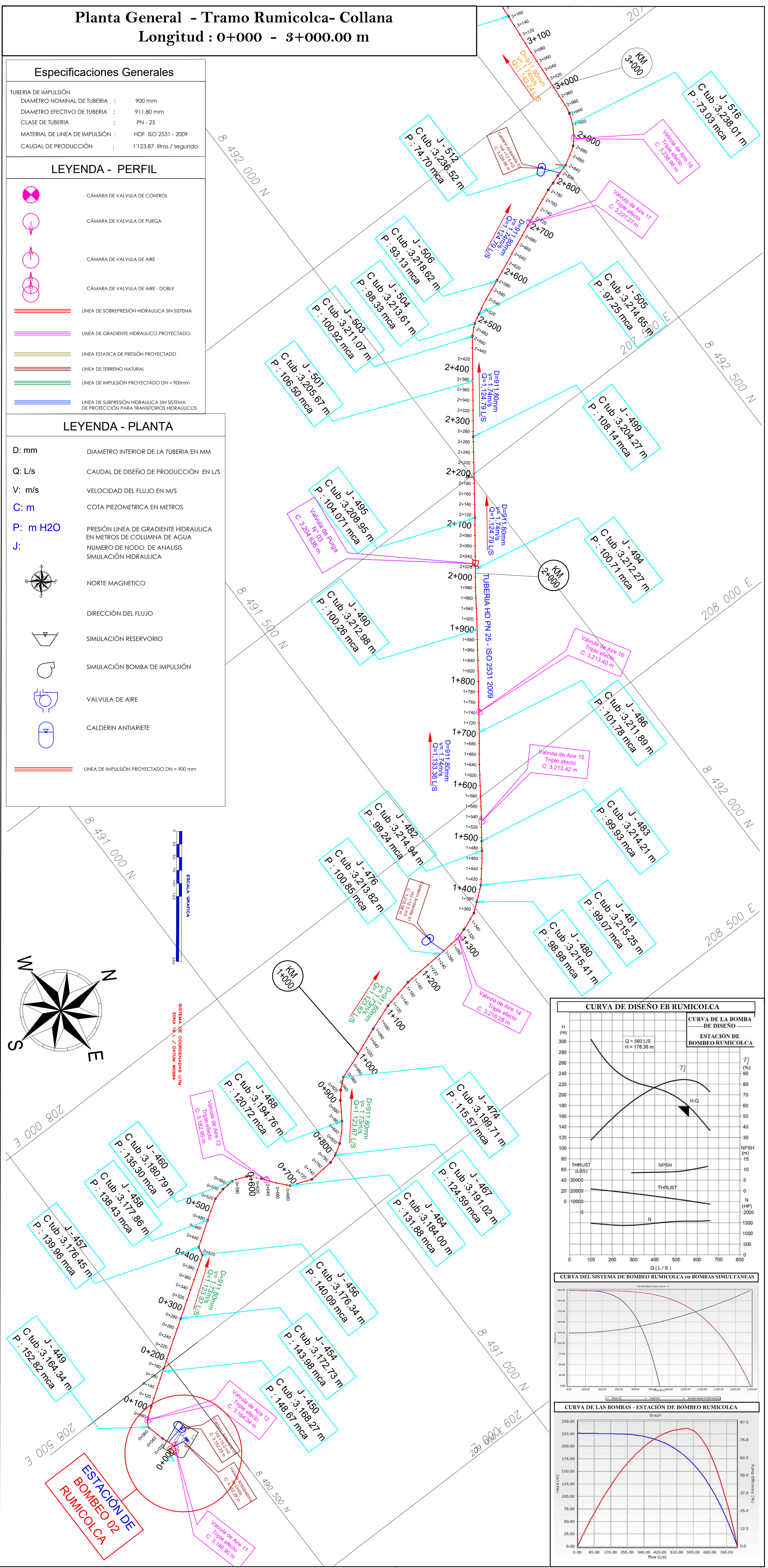
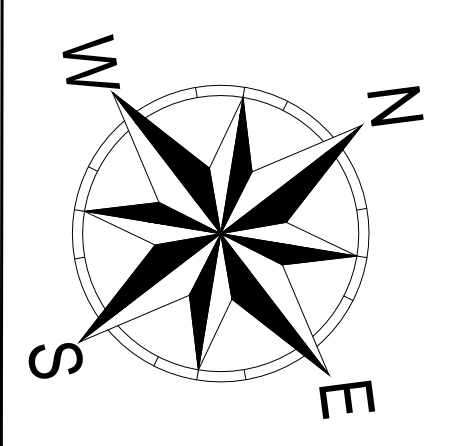
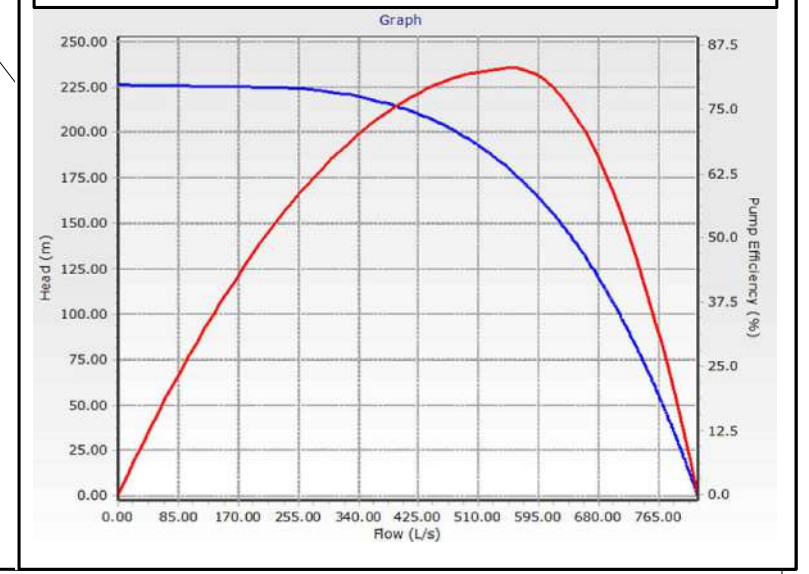
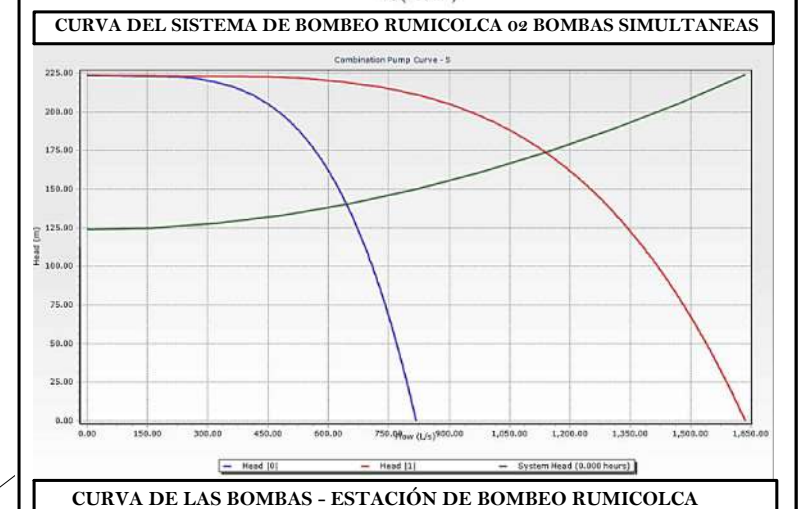
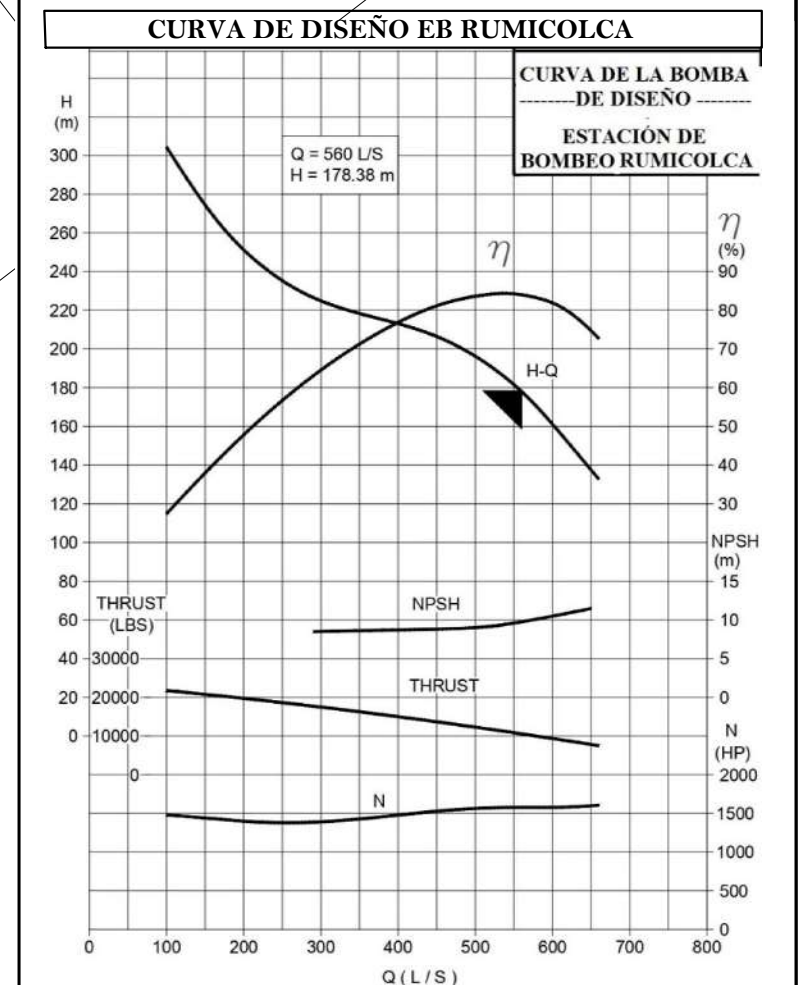


Table with sections: Especificaciones Generales, LEYENDA - PERFIL, LEYENDA - PLANTA. Lists technical specifications and symbols used in the drawings.



Esc : 1/4'000



EPS. SEDACUSCO S.A. OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES. Includes project details, scale, and revision information.



PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO CON SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - SEGUNDA ETAPA - TRAMO RUMICOLCA - COLLANA

CAUDAL = 1'123.87 litros /segundo  
TUBERIA HDF - PN 25 ISO 2531-2009 /DN = 900 mm

Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección para Transitorio Hidraulico  
Tramo Rumicolca - Collana  
Longitud : 3+000 - 6+000.00 m

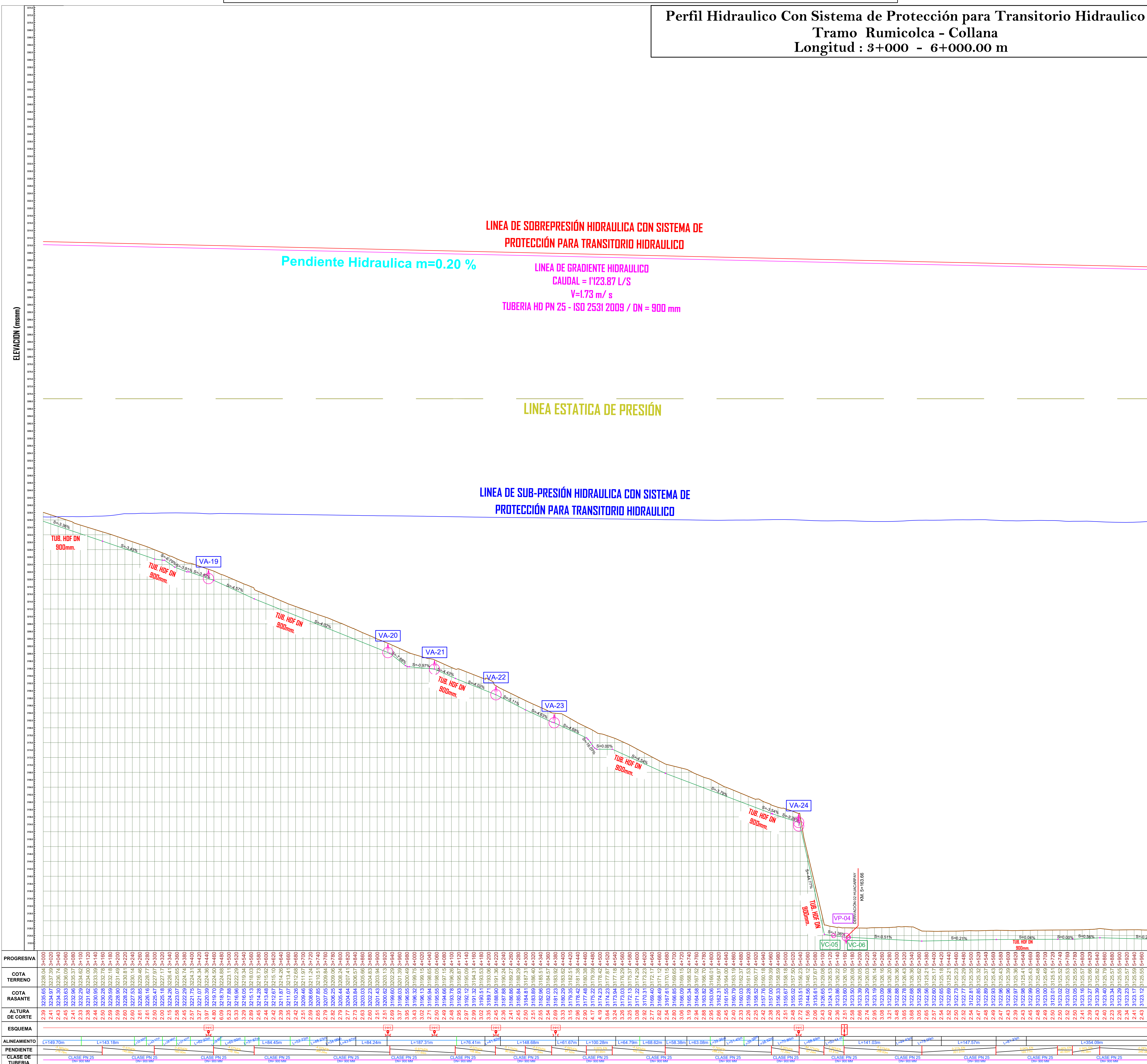
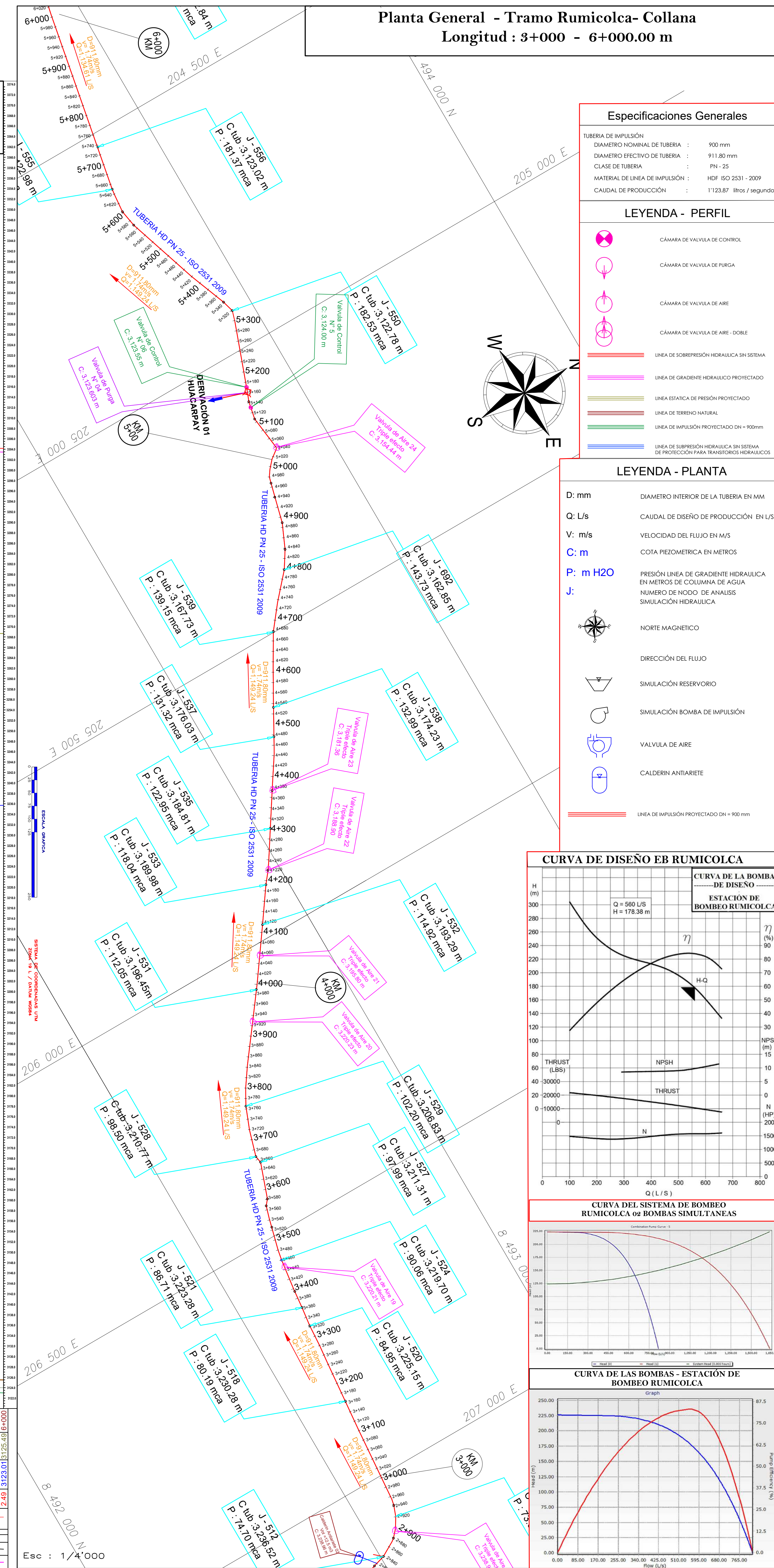


Table with columns: PROGRESIVA, COTA TERRENO, COTA RASANTE, ALTURA DE CORTE, ESQUEMA, ALINAMIENTO, PENDIENTE, CLASE TUBERIA. It provides detailed data for each meter of the pipeline, including ground and finished elevations, cut heights, and pipe specifications.



Specifications and legends for the hydraulic profile and plant layout. Includes 'Especificaciones Generales' (General Specifications) for pipe diameter, material, and flow rate. Also includes 'LEYENDA - PERFIL' (Profile Legend) and 'LEYENDA - PLANTA' (Plant Legend) with symbols for control valves, surge tanks, and flow directions.

Three performance graphs for the Rumicolca pump station: 'CURVA DE DISEÑO EB RUMICOLCA' (Design Curve), 'CURVA DE LAS BOMBAS RUMICOLCA O2 BOMBAS SIMULTANEAS' (Simultaneous Pumps Curve), and 'CURVA DE LAS BOMBAS - ESTACION DE BOMBEO RUMICOLCA' (Station Curve). Each graph plots head (m) against flow rate (L/s).



PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO CON SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - SEGUNDA ETAPA - TRAMO RUMICOLCA - COLLANA

CAUDAL = 1'123.87 litros /segundo  
TUBERIA HD - PN 25 ISO 2531-2009 / DN = 900 mm

Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección para Transitorio Hidraulico  
Tramo Rumicolca Collana  
Longitud : 6+000 - 9+000.00 m

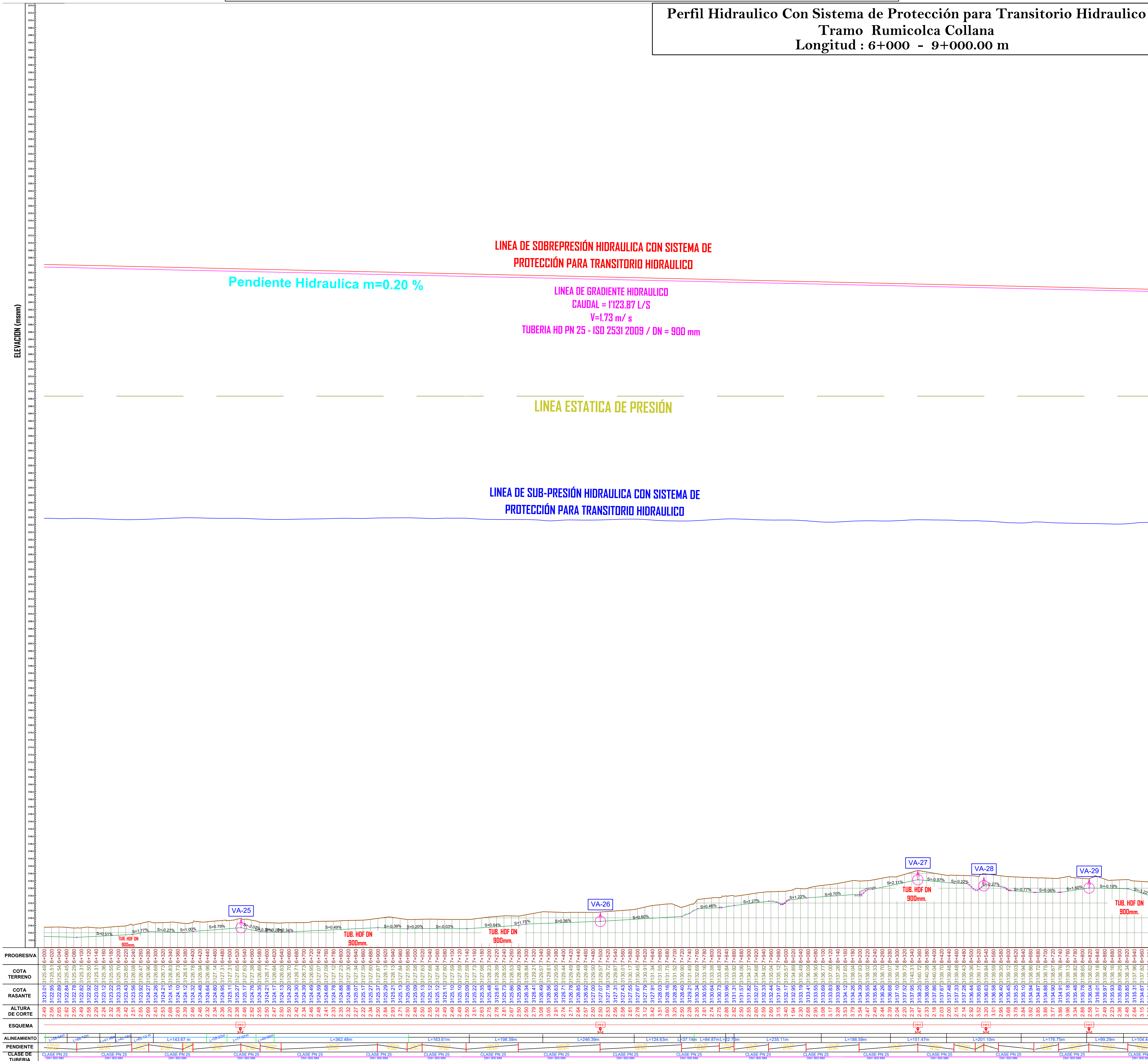
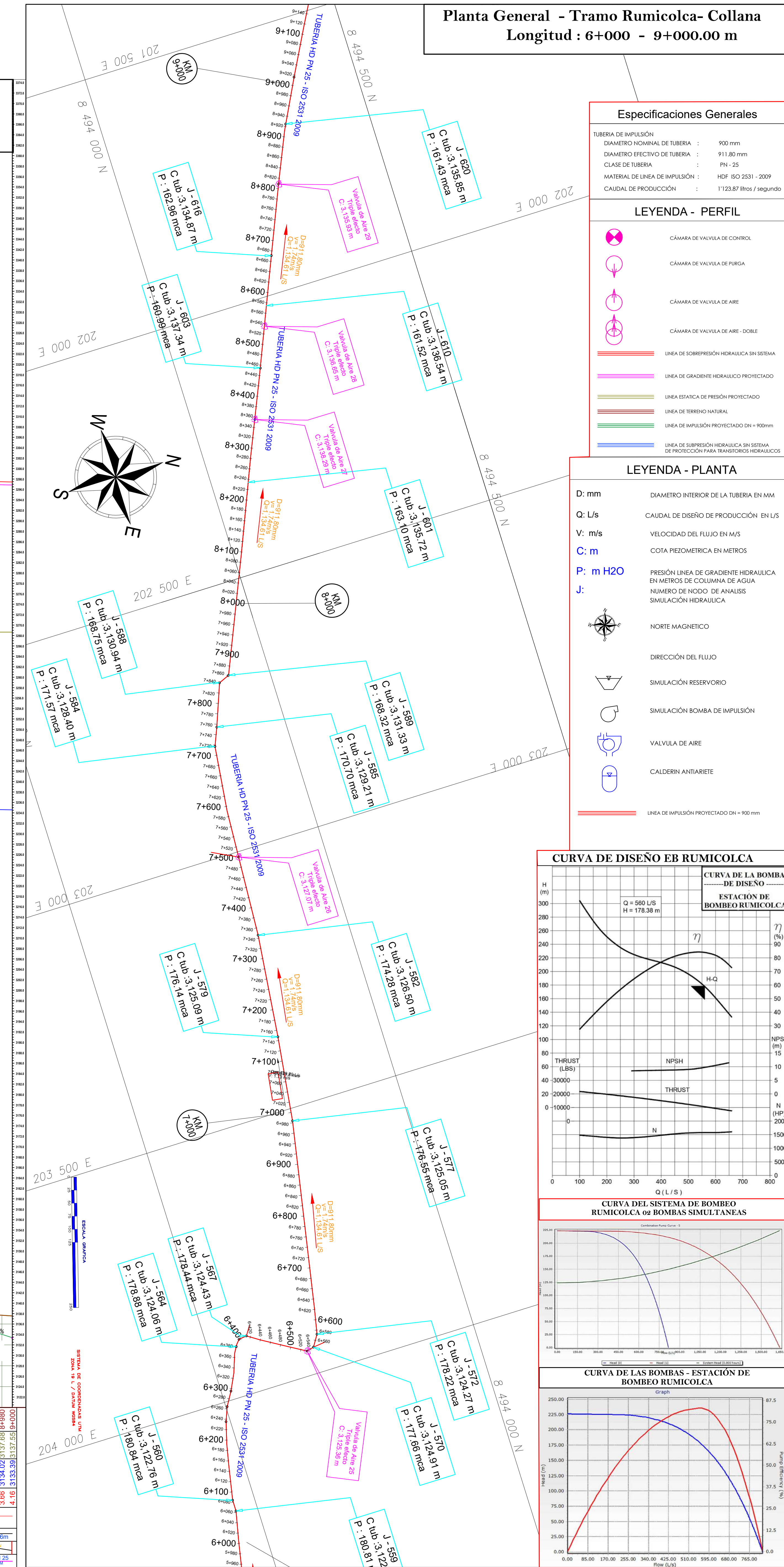
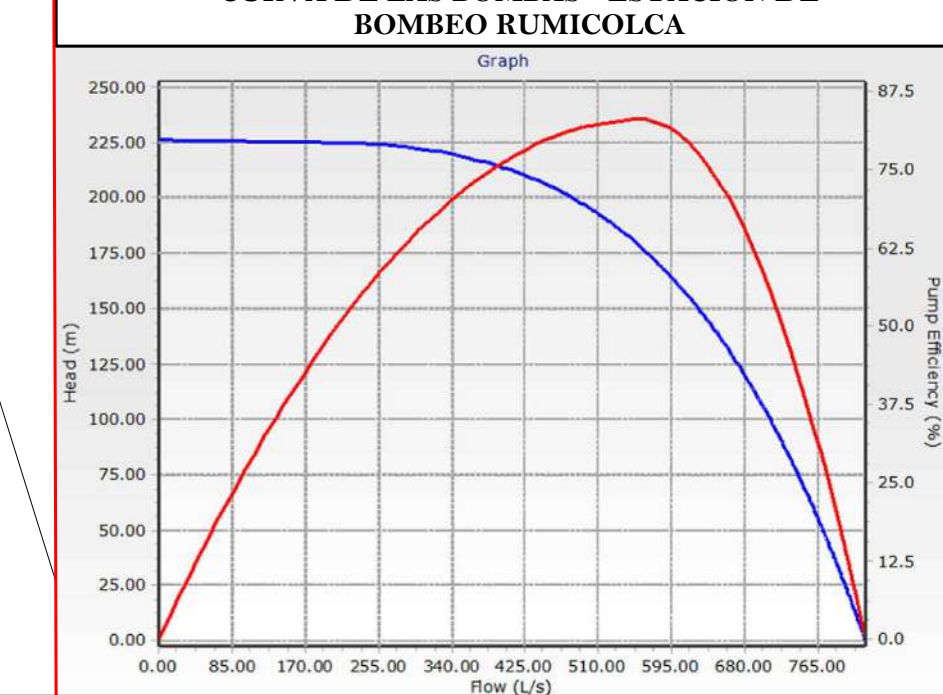
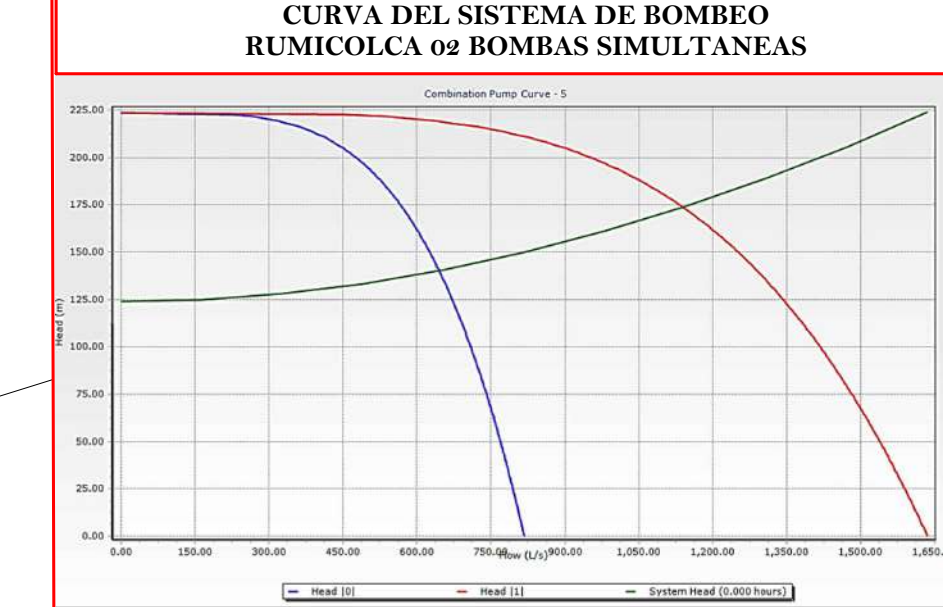
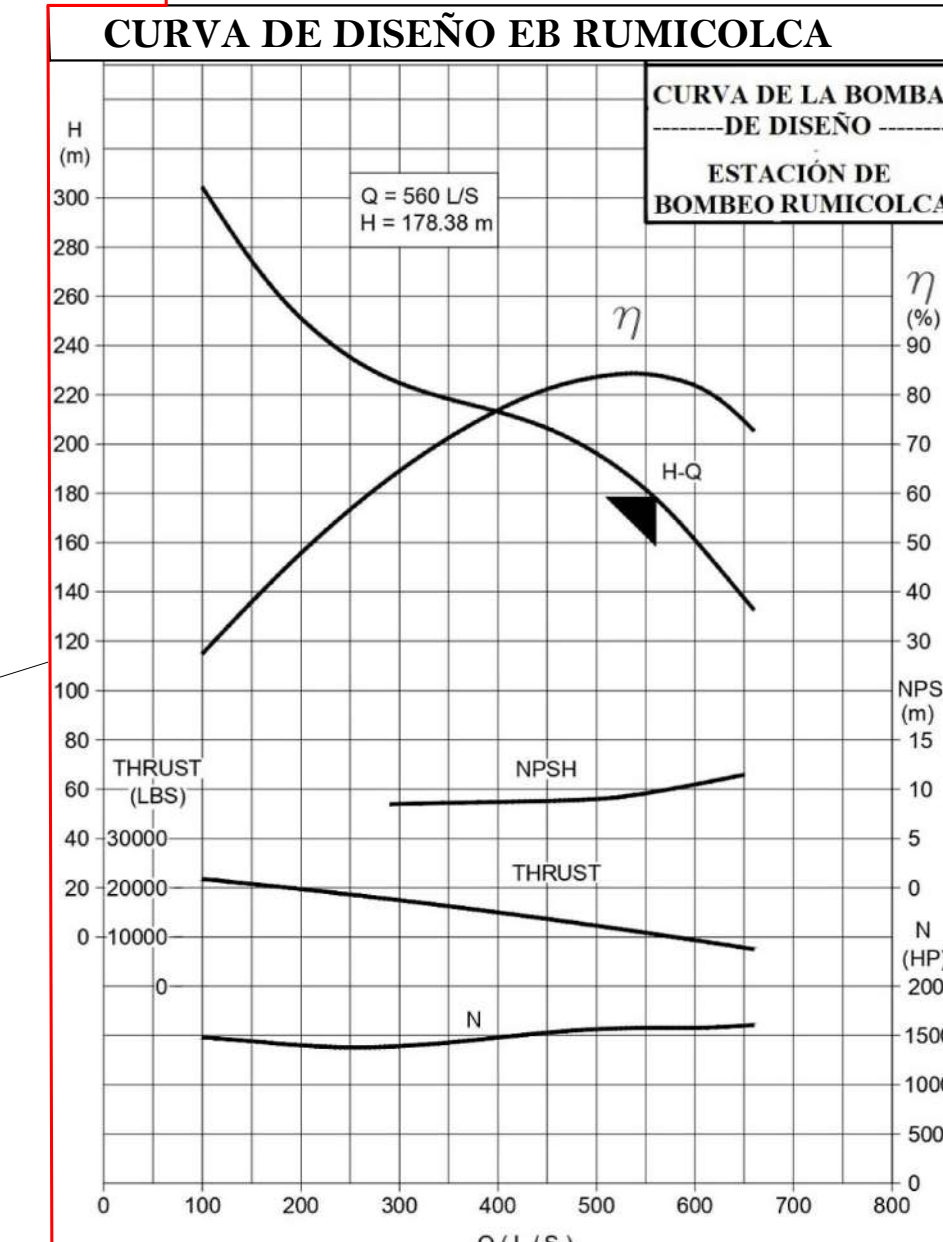


Table with 10 columns: PROGRESIVA, COTA TERRENO, COTA RASANTE, ALTURA DE CORTE, ESQUEMA, PENDIENTE, CLASE TUBERIA, ALINEAMIENTO, TUBERIA. It provides detailed data for the pipeline segments along the 3000m length.



Planta General - Tramo Rumicolca- Collana  
Longitud : 6+000 - 9+000.00 m

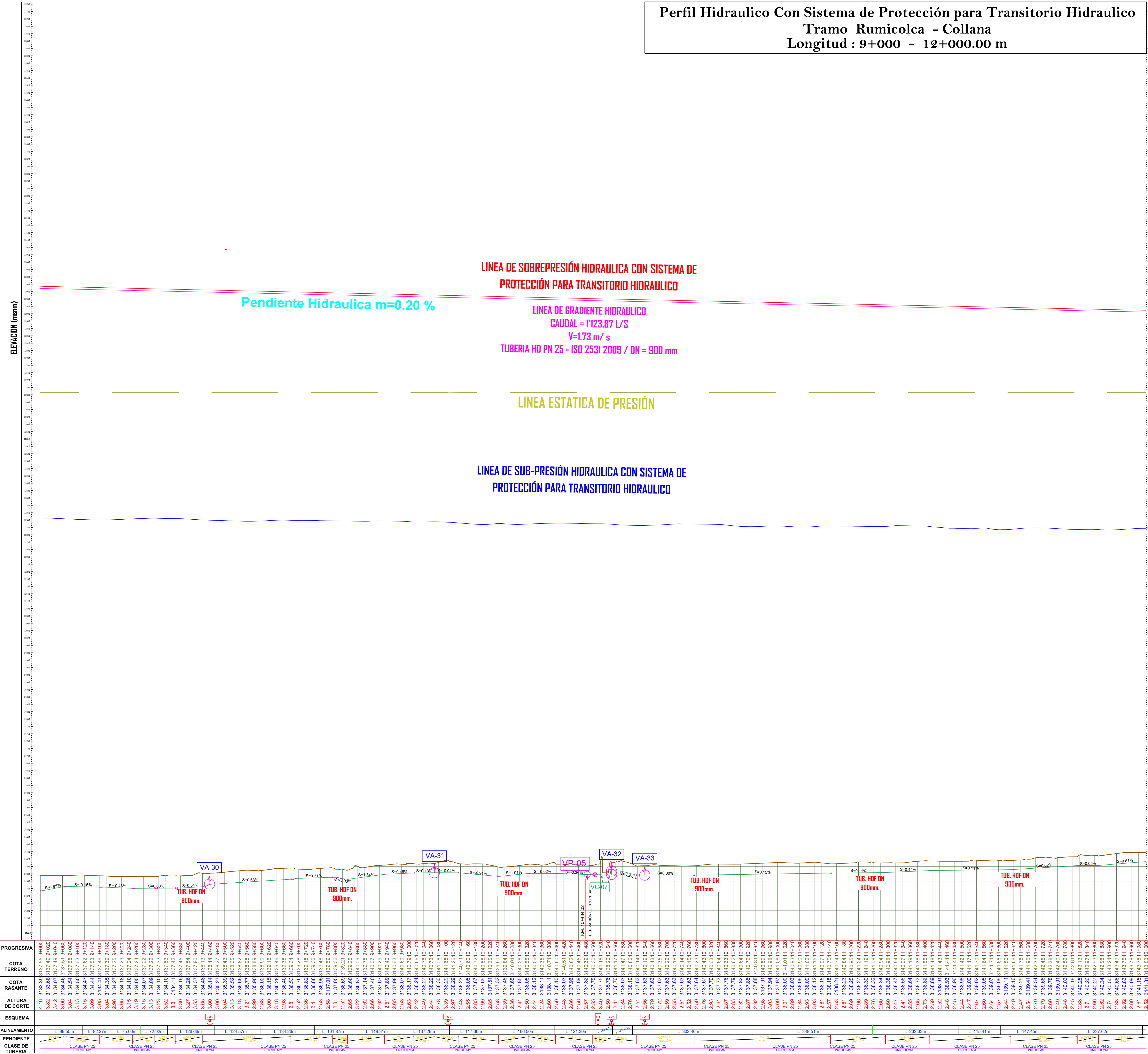
- Especificaciones Generales: DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA: 900 mm, DIAMETRO EFECTIVO DE TUBERIA: 911.80 mm, CLASE DE TUBERIA: PN-25, MATERIAL DE LINEA DE IMPULSION: HDG ISO 2531-2009, CAUDAL DE PRODUCCION: 1'123.87 lvs /segundo.
- LEYENDA - PERFIL: CAMARA DE VALVULA DE CONTROL, CAMARA DE VALVULA DE PURGA, CAMARA DE VALVULA DE AIRE, CAMARA DE VALVULA DE AIRE - DORSE, LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA EN SISTEMA, LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICO PROTEGIDO, LINEA ESTATICA DE PRESION PROTEGIDA, LINEA DE TERRENO NATURAL, LINEA DE IMPULSION PROTEGIDA DN=900mm, LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA EN SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS.
- LEYENDA - PLANTA: D: mm (DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA EN MM), Q: L/s (CAUDAL DE DISEÑO DE PRODUCCION EN L/S), V: m/s (VELOCIDAD DEL FLUJO EN M/S), C: m (COTA PIEZOMETRICA EN METROS), P: m H2O (PRESION LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICA EN METROS DE COLUMNA DE AGUA), J: (NUMERO DE NODO DE ANALISIS SIMULACION HIDRAULICA).



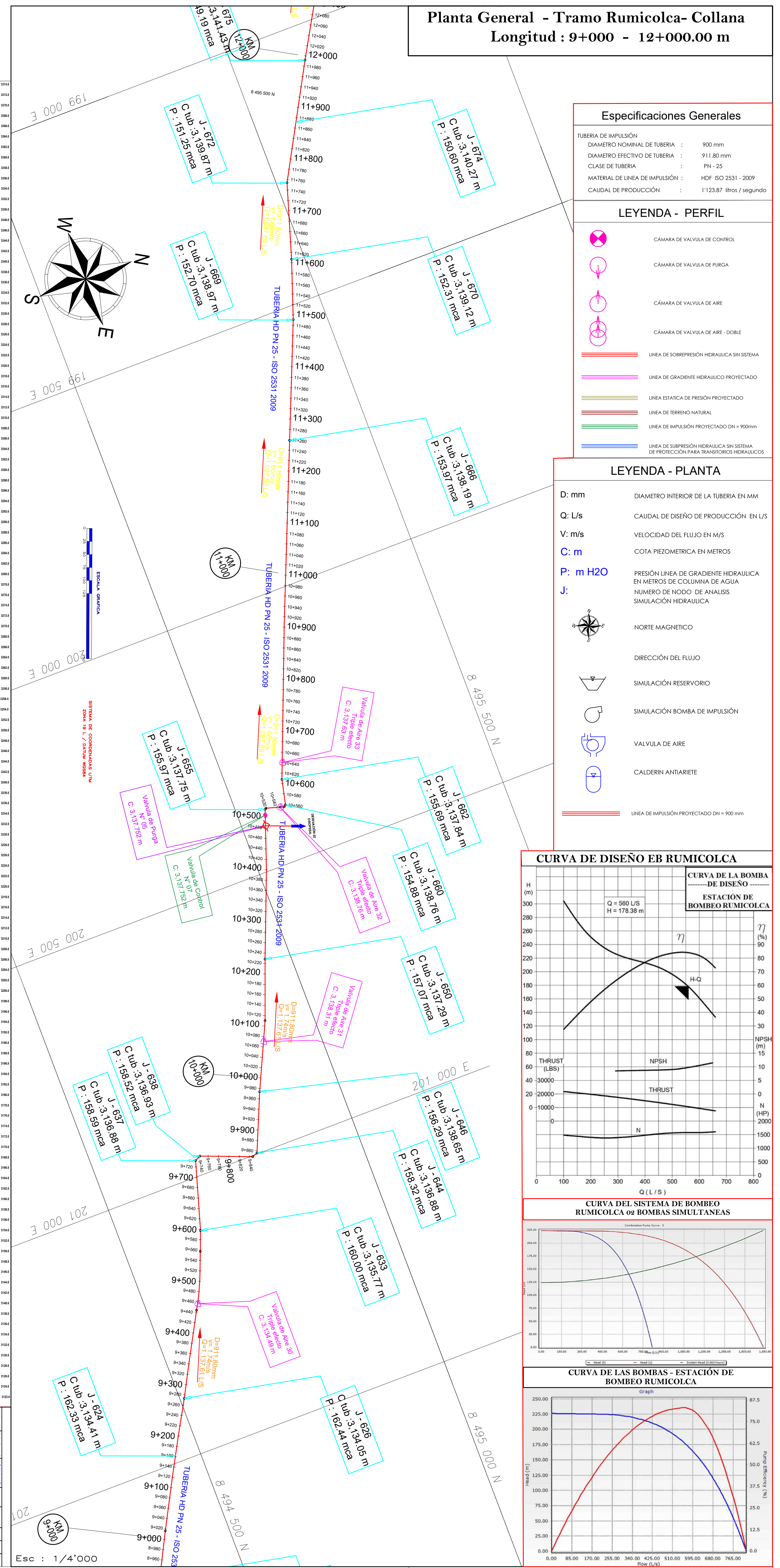
EPS. SEDACUSCO S.A. OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES. AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA POTABLE 6 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO I ETAPA. PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO 2DA ETAPA CON SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - LINEA DE IMPULSION TRAMO RUMICOLCA COLLANA. LAMINA N° PHB-8.



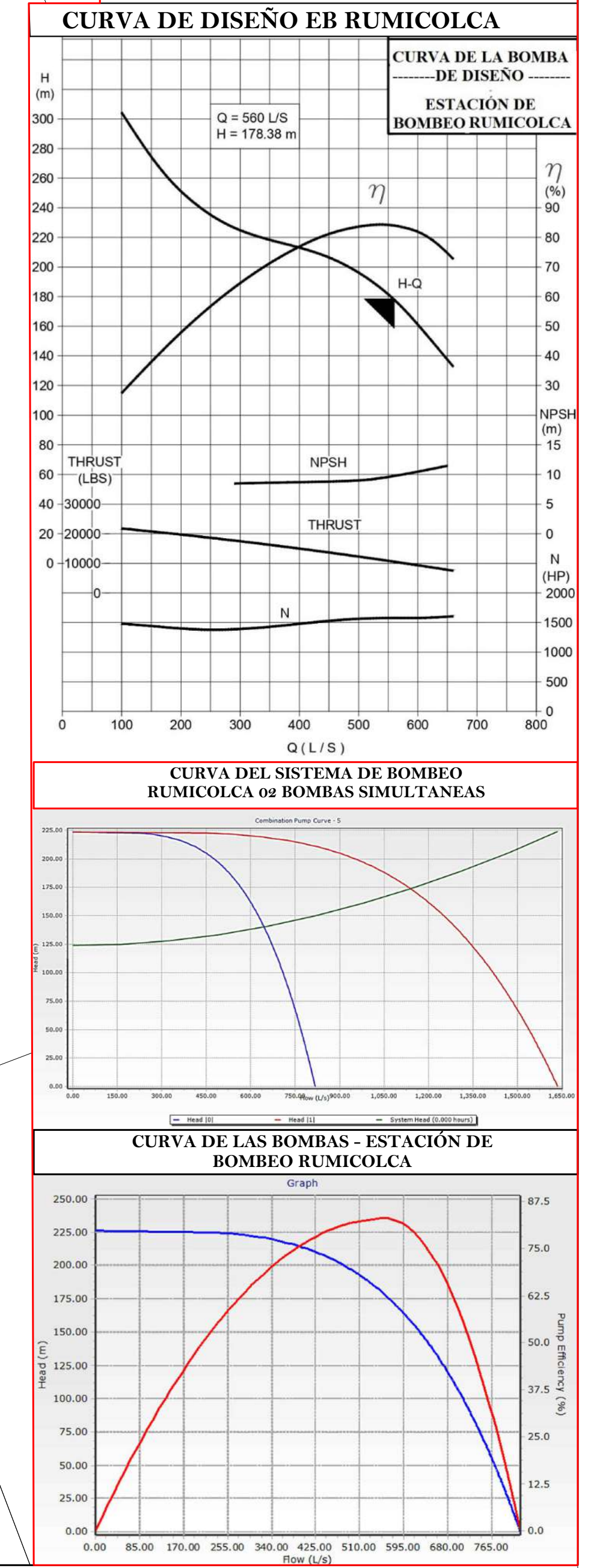
Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección para Transitorio Hidraulico  
 Tramo Rumicolca - Collana  
 Longitud : 9+000 - 12+000.00 m



PROGRESIVA	COTA TERRENO	COTA CASANTE	ALTURA DE CORTE	ESQUEMA	ALINEAMIENTO	PENDIENTE	CLASE TUBERIA
1.48	3133.56	3137.62	4.06		L=95.55m	CLASE P10/25	DN=900mm
3.82	3134.67	3137.46	2.79		L=82.27m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.00	3134.44	3137.51	3.07		L=75.06m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=72.92m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=128.86m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=124.57m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=134.20m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=101.87m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=119.31m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=137.28m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=117.98m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=169.30m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=121.36m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=802.86m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=348.21m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=232.33m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=115.81m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=147.85m	CLASE P10/25	DN=900mm
5.15	3134.44	3137.53	3.09		L=297.83m	CLASE P10/25	DN=900mm



- Especificaciones Generales**
- TUBERIA DE IMPULSION: 900 mm
  - DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA: 911.80 mm
  - DIAMETRO EFECTIVO DE TUBERIA: PN 25
  - MATERIAL DE LINEA DE IMPULSION: HIG ISO 2531 - 2009
  - CAUDAL DE PRODUCCION: 1'123.87 litros /segundo
- LEYENDA - PERFIL**
- CAMARA DE VALVULA DE CONTROL
  - CAMARA DE VALVULA DE PURGA
  - CAMARA DE VALVULA DE AIRE
  - CAMARA DE VALVULA DE AIRE - DORSE
  - LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA SIN SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS
  - LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICO PROTECCIONADO
  - LINEA ESTATICA DE PRESION PROTECCIONADO
  - LINEA DE TERRENO NATURAL
  - LINEA DE IMPULSION PROTECCIONADO DN=900mm
  - LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA SIN SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS
- LEYENDA - PLANTA**
- D: mm DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA EN MM
  - Q: L/s CAUDAL DE DISEÑO DE PRODUCCION EN L/S
  - V: m/s VELOCIDAD DEL FLUJO EN M/S
  - C: m COTA PIEZOMETRICA EN METROS
  - P: m H2O PRESIÓN LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICA EN METROS DE COLUMNA DE AGUA
  - J: NÚMERO DE NODO DE ANÁLISIS SIMULACIÓN HIDRAULICA
  - NORTE MAGNETICO
  - DIRECCION DEL FLUJO
  - SIMULACION RESERVOIRO
  - SIMULACION BOMBA DE IMPULSION
  - VALVULA DE AIRE
  - CALDERIN ANTIDARTE
  - LINEA DE IMPULSION PROTECCIONADO DN=900mm



**EPS. SEDACUSCO S.A.**  
 OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES

PROYECTO: AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA POTABLE 6 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO I ETAPA

PLANO: PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO 2DA ETAPA CON SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - LINEA DE IMPULSION TRAMO RUMICOLCA COLLANA

DESENHO: [Firmas]

REVISADO: [Firmas]

OPINION TECNICA FAVORABLE

FECHA: [Fecha]

REVISOR: [Firmas]

OPINION TECNICA FAVORABLE

FECHA: [Fecha]

REVISOR: [Firmas]



PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO CON SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - SEGUNDA ETAPA - TRAMO RUMICOLCA - COLLANA

CAUDAL = 1'123.87 litros /segundo
TUBERIA HD - PN 25 ISO 2531-2009 / DN = 900 mm

Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección para Transitorio Hidraulico
Tramo Rumicolca - Collana
Longitud : 12+000 - 15+000.00 m

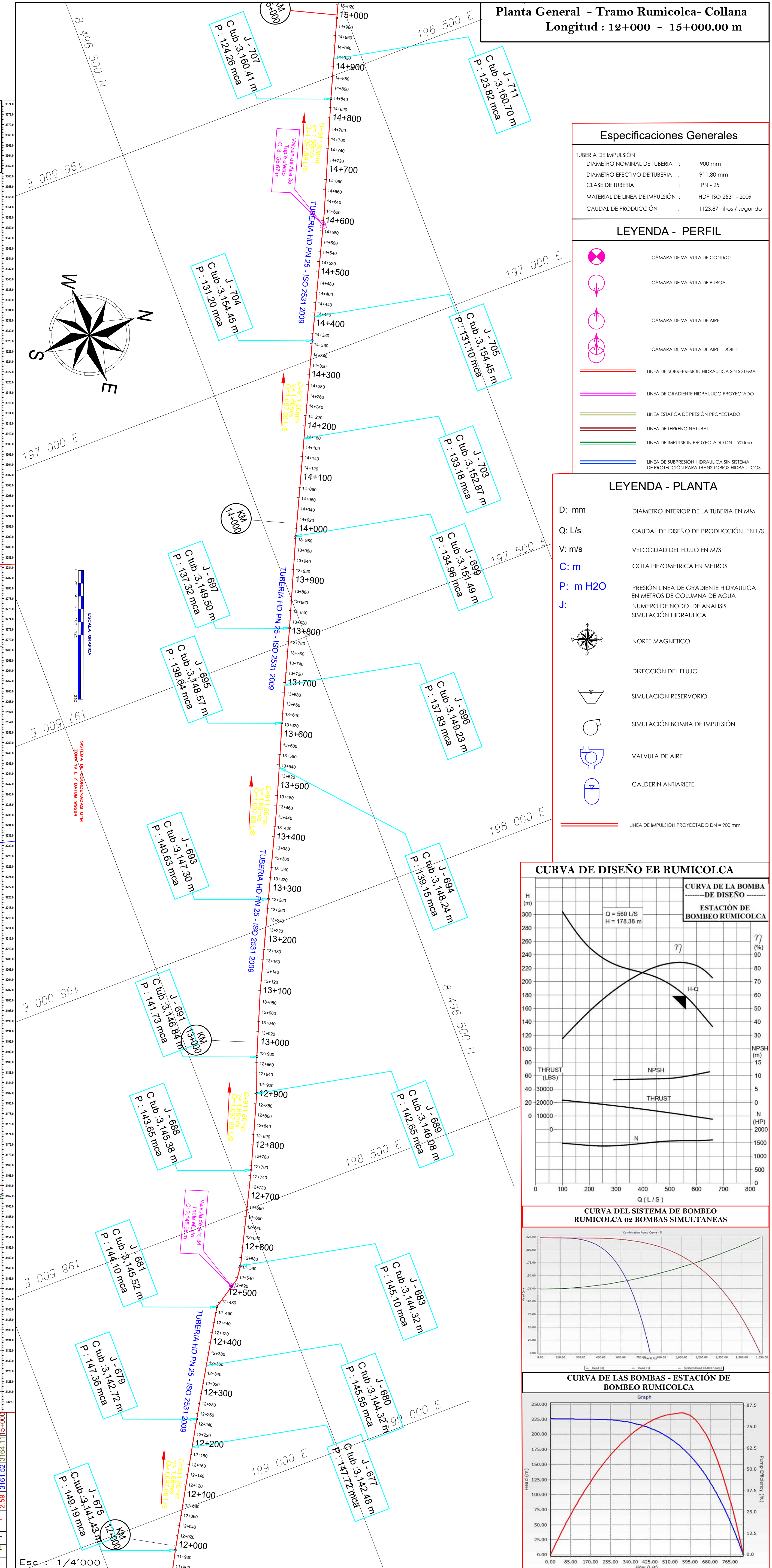
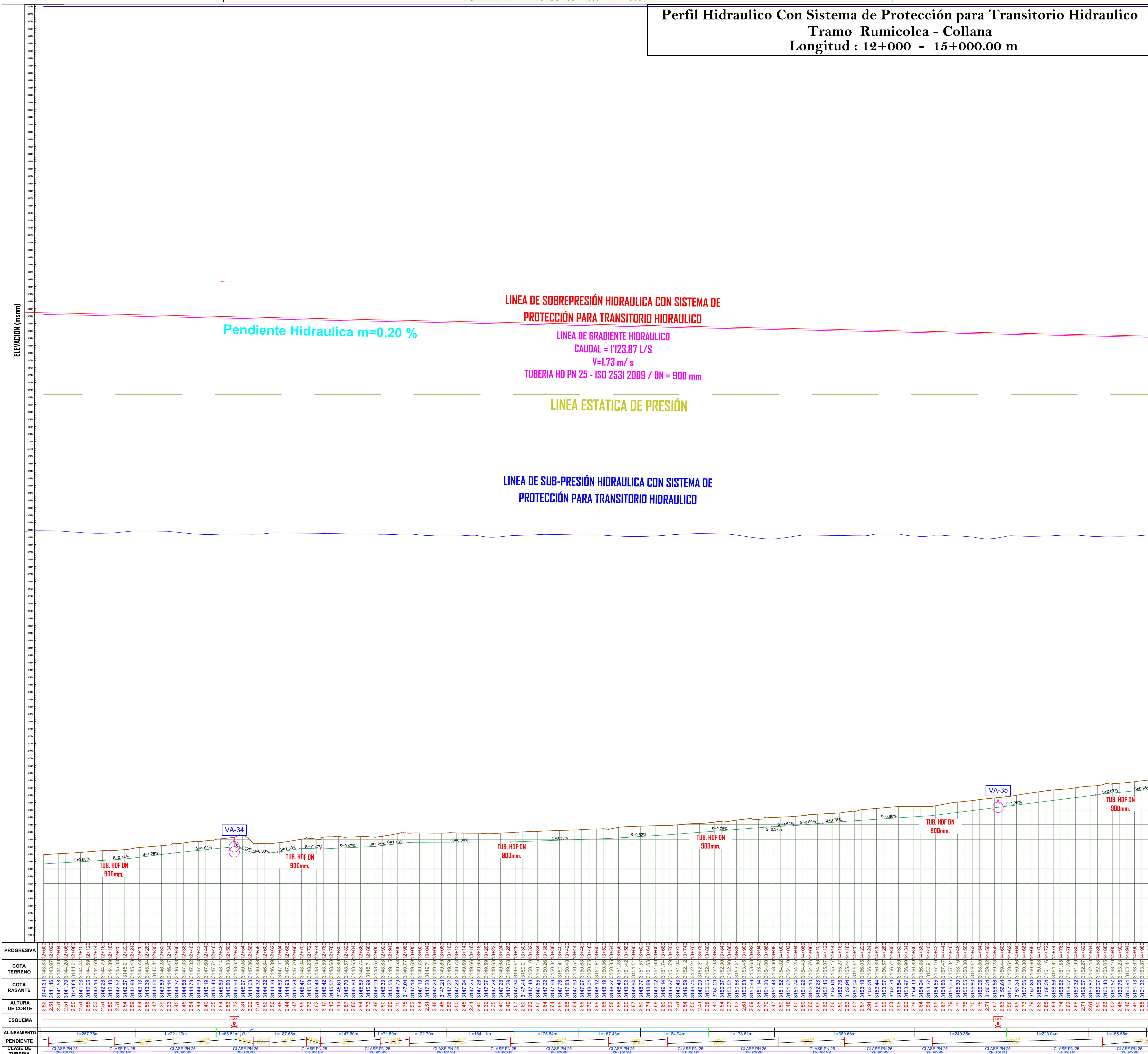
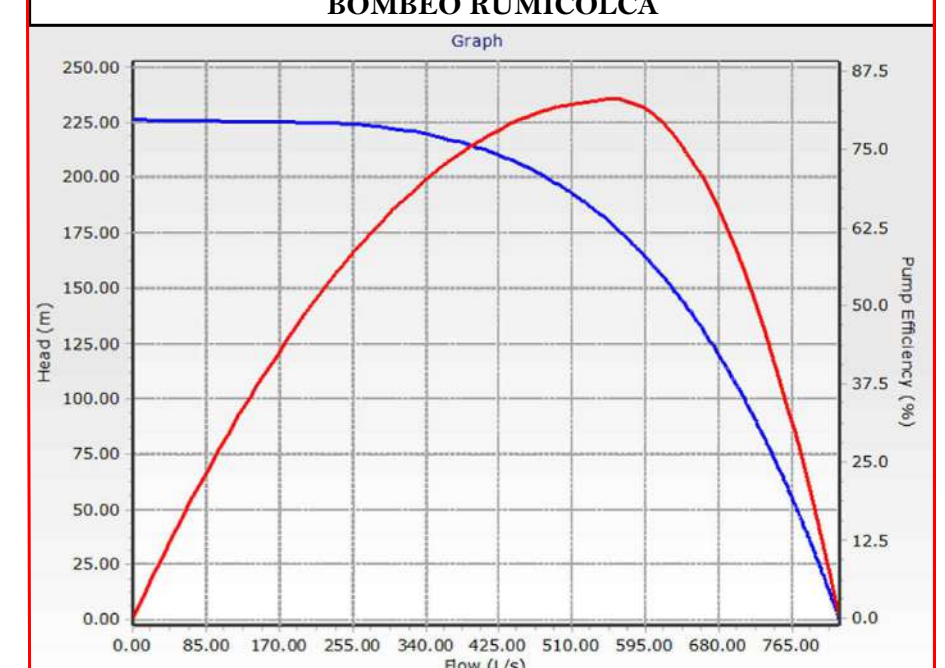
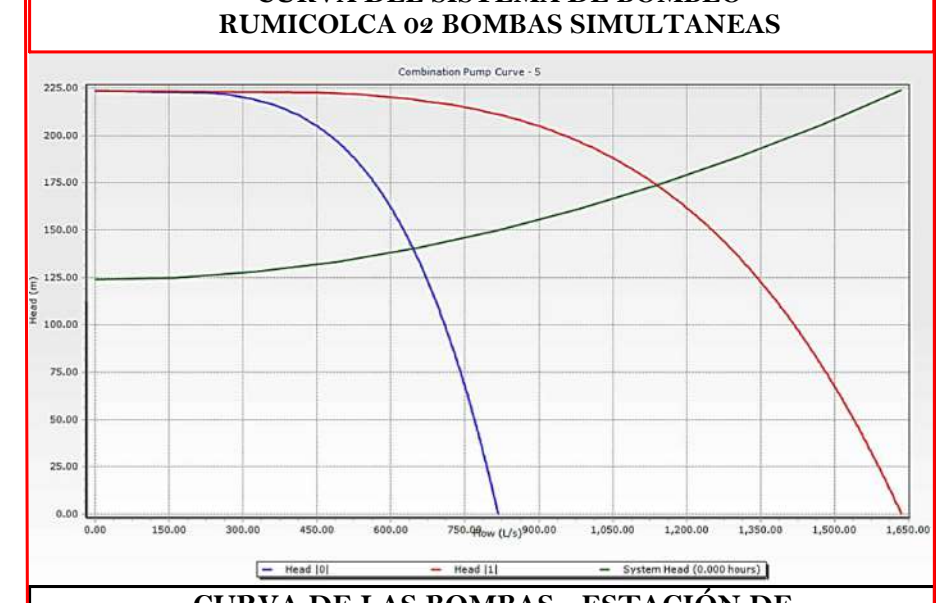
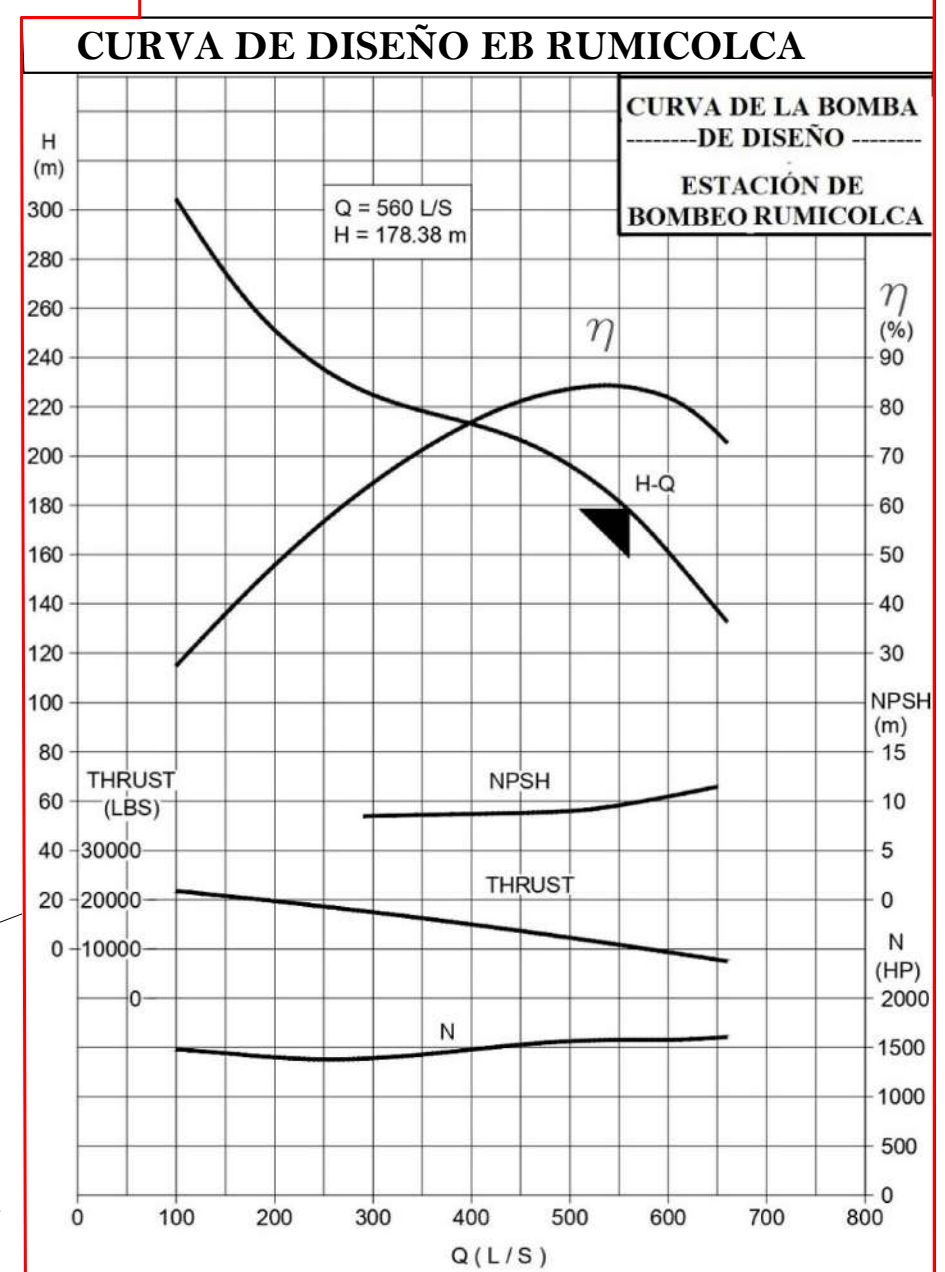


Table with 2 columns: Specification Name and Value. Includes 'Especificaciones Generales' for pipe diameter, material, and flow rate.

Table with 2 columns: Legend Item and Description. Includes 'LEYENDA - PERFIL' and 'LEYENDA - PLANTA' with symbols for valves, pipes, and flow directions.



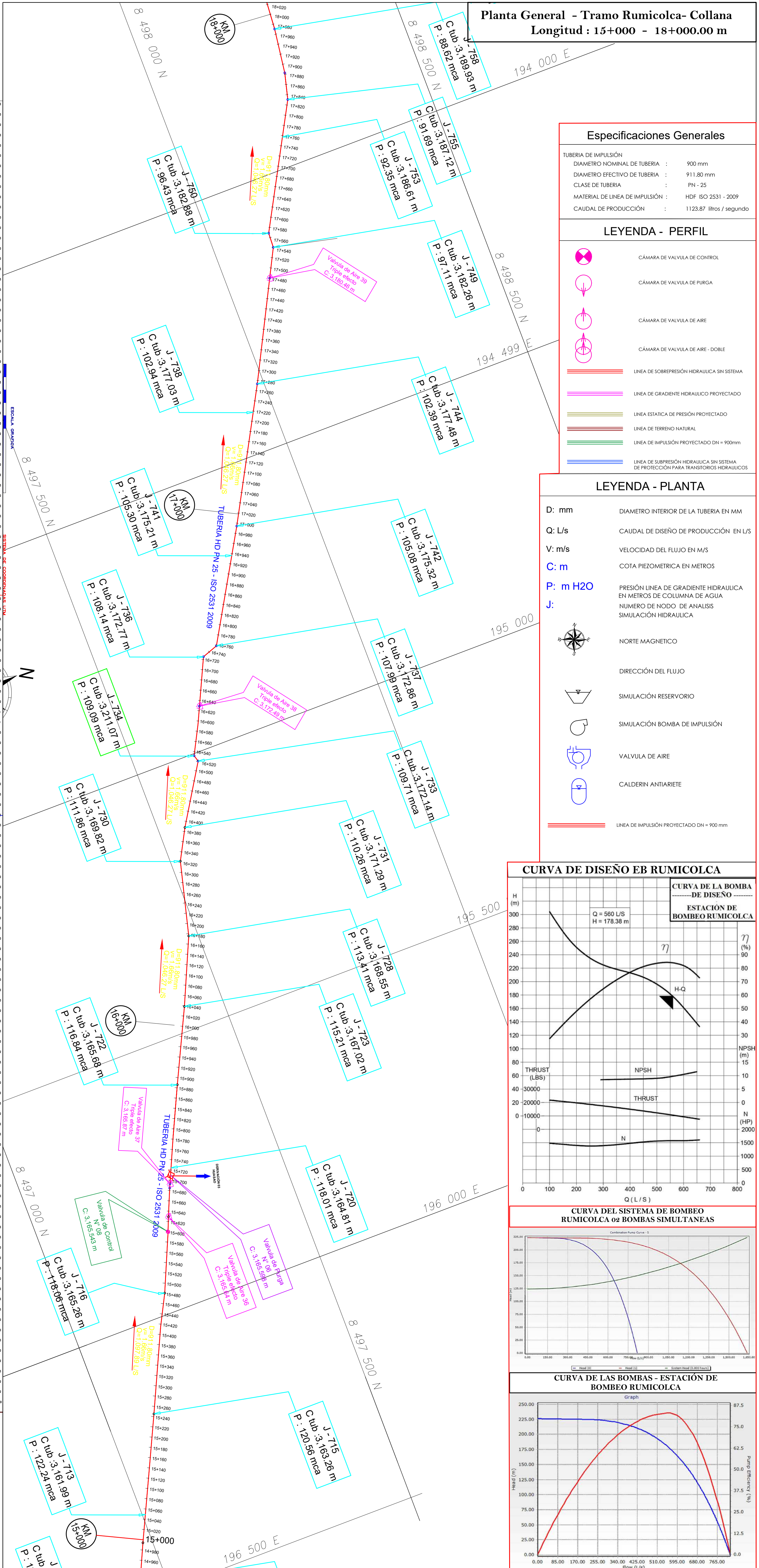
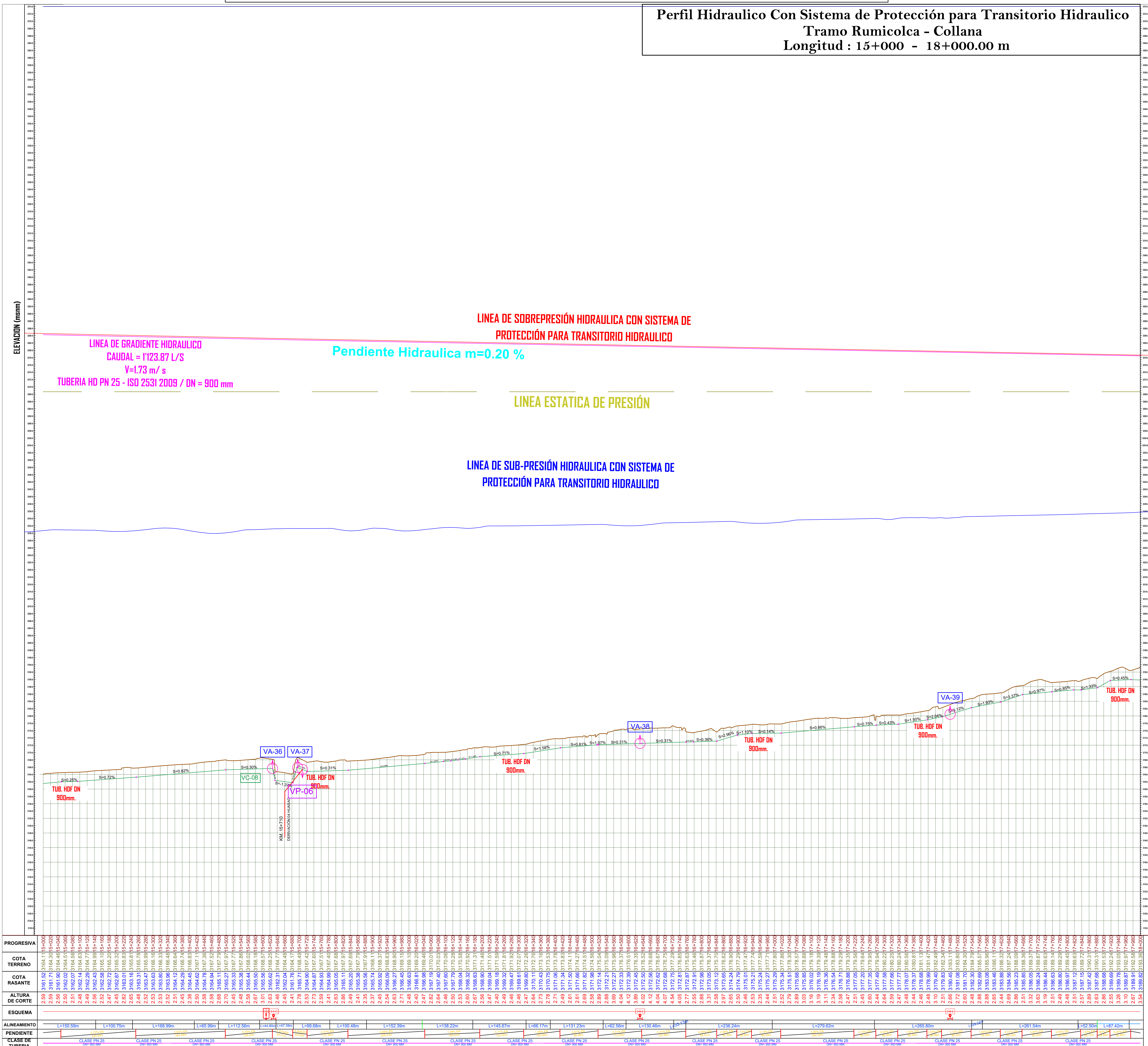
Project information block for EPS SEDACUSCO S.A. including project name, location, and drawing title 'PHB-12'.



# PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO CON SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - SEGUNDA ETAPA - TRAMO RUMICOLCA - COLLANA

CAUDAL = 1123.87 litros / segundo  
TUBERIA HD - PN 25 ISO 2531-2009 / DN = 900 mm

## Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección para Transitorio Hidraulico Tramo Rumicolca - Collana Longitud : 15+000 - 18+000.00 m



**EPS. SEDACUSCO S.A.**  
OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES

PROYECTO: AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA POTABLE A 6 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO I ETAPA

PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO 2DA ETAPA CON SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - LINEA DE IMPULSION TRAMO RUMICOLCA - COLLANA

REVISADO: [Firma]

OPINION TECNICA FAVORABLE

OPCION N° 156-2022-05-EPIS SEDACUSCO

OPCION N° 156-2022-05-EPIS SEDACUSCO

FECHA: [Fecha]

ESCALAS: [Escala]

PHB-14



PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO CON SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - SEGUNDA ETAPA - TRAMO RUMICOLCA - COLLANA

CAUDAL = 1'123.87 litros /segundo
TUBERIA HD - PN 25 ISO 2531-2009 /DN = 900 mm

Perfil Hidraulico Con Sistema de Protección para Transitorio Hidraulico
Tramo Rumicolca - Collana
Longitud : 18+000 - 21+000.00 m

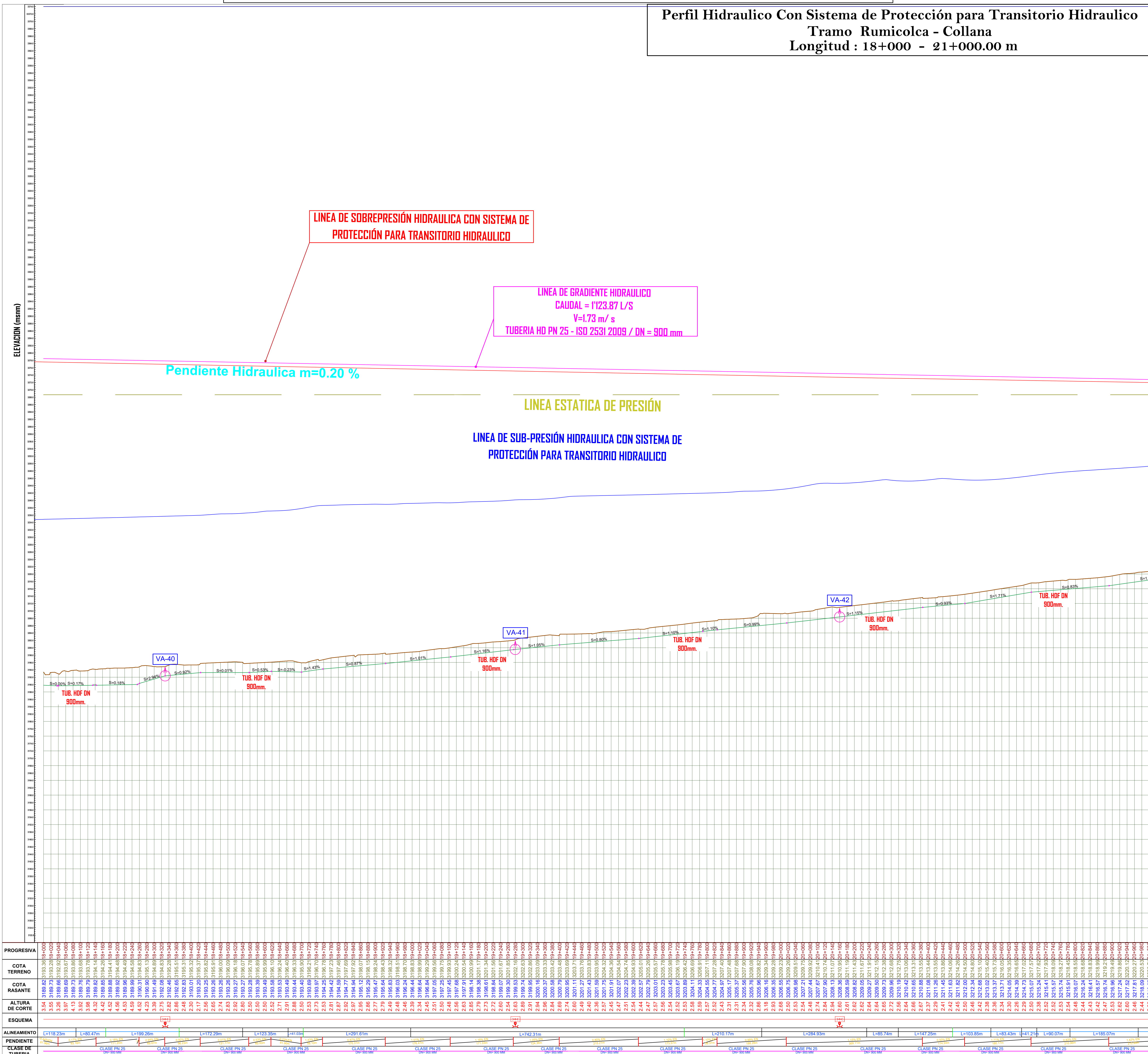
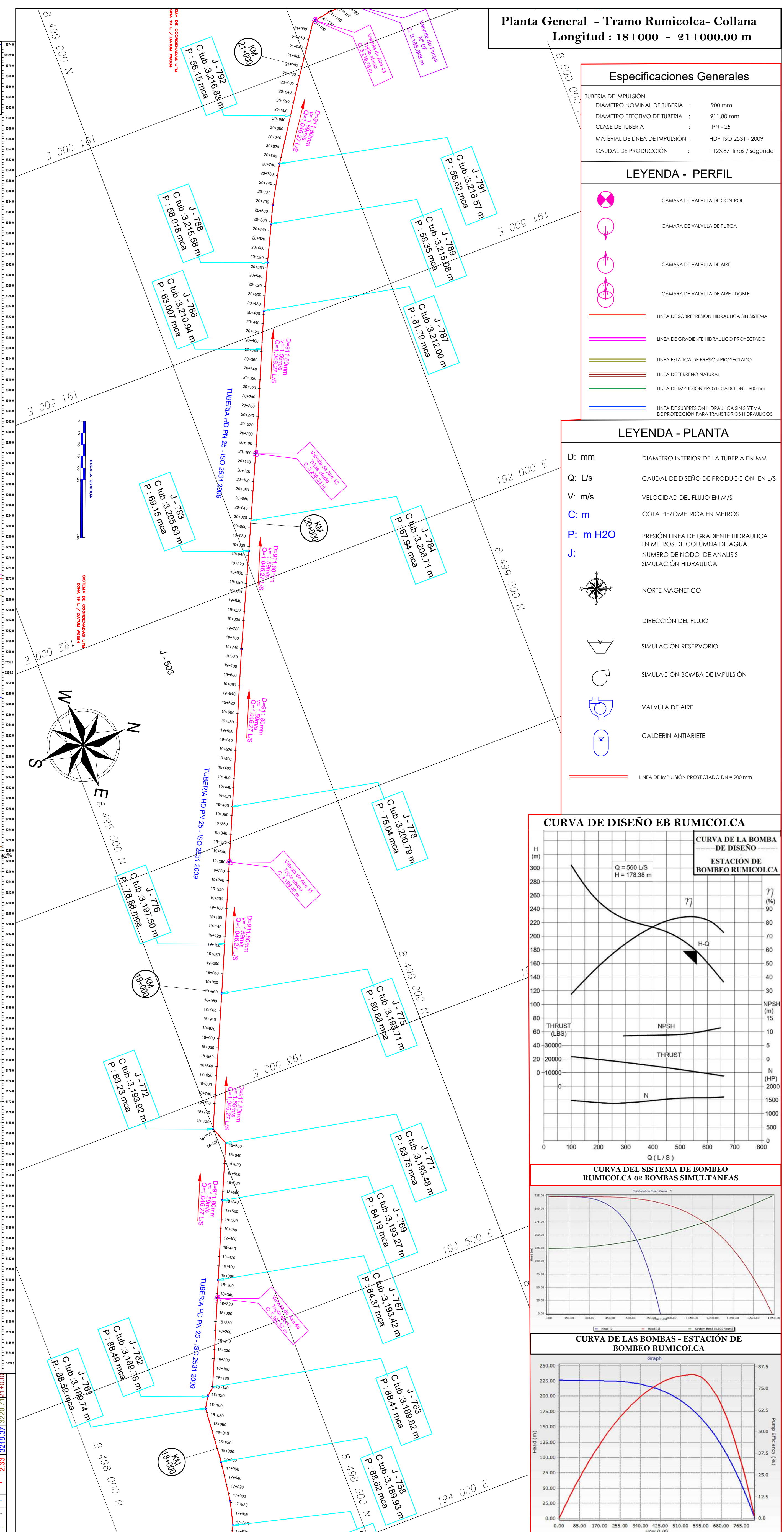


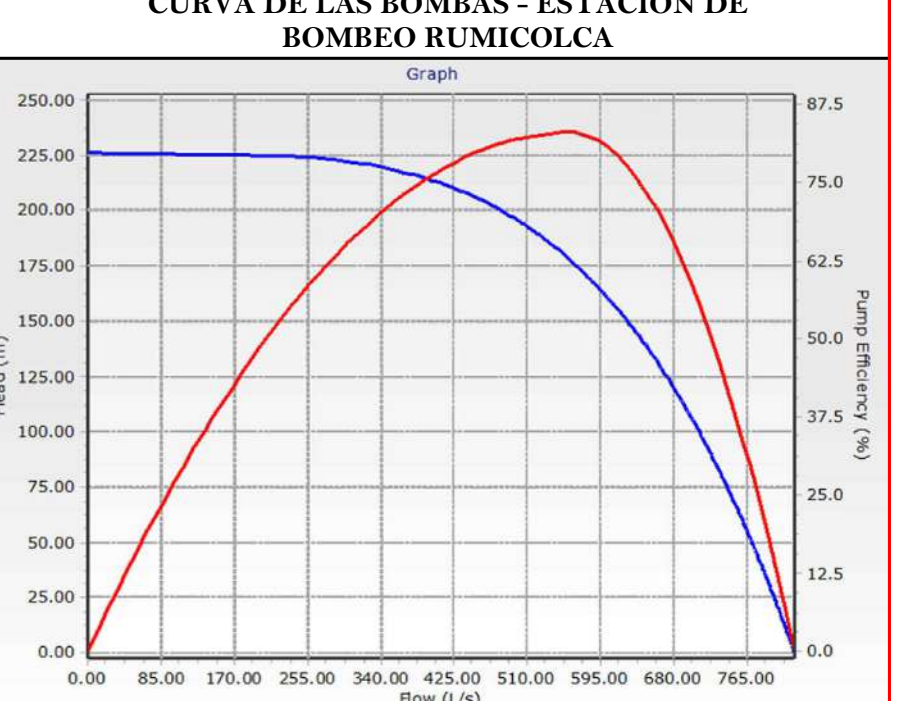
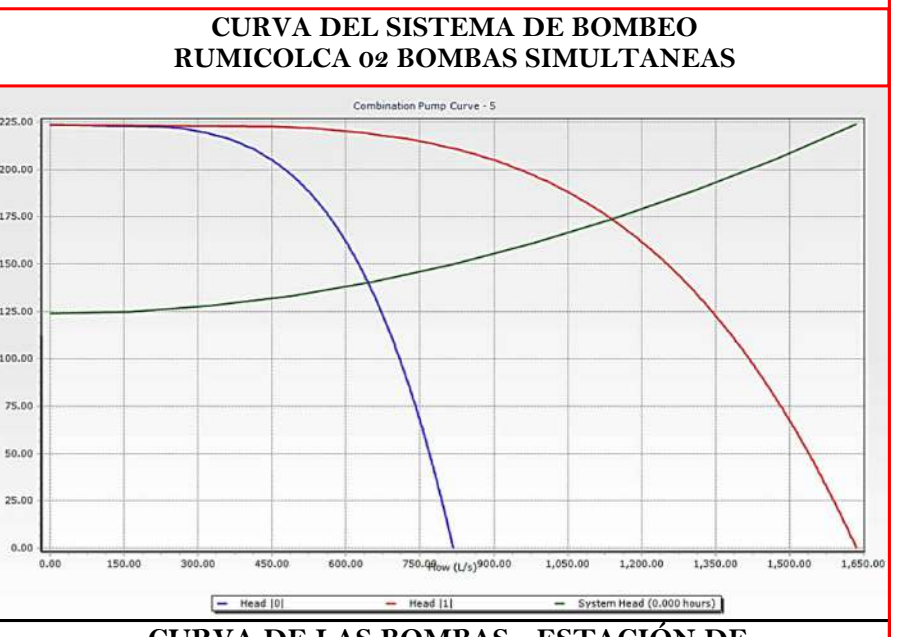
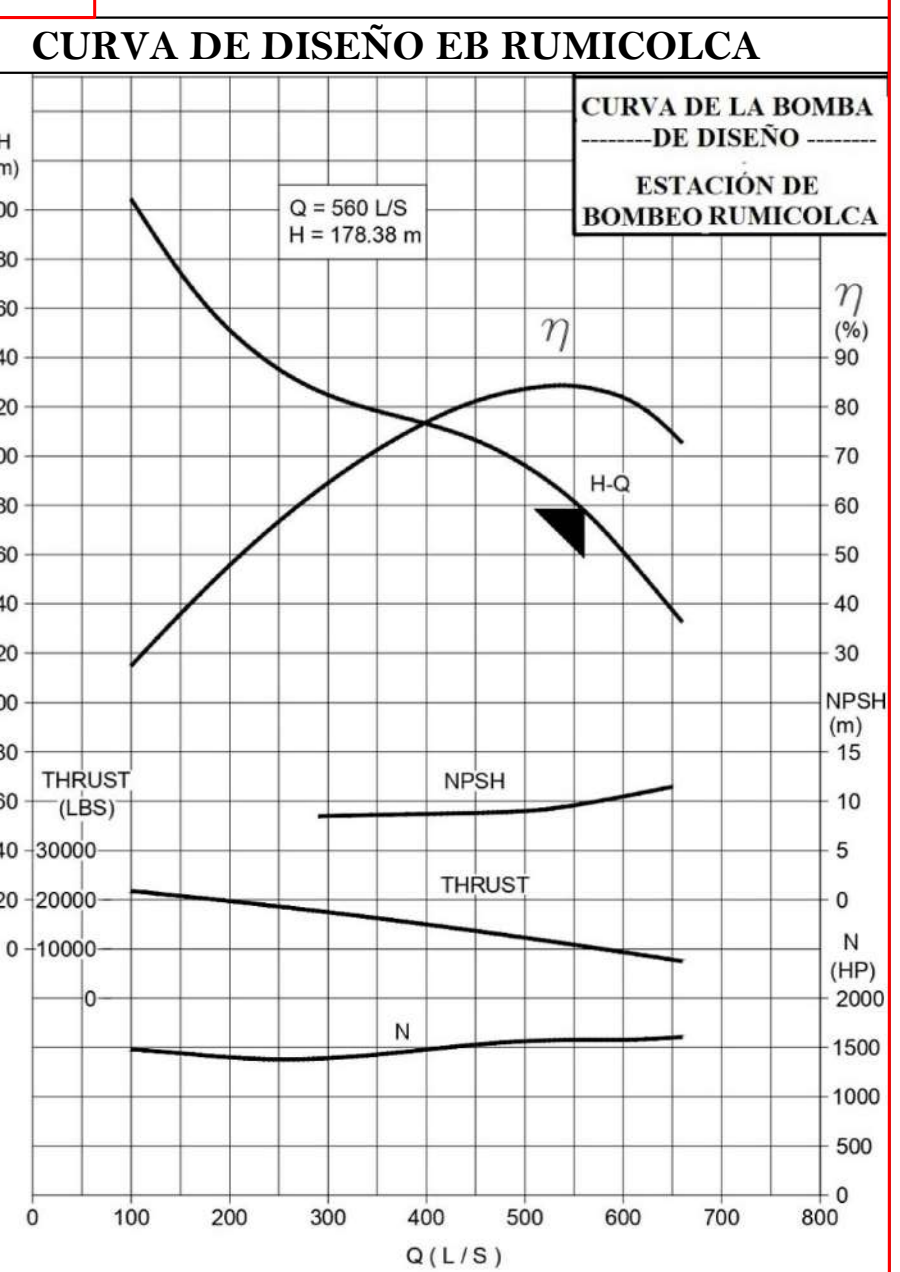
Table with columns: PROGRESIVA, COTA TERRENO, COTA RASANTE, ALTURA DE CORTE, ESQUEMA, ALINEAMIENTO, PENDIENTE, CLASE DE TUBERIA. It provides detailed data for the 300m length of the pipeline.



Planta General - Tramo Rumicolca- Collana
Longitud : 18+000 - 21+000.00 m

- Especificaciones Generales: DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA : 900 mm, DIAMETRO EFECTIVO DE TUBERIA : 911.80 mm, CLASE DE TUBERIA : PN - 25, MATERIAL DE LINEA DE IMPULSION : HDPE ISO 2531 - 2009, CAUDAL DE PRODUCCION : 1123.87 litros /segundo.
LEYENDA - PERFIL: CAMARA DE VALVULA DE CONTROL, CAMARA DE VALVULA DE PURGA, CAMARA DE VALVULA DE AIRE, CAMARA DE VALVULA DE AIRE DOBLE, LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA SIN SISTEMA, LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICO PROTEGIDO, LINEA ESTATICA DE PRESION PROTEGIDO, LINEA DE TERRENO NATURAL, LINEA DE IMPULSION PROTEGIDO DN = 900mm, LINEA DE SOBREPRESION HIDRAULICA SIN SISTEMA DE PROTECCION PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS.

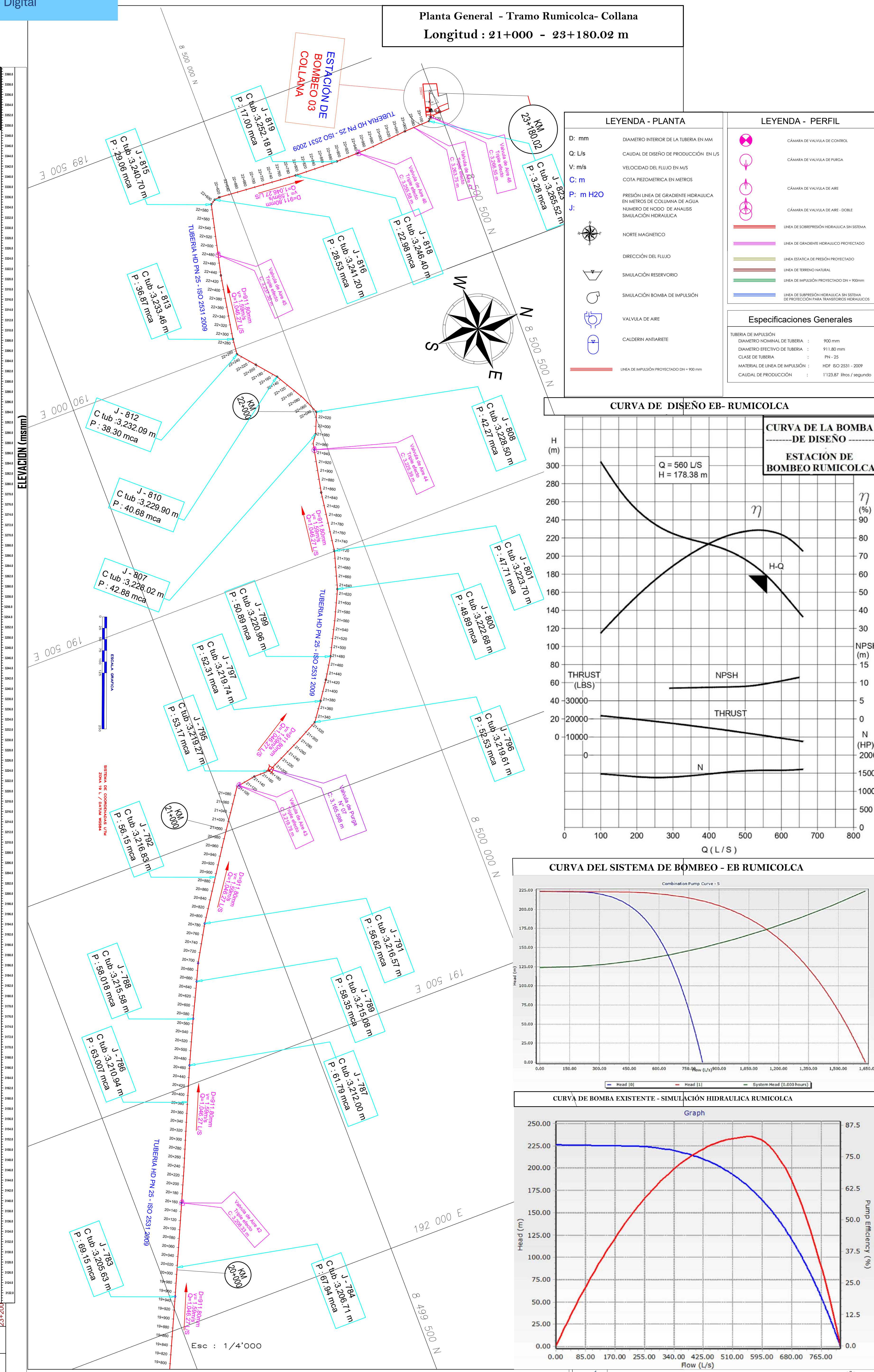
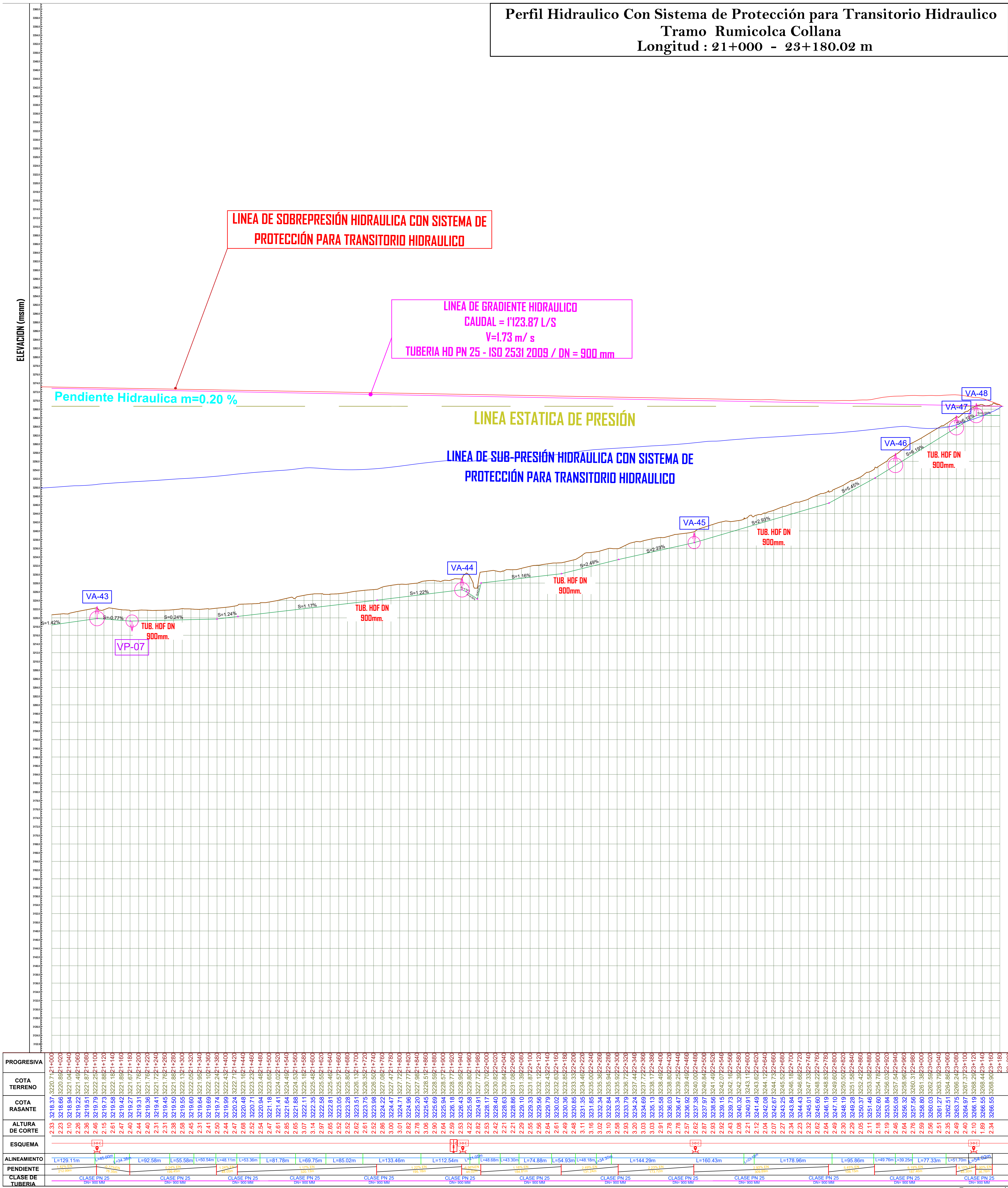
- LEYENDA - PLANTA: D: mm DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA EN MM, Q: L/s CAUDAL DE DISEÑO DE PRODUCCION EN L/S, V: m/s VELOCIDAD DEL FLUJO EN M/S, C: m COTA PIEZOMETRICA EN METROS, P: m H2O PRESION LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICA EN METROS DE COLUMNA DE AGUA, J: numero de NODO DE ANALISIS SIMULACION HIDRAULICA. Includes symbols for flow direction, reservoir simulation, pump simulation, valves, and surge tanks.



EPS. SEDACUSCO S.A. OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES. PROJECT: AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA POTABLE DE 6 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO I ETAPA. PLANO: PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO 2DA ETAPA SIN SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TRANSITORIO HIDRAULICO - LINEA DE IMPULSION TRAMO RUMICOLCA COLLANA. REVISADO: SEDACUSCO S.A. DISEÑO: SEDACUSCO S.A. ESCALAS: PHB-16



**Perfil Hidraulico Con Sistema de Proteccion para Transitorio Hidraulico**  
**Tramo Rumicolca Collana**  
 Longitud : 21+000 - 23+180.02 m



**EPS. SEDACUSCO S.A.**  
 OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES

PROYECTO: AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA POTABLE 6 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO I ETAPA  
 PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO 2DA ETAPA CON SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TRANSITORIO HIDRAULICO - LINEA DE IMPULSION TRAMO RUMICOLCA COLLANA

DISEÑO: E. GONZALEZ GONZALEZ  
 REVISADO: E. GONZALEZ GONZALEZ  
 APROBADO: E. GONZALEZ GONZALEZ

OPINION TECNICA FAVORABLE  
 OFICIO N° 156-2023-VI-PID/DIR. V. P. D. CUSCO

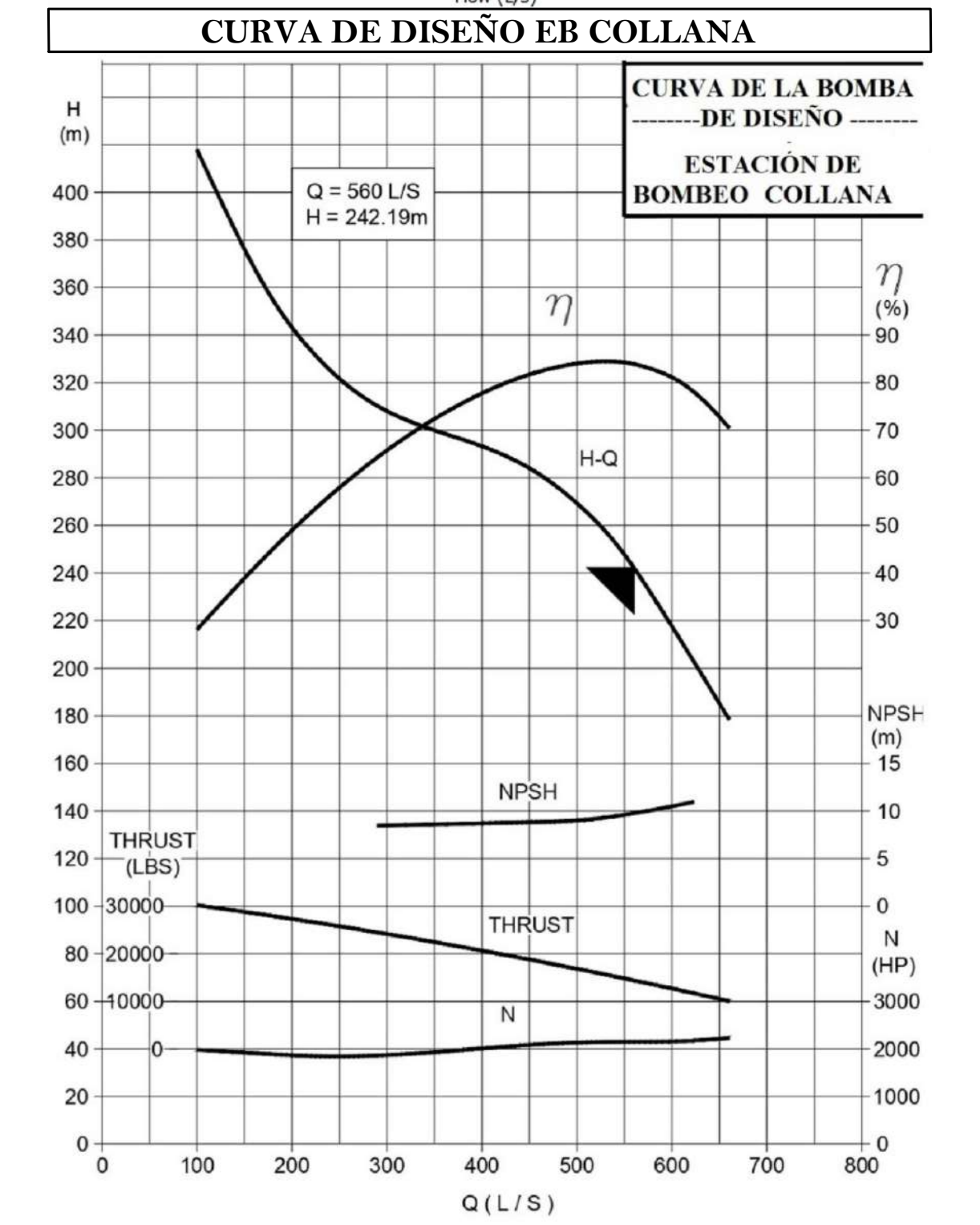
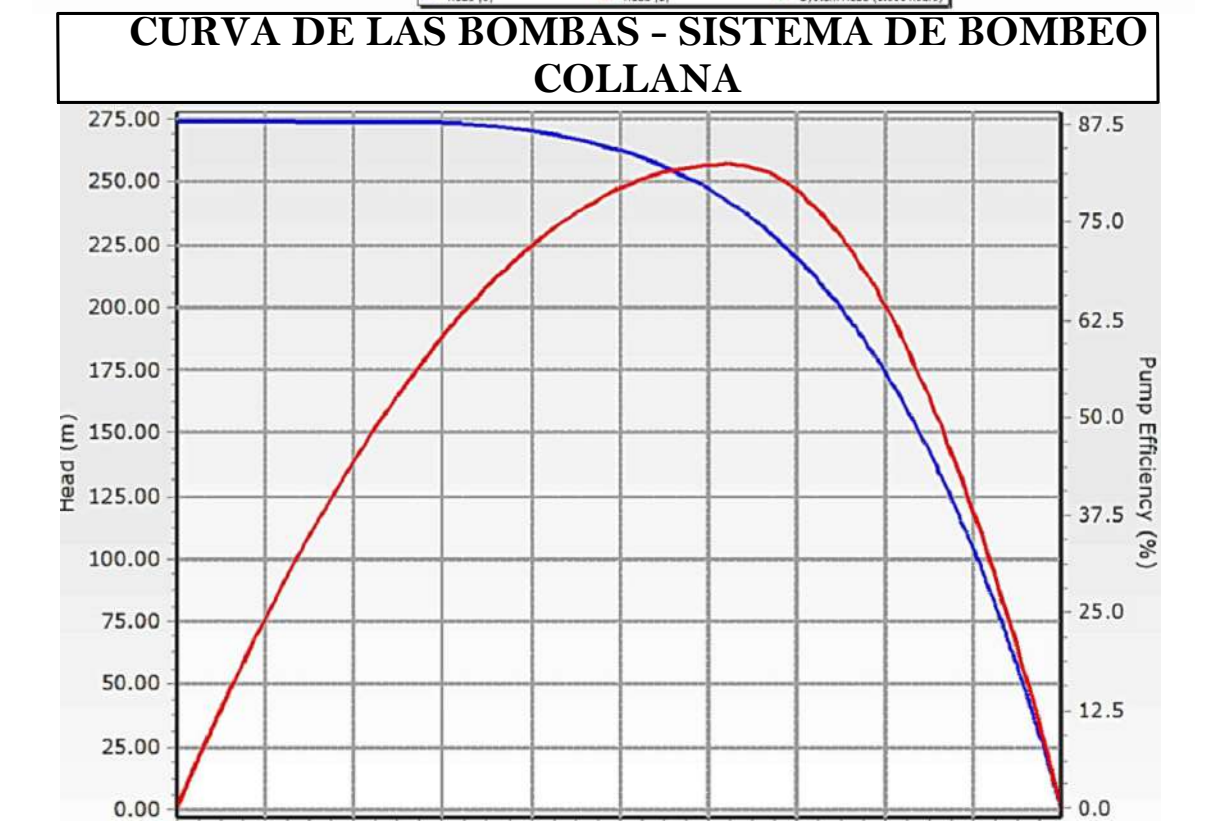
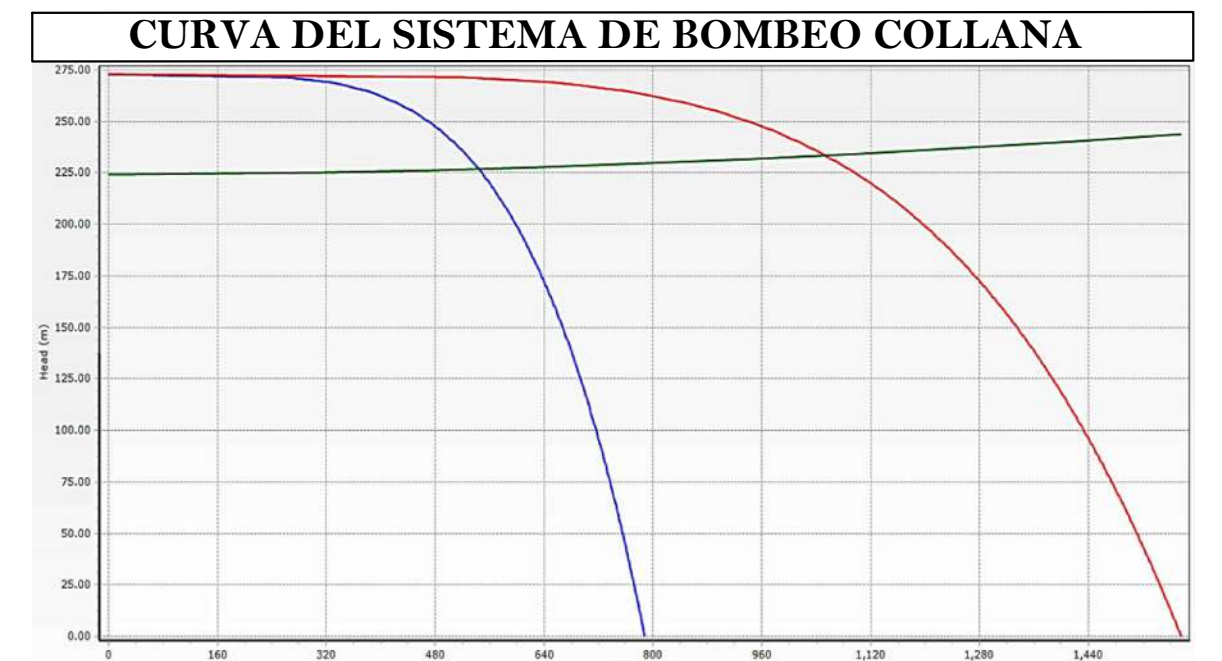
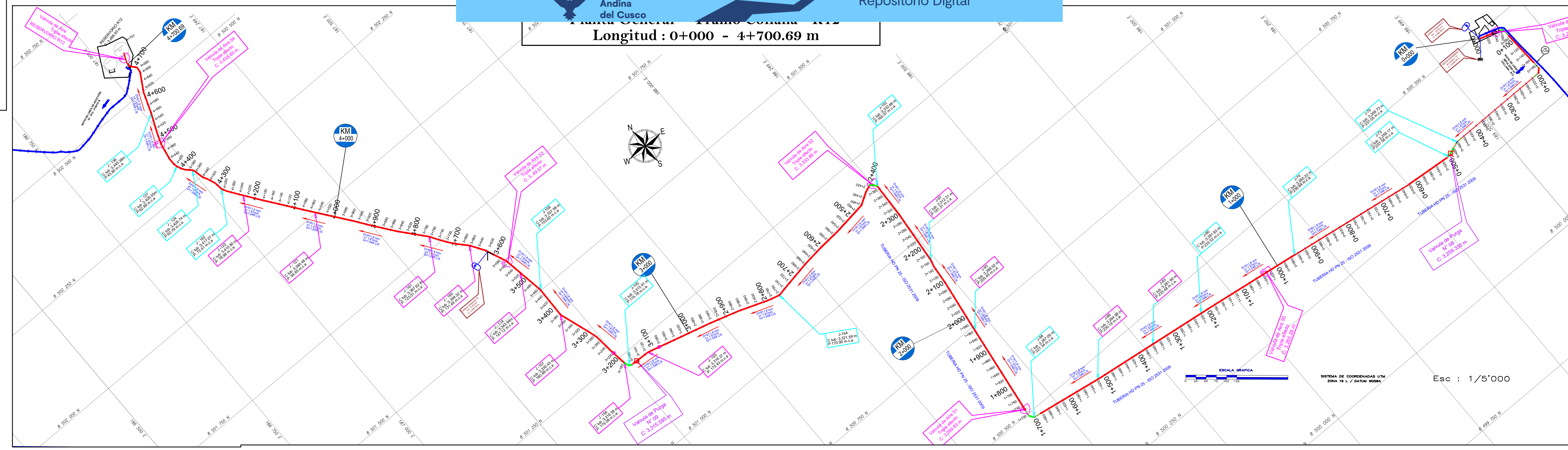
FECHA: MARZO 2023  
 ESCALAS: PHB-18



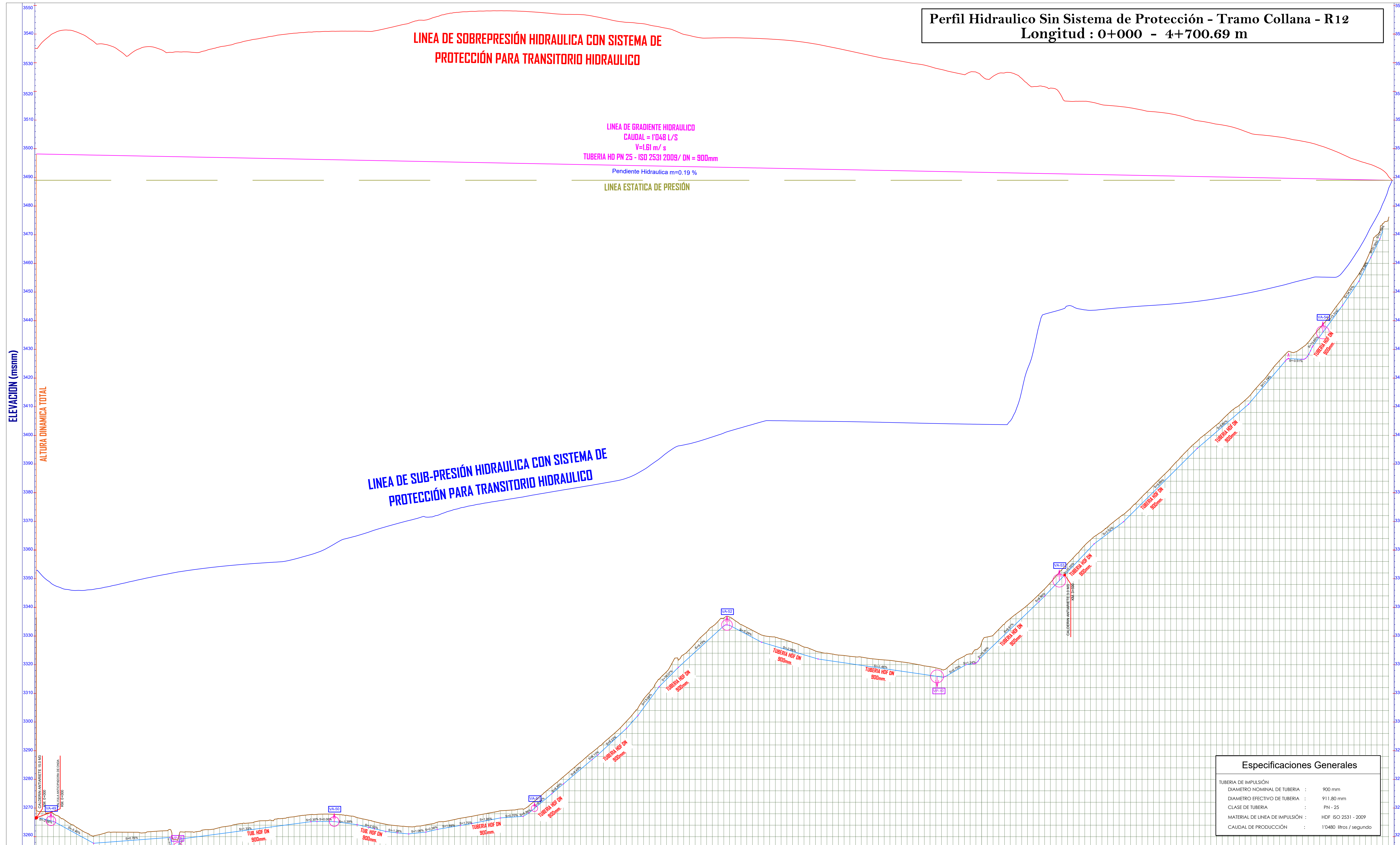
**PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO CON SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS - SEGUNDA ETAPA - TRAMO COLLANA A RESERVORIO R12**

CAUDAL = 1048.00 litros /segundo  
 TUBERIA HDF - PN 25 ISO 2531-2009 /DN = 900 mm

Longitud : 0+000 - 4+700.69 m



**Perfil Hidraulico Sin Sistema de Protección - Tramo Collana - R12**  
 Longitud : 0+000 - 4+700.69 m



PROGRESIVA	COTA TERRENO	COTA BARBANTE	COTA DE CORTA	ESQUEMA	ALUMBRAMIENTO	REINFORZO	CLASIFICACION
0+000	3280.00	3280.00	3280.00				
0+100	3285.00	3285.00	3285.00				
0+200	3290.00	3290.00	3290.00				
0+300	3295.00	3295.00	3295.00				
0+400	3300.00	3300.00	3300.00				
0+500	3305.00	3305.00	3305.00				
0+600	3310.00	3310.00	3310.00				
0+700	3315.00	3315.00	3315.00				
0+800	3320.00	3320.00	3320.00				
0+900	3325.00	3325.00	3325.00				
1+000	3330.00	3330.00	3330.00				
1+100	3335.00	3335.00	3335.00				
1+200	3340.00	3340.00	3340.00				
1+300	3345.00	3345.00	3345.00				
1+400	3350.00	3350.00	3350.00				
1+500	3355.00	3355.00	3355.00				
1+600	3360.00	3360.00	3360.00				
1+700	3365.00	3365.00	3365.00				
1+800	3370.00	3370.00	3370.00				
1+900	3375.00	3375.00	3375.00				
2+000	3380.00	3380.00	3380.00				
2+100	3385.00	3385.00	3385.00				
2+200	3390.00	3390.00	3390.00				
2+300	3395.00	3395.00	3395.00				
2+400	3400.00	3400.00	3400.00				
2+500	3405.00	3405.00	3405.00				
2+600	3410.00	3410.00	3410.00				
2+700	3415.00	3415.00	3415.00				
2+800	3420.00	3420.00	3420.00				
2+900	3425.00	3425.00	3425.00				
3+000	3430.00	3430.00	3430.00				
3+100	3435.00	3435.00	3435.00				
3+200	3440.00	3440.00	3440.00				
3+300	3445.00	3445.00	3445.00				
3+400	3450.00	3450.00	3450.00				
3+500	3455.00	3455.00	3455.00				
3+600	3460.00	3460.00	3460.00				
3+700	3465.00	3465.00	3465.00				
3+800	3470.00	3470.00	3470.00				
3+900	3475.00	3475.00	3475.00				
4+000	3480.00	3480.00	3480.00				
4+100	3485.00	3485.00	3485.00				
4+200	3490.00	3490.00	3490.00				
4+300	3495.00	3495.00	3495.00				
4+400	3500.00	3500.00	3500.00				
4+500	3505.00	3505.00	3505.00				
4+600	3510.00	3510.00	3510.00				
4+700	3515.00	3515.00	3515.00				

**Especificaciones Generales**

TUBERIA DE IMPULSION	900 mm
DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA	911.80 mm
CLASE DE TUBERIA	PN 25
MATERIAL DE LINEA DE IMPULSION	HDF ISO 2531 - 2009
CAUDAL DE PRODUCCION	10480 litros /segundo

**LEYENDA - PERFIL**

- ◉ CÁMARA DE VALVULA DE CONTROL
- ◉ CÁMARA DE VALVULA DE PURGA
- ◉ CÁMARA DE VALVULA DE AIRE
- ◉ CÁMARA DE VALVULA DE AIRE - DOBLE
- LINEA DE SOBREPRESIÓN HIDRAULICA SIN SISTEMA
- LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICO PROYECTADO
- LINEA ESTATICA DE PRESIÓN PROYECTADO
- LINEA DE TERRENO NATURAL
- LINEA DE IMPULSION PROYECTADO DN = 900mm
- LINEA DE SUBPRESIÓN HIDRAULICA SIN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS

**LEYENDA - PLANTA**

- D: mm DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA EN MM
- Q: L/s CAUDAL DE DISEÑO DE PRODUCCION EN L/S
- V: m/s VELOCIDAD DEL FLUJO EN M/S
- C: m COTA PIEZOMETRICA EN METROS
- P: m H2O PRESIÓN LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICA EN METROS DE COLUMNA DE AGUA
- J: NUMERO DE NODO DE ANALISIS SIMULACION HIDRAULICA
- ☀ NORTE MAGNETICO
- ☪ SIMULACION RESERVORIO
- ☪ SIMULACION BOMBA DE IMPULSION
- ☪ VALVULA DE AIRE
- ☪ CALDERIN ANTIARIETE
- LINEA DE IMPULSION PROYECTADO DN = 900 mm

**EPS. SEDACUSCO S.A.**  
 OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES

PROYECTO: AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA POTABLE 6 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO I ETAPA

PLANO: PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO 2DA ETAPA CON SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TRANSITORIO HIDRAULICO - LINEA DE IMPULSION TRAMO COLLANA - R12

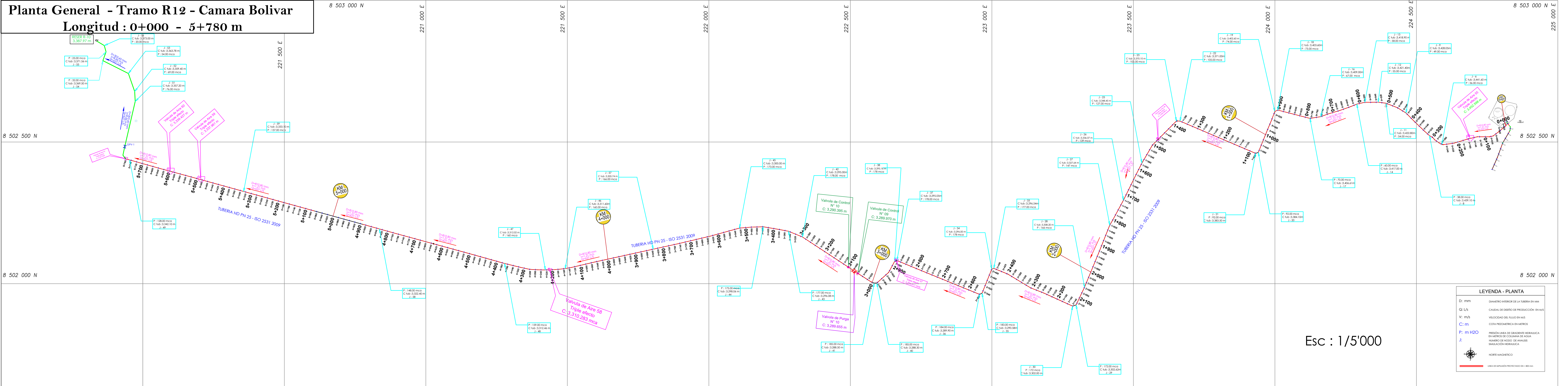
REVISADO: [Firma] | OPCIÓN TÉCNICA FAVORABLE | FECHA: MAR/2023

ESCALA PERFILES: 1/2500 | ESCALAS: [Indicadas]



CAUDAL = 627.00 litros /segundo  
TUBERIA HDI - PN 25 ISO 2531-2009 / DN = 900 mm

Planta General - Tramo R12 - Camara Bolivar  
Longitud : 0+000 - 5+780 m

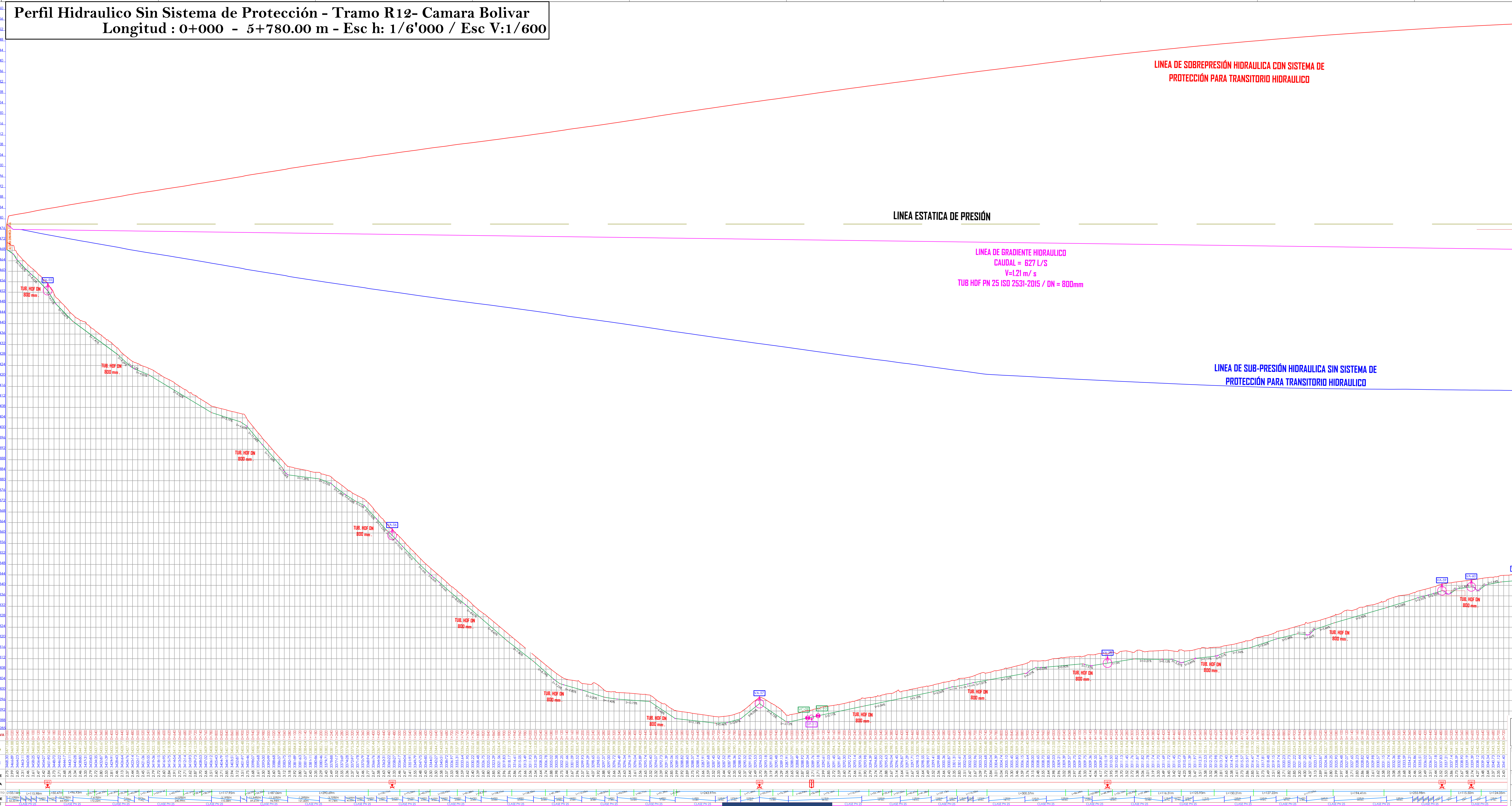


Esc : 1/5'000

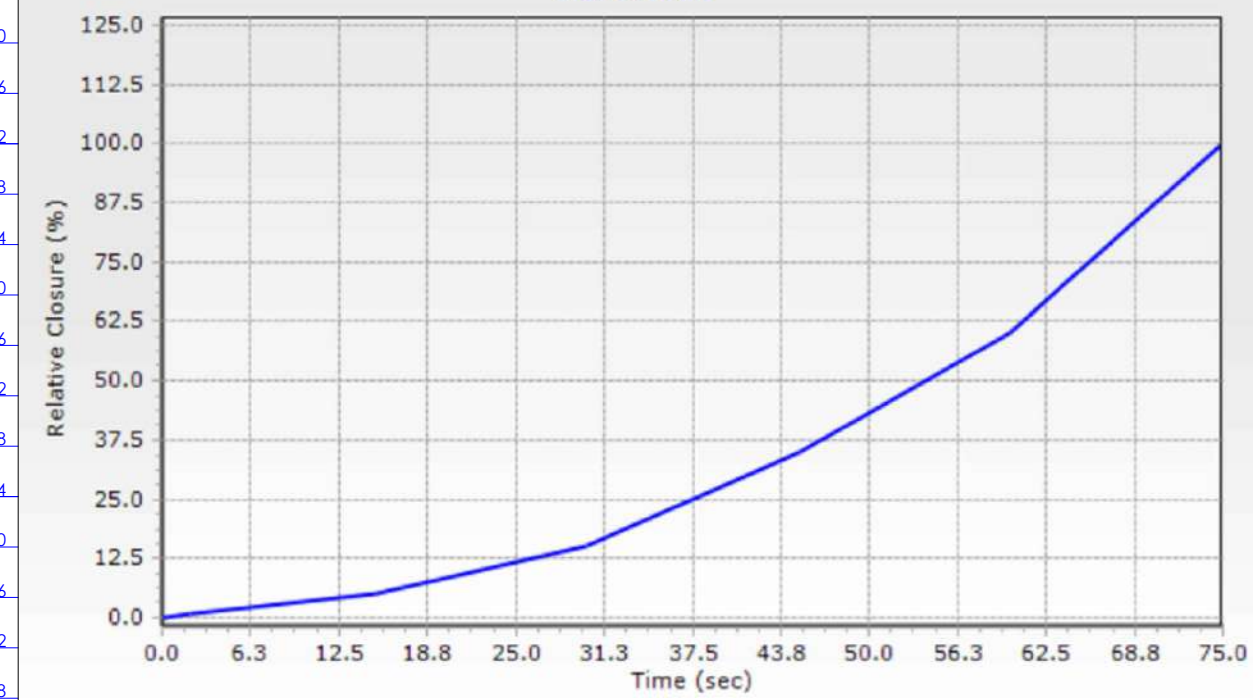
**LEYENDA - PLANTA**

- Ø: mm
- Ø: DN
- V: PN 25
- C: m
- F: m H<sub>2</sub>O
- Z: m

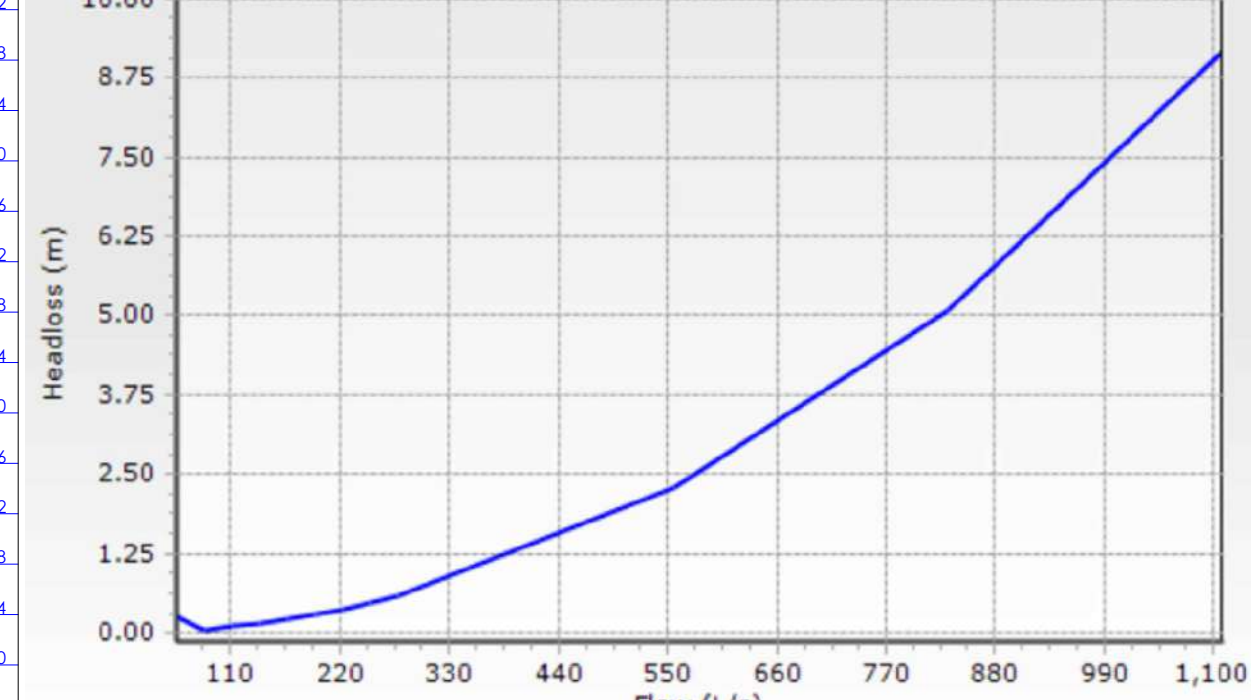
Perfil Hidraulico Sin Sistema de Protección - Tramo R12- Camara Bolivar  
Longitud : 0+000 - 5+780.00 m - Esc h: 1/6'000 / Esc V:1/600



CURVA DE OPERACIÓN DE APERTURA Y CERRADO DE VALVULA MARIPOSA



CURVA DE DESCARGA DE ACCESORIO ( VALVULA MARIPOSA 300 MM)



**LEYENDA - PERFIL**

- CÁMARA DE VALVULA DE CONTROL
- CÁMARA DE VALVULA DE PURGA
- CÁMARA DE VALVULA DE AIRE
- CÁMARA DE VALVULA DE AIRE DOBLE
- LINEA DE SOBREPRESIÓN HIDRAULICA SIN SISTEMA
- LINEA DE GRADIENTE HIDRAULICO PROYECTADO
- LINEA ESTÁTICA DE PRESIÓN PROYECTADO
- LINEA DE TERRENO NATURAL
- LINEA DE IMPULSION PROYECTADO DN = 800mm
- LINEA DE SUBPRESIÓN HIDRAULICA SIN SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA TRANSITORIOS HIDRAULICOS

**Especificaciones Generales**

TUBERIA DE IMPULSION  
DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA : 800 mm  
DIAMETRO EFECTIVO DE TUBERIA : 810.80 mm  
CLASE DE TUBERIA : PN - 25  
MATERIAL DE LINEA DE IMPULSION : HDI ISO 2531 - 2009  
CAUDAL DE PRODUCCION : 627 litros / segundo

**EPS. SEDACUSCO S.A.**  
OFICINA DE PROYECTOS ESPECIALES

PROYECTO: AMPLIACION DE LA PRODUCCION DE AGUA POTABLE E DISTRIBUCION DE LA PROVINCIA DEL CUSCO-DEPARTAMENTO DEL CUSCO I ETAPA  
PLANO: PLANTA Y PERFIL HIDRAULICO IERA ETAPA SIN SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TRANSITORIO HIDRAULICO - LINEA DE IMPULSION TRAMO R12 - CAMARA BOLIVAR

RESOLUCION N° 225-2023-AG/DIR. SEDACUSCO

OPINION TECNICA FAVORABLE

OFICIO N° 135-2023/VE/DIV. D.V.M.C/MS/PN/01

FECHA: MARZO 2023

INDICADAS

PH-21