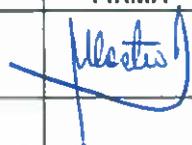
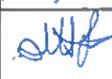


**"DISEÑO DEFINITIVO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN
PUEMBO – CALDERÓN"
INFORME FINAL DEFINITIVO
DICIEMBRE, 2019**



**VOLUMEN 05 - DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS
CONDUCCIONES Y OBRAS ANEXAS**

REV.	FECHA	ELABORACIÓN		REVISIÓN	
		NOMBRE	FIRMA	NOMBRE	FIRMA
A	2019-12-04	Ing. Ximena Hidalgo, M.Sc. Ing. Gustavo Angulo, M.Sc. Ing. Carmen López		Dr. Marco Castro.	
					

• A: Emisión Inicial

f



INDICE

1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	11
3. ÁREA DE DESARROLLO DEL PROYECTO	12
4. BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO	15
4.1 Período de diseño	15
4.2 Caudales de diseño y de operación para las líneas Paluguillo – Puembo – Calderón y Paluguillo – Puembo – Bellavista / Puengasi	15
4.3 Velocidades de diseño en la línea de transmisión	18
4.4 Pérdidas de carga	19
4.5 Cotas de los tanques de reserva	20
4.6 Material de la línea de transmisión	21
4.7 Calidad del agua cruda	21
4.8 Aspectos considerados para el dimensionamiento de la línea de transmisión Puembo Calderón	22
5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA CRUDA PALUGUILLO – PUEMBO - CALDERÓN	23
5.1 Trazado de la línea de transmisión Puembo Calderón	23
5.2 Regulación de caudales en el Ramal Puembo – Calderón	27
5.3 Espesores de la tubería de conducción de la Línea Puembo – Calderón	28
5.4 Tramos de la Línea Puembo – Calderón	32
5.5 Válvulas de Desagüe en la línea Puembo - Calderón	32
5.6 Válvulas de Aire en la línea Puembo - Calderón	38
5.7 Descripción de los tramos de la línea Puembo – Calderón	45
5.7.1 Trazado de la línea de transmisión Puembo Calderón – Tramo 1	45
5.7.2 Trazado de la línea de transmisión Puembo Calderón – Tramo 2	54
5.7.3 Línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 3	67
5.7.4 Línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 4	73
6. MODELACIÓN HIDRÁULICA CON FLUJO PERMANENTE DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN PUEMBO-CALDERÓN	80
6.1 Escenarios de Diseño y Operación considerados	81
6.2 Representación de la Línea de conducción en el modelo numérico	81
6.3 Parámetros de entrada adoptados para la simulación numérica de la línea de conducción	83
6.4 Resultados de la modelación numérica en flujo permanente	87
6.5 Resumen de Resultados de la simulación con flujo permanente	105
6.6 Conclusiones de la modelación de la línea Puembo Calderón en flujo permanente:...	105
7. MODELACIÓN HIDRÁULICA CON FLUJO NO PERMANENTE DEL RAMAL PUEMBO – CALDERÓN	106
7.1 ESCENARIOS ADOPTADOS PARA LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA LINEA DE CONDUCCIÓN PUEMBO CALDERÓN CON FLUJO NO PERMANENTE	107

7.2	PARÁMETROS DE ENTRADA ADOPTADOS PARA LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL SISTEMA CON FLUJO NO PERMANENTE.....	110
7.3	Válvulas de regulación de caudal.....	110
7.4	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CON EL FLUJO NO PERMANENTE.....	113
7.4.1	Apertura: Escenario 1.....	113
7.4.2	Apertura: Escenario 2.....	116
7.4.3	Apertura: Escenario 3.....	119
7.4.4	Apertura: Escenario 4.....	122
7.4.5	Cierre: Escenario 1.....	125
7.4.6	Cierre : Escenario 2.....	128
7.4.7	Cierre: Escenario 3.....	131
7.4.8	Cierre: Escenario 4.....	134
7.4.9	Escenario de Rotura.....	137
7.4.10	Escenario de apertura de la válvula de desagüe VD-2.....	140
7.4.11	Escenario de desagüe controlado o vaciado de la línea de conducción.....	143
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Implantación general de la línea de conducción de agua cruda Paluguillo – Bellavista – Puengasí – Calderón.....	13
Figura 2. Perfil de la conducción Paluguillo – Puenbo (Derivadora 1) - Calderón.....	14
Figura 3. Esquema General del Sistema Paluguillo – Puenbo – Bellavista – Puengasí - Calderón.	16
Figura 4. Implantación de la conducción Puenbo Calderón en la fotografía Google.....	25
Figura 5. Perfil de la conducción Puenbo Calderón.....	26
Figura 6. Vista en planta de la cámara Derivadora No. 1.	27
Figura 7. Espesores normalizados para la conducción Puenbo - Calderón.....	31
Figura 8. Esquema de la zanja tipo para la conducción Puenbo - Calderón.....	32
Figura 9. Planta de la cámara de desagüe Vds 6.....	36
Figura 10. Corte longitudinal (corte A-A) de la cámara de desagüe Vds 6.	36
Figura 11. Corte transversal (corte B-B) de la cámara de desagüe Vds 6.	37
Figura 12. Implantación de la cámara de desagüe secundaria VDs5.	37
Figura 13. Perfil longitudinal B-B de la cámara secundaria con tubería de descarga.....	38
Figura 14. Corte transversal A-A de la cámara de desagüe secundaria con tubería.....	38
Figura 15. Ubicación de las válvulas de desagüe y de las válvulas de aire en la conducción Puenbo - Calderón.....	40
Figura 16. Perfil longitudinal y transversal de la cámara de válvulas de aire.....	45
Figura 17. a) Implantación de la intersección de la línea de transmisión Puenbo – Calderón con el sistema Papallacta. b) Esquema del cruce de la Línea Puenbo – Calderón con la conducción del sistema existente Papallacta.	46
Figura 18. Implantación de la cámara de desagüe VD-1.....	48
Figura 19. Corte de la cámara desagüe VD-1.	48
Figura 20. Corte de la descarga de la cámara desagüe VD-1.....	48
Figura 21. Implantación y perfil del tramo 1 de la línea de conducción Puenbo - Calderón.....	53
Figura 22. Implantación de la cámara de la válvula de desagüe principal VD-2.	55
Figura 23. Corte longitudinal de la cámara de válvula de desagüe principal VD-2.	55
Figura 24. Corte transversal de la cámara de válvula de desagüe principal VD-2.....	56
Figura 25. Implantación de la cámara de desagüe VD-3.....	56
Figura 26. Corte de la cámara desagüe VD-3.	57
Figura 27. Corte de la descarga de la cámara desagüe VD-3.....	57
Figura 28. Implantación del tramo 2 de la línea de transmisión Puenbo Calderón, sobre la fotografía Google.....	59
Figura 29: Configuración del paso elevado en el tramo horizontal, sobre el río Guayllabamba.	61
Figura 30: Cruce de la línea de conducción, sobre el río Guayllabamba.	62
Figura 31: Vías de acceso hacia las plataformas del Cruce sobre el río Guayllabamba.	63

Figura 32: Sección tipo de la vía de acceso hacia la plataforma del paso elevado sobre el río Guayllabamba	64
Figura 33: Implantación de la LC Puenbo- Calderón para el Cruce del río Guayllabamba.....	65
Figura 34: Perfil de la LC Puenbo - Calderón para el Cruce del río Guayllabamba.....	66
Figura 35. Implantación del Tramo 3 de la conducción Puenbo Calderón.....	68
Figura 36. Cruce de la línea de conducción sobre la quebrada Tamauco en la fotografía Google.....	70
Figura 37: Implantación de la LC Puenbo - Calderón para el Cruce sobre la Qda. Tamauco. .	70
Figura 38: Implantación de la LC Puenbo - Calderón para el Cruce de la Qda. Tamauco.	71
Figura 39: Perfil de la LC Puenbo - Calderón para el Cruce de la Qda. Tamauco.....	72
Figura 40. Implantación del Tramo 4 de la línea Puenbo Calderón.....	74
Figura 41. Implantación del cruce bajo la vía Panamericana Norte en la conducción Puenbo Calderón	75
Figura 42: Perfil del cruce de la línea Puenbo Calderón para la Vía Panamericana en el tramo 3.....	76
Figura 43. Esquema de la estructura necesaria para salvar la intersección de la conducción Puenbo calderón con el OCP.....	76
Figura 44. Esquema de la cámara de descarga de la conducción Puenbo Calderón hacia la PTAP Calderón.....	77
Figura 45. Implantación de la cámara de dasagüe VD-4.....	78
Figura 46. Corte de la cámara desagüe VD-4.	79
Figura 47. Esquema general del sistema Paluguillo Puenbo Calderón.....	82
Figura 48. Ubicación en planta de los puntos de interés en el ramal Puenbo Calderón	85
Figura 49. Ubicación en planta de los puntos de interés en el ramal Puenbo Calderón	86
Figura 50. Esquema general de operación para el Escenario 1	87
Figura 51. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puenbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 1.....	89
Figura 52. Esquema general de operación para el Escenario 2.....	90
Figura 53. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puenbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 2.....	92
Figura 54. Esquema general de operación para el Escenario 3.....	93
Figura 55. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puenbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 3.....	95
Figura 56. Esquema general de operación para el Escenario 4.....	96
Figura 57. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puenbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 4.....	98
Figura 58. Esquema general de operación para el Escenario 5.....	99
Figura 59. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puenbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 5.....	101
Figura 60. Esquema general de operación para el Escenario de Diseño	102
Figura 61. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puenbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario de Diseño.....	104



Figura 62. Coeficiente de descarga (Kv) para las válvulas FCV-PC1, FCV-PB1 y FCV-PB2. 111

Figura 63 Coeficiente de Flujo (Kv) de las válvulas multichorro 112

Figura 64. Patrón de apertura de la válvula FCV-PC1 en el escenario 1 113

Figura 65. Envolvente de presiones para el escenario de apertura No. 1 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 115

Figura 66. Patrón de apertura de la válvula FCV-PC1 en el escenario 2 116

Figura 67. Envolvente de presiones para el escenario de apertura No. 2 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 118

Figura 68. Patrón de apertura de la válvula FCV-PC1 en el escenario 3 119

Figura 69. Envolvente de presiones para el escenario de apertura No. 3 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 121

Figura 70. Patrón de apertura de la válvula FCV-PC1 en el escenario 4 122

Figura 71. Envolvente de presiones para el escenario de apertura No. 4 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 124

Figura 72. Patrón de Cierre de la válvula FCV-PC1 en el escenario 1..... 125

Figura 73. Envolvente de presiones para el escenario de Cierre No. 1 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 127

Figura 74. Patrón de Cierre de la válvula FCV-PC1 en el escenario 2..... 128

Figura 75. Envolvente de presiones para el escenario de Cierre No. 2 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 130

Figura 76. Patrón de Cierre de la válvula FCV-PC1 en el escenario 3..... 131

Figura 77. Envolvente de presiones para el escenario de Cierre No. 3 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 133

Figura 78. Patrón de Cierre de la válvula FCV-PC1 en el escenario 4..... 134

Figura 79. Envolvente de presiones para el escenario de Cierre No. 1 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 136

Figura 80. Transitorio hidráulico producido por la rotura de la tubería, evolución del caudal en el punto de rotura 137

Figura 81. Envolvente de presiones para el escenario de rotura de la tubería a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 139

Figura 82. Patrón de Apertura de la válvula FCV-PC1 para la válvula de desagüe VD-2..... 140

Figura 83. Envolvente de presiones para el escenario de apertura controlada de la válvula VD-2 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 142

Figura 84. Patrón de apertura de las válvulas de desagüe para la operación de vaciado de la conducción 143

Figura 85. Envolvente de presiones para la operación de vaciado programado de la conducción, a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón..... 145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Característica Geométricas principales y caudales de diseño de la línea de transmisión Paluguillo - Bellavista	10
Tabla 2: Condiciones de diseño del ramal Puembo – Calderón	11
Tabla 3: Caudales de diseño para la línea Paluguillo – Calderón	15
Tabla 4: Caudales de operación para el escenario I	16
Tabla 5: Caudales de operación para el escenario II	17
Tabla 6: Caudales de operación para el escenario III	17
Tabla 7: Caudales de operación para el escenario IV	17
Tabla 8: Caudales de operación para el escenario V	18
Tabla 9: Caudales de operación para el escenario VI (Escenario de Diseño)	18
Tabla 10: Velocidades máximas permisibles en la tubería de presión, conforme su recubrimiento interno.....	19
Tabla 11: Cotas de elevación y coordenadas de los tanques de almacenamiento del sistema Paluguillo – Bellavista – Puengasí y Calderón.....	21
Tabla 12: Características del material de la tubería de conducción	21
Tabla 13: Esfuerzo admisible de operación y emergencia de acuerdo a la norma AWWA	28
Tabla 14: Esfuerzo admisible para la tubería de acuerdo a la norma ASME	28
Tabla 15: Serie de espesores normalizados para la conducción Puembo Calderón	30
Tabla 16: Tramos que conforman la línea de conducción de agua cruda Puembo – Calderón	32
Tabla 17: Desagües ubicados a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón.....	34
Tabla 18: Información descriptiva de las cámaras de desagüe secundarias en el tramo Puembo - Calderón.....	35
Tabla 19: Cálculo del caudal de aire necesario para garantizar la integridad física de la conducción por medio de la operación de las válvulas de aire.....	42
Tabla 20: Desagües ubicados a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 1.....	47
Tabla 21: Válvulas de aire a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 1	51
Tabla 22: Ubicación de los cruces aéreos de la línea de conducción Puembo – Calderón – Tramo 2	60
Tabla 23: Parámetros de diseño de las vías de acceso hasta el paso elevado sobre el río Guayllabamba	62
Tabla 24: Válvulas de aire a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 2	67
Tabla 25: Ubicación de los cruces aéreos de la línea de conducción Puembo – Calderón – Tramo 2	69
Tabla 26: Válvulas de aire a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 3	73



Tabla 27: Ubicación del cruce bajo la Via Panamericana de la línea de conducción Puembo – Calderón – Tramo 4	75
Tabla 28: Válvulas de aire a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 3	80
Tabla 29: Tramos de modelación en el sistema Paluguillo – Puembo – Calderón – Bellavista – Puengasí	82
Tabla 30: Elevación de los tanques de almacenamiento y de la derivadora No. 1 para el ramal Puembo Calderón	83
Tabla 31: Coeficientes de rugosidad absoluta (Fórmula de Darcy - Weistbach).....	84
Tabla 32: Coeficientes de pérdida local dentro de la cámara Derivadora No.1 para el ramal Puembo Calderón	84
Tabla 33: Puntos de interés en el tramo L5, entre la cámara Derivadora No. 1 y la PTAP Calderón.....	85
Tabla 34: Distribución de caudales para el escenario 1	87
Tabla 35: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 1	88
Tabla 36: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 1.....	88
Tabla 37: Distribución de caudales para el escenario 2	90
Tabla 38: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 2	91
Tabla 39: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 2.....	91
Tabla 40: Distribución de caudales para el Escenario 3	93
Tabla 41: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 3	94
Tabla 42: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 3.....	94
Tabla 43: Distribución de caudales para el Escenario 4	96
Tabla 44: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 4.	97
Tabla 45: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 4.....	97
Tabla 46: Distribución de caudales para el escenario 5	99
Tabla 47: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 5	100
Tabla 48: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 5.....	100
Tabla 49: Distribución de caudales para el Escenario de Diseño.....	102
Tabla 50: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario de Diseño	103
Tabla 51: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario de Diseño.	103

37

f

Tabla 52: Resumen de los resultados de la simulación con flujo permanente en la conducción Puembo Calderón para todos los escenarios – Variación de presión en la válvula FCV-PC1.	105
Tabla 53: Espesores de la tubería a lo largo de la línea de transmisión Paluguillo – Puembo – Calderón – Bellavista - Puengasí.	106
Tabla 54: Resumen de escenarios de operación normal para la apertura del sistema Puembo calderón, análisis de flujo no permanente.	108
Tabla 55: Resumen de escenarios de operación normal para el cierre del sistema Puembo Calderón, análisis de flujo no permanente.	109
Tabla 56: Regla de operación de las válvulas principales para el vaciado de la línea Puembo Calderón, análisis de flujo no permanente.	109
Tabla 57: Parámetros del fluido y del material de la tubería adoptados para la simulación del flujo no permanente en la línea de transmisión Puembo Calderón.	110
Tabla 58: Válvulas de regulación de caudales diseñadas para la cámara Derivadora No. 1.	111
Tabla 59: Válvulas multichorro para el desagüe de la línea Puembo Calderón.	112
Tabla 60: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la apertura en el escenario 1.	114
Tabla 61: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la apertura en el escenario 2.	117
Tabla 62: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la apertura en el escenario 3.	120
Tabla 63: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la apertura en el escenario 4.	123
Tabla 64: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de cierre para el Escenario 1.	126
Tabla 65: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de cierre para el Escenario 2.	129
Tabla 66: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de cierre para el Escenario 3.	132
Tabla 67: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de cierre para el Escenario 4.	135
Tabla 68: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para las condiciones de rotura de la válvula VD-2. Escenario de rotura.	138
Tabla 69: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de apertura de la válvula de desagüe VD-2.	141
Tabla 70: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de vaciado programado de la conducción Puembo Calderón.	144



1. INTRODUCCIÓN

La línea de transmisión de agua cruda Paluguillo – Bellavista, es uno de los sistemas prioritarios definidos en el Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). La fuente de agua cruda que se conducirá en el ramal Puembo – Calderón, al igual que en la línea de transmisión Paluguillo – Bellavista, proviene del Proyecto de Agua Potable Ríos Orientales (PRO).

La línea de Transmisión de agua cruda Paluguillo – Bellavista, diseñada a nivel definitivo en 2017 incluye los dos ramales: (i) Puembo – Calderón, y (ii) Av. Simón Bolívar – Puengasí, con lo que cubrirá la demanda futura de agua potable para la ciudad de Quito y Calderón, considerando que el horizonte de proyecto corresponde al año 2040. El agua cruda en la línea principal Paluguillo – Bellavista, así como en los ramales hacia las Plantas de Tratamiento de Calderón y de Puengasí, será transportada a presión, aprovechando el desnivel entre el tanque de la Recuperadora de Paluguillo (3108.68 msnm) y los tanques de las Plantas de Tratamiento en Bellavista (2972.70 msnm), en Calderón (2877,79 msnm) y en Puengasí (2992 msnm). De conformidad con el Diseño Definitivo de la Línea de Transmisión Paluguillo – Bellavista, se presenta en la siguiente tabla, las principales características geométricas, así como los correspondientes caudales de diseño:

Tabla 1: Característica Geométricas principales y caudales de diseño de la línea de transmisión Paluguillo - Bellavista

Tramo	Inicio	Fin	Longitud Km	Diámetro interno mm	Caudal de diseño l/s
1	Tanque recuperadora	Cámara Derivadora No. 1	14,61	1.400	4.300
2	Cámara Derivadora No. 1	Cámara Derivadora No. 2	13,29	1.300	3.000
3	Cámara Derivadora No. 2	Tanque Bellavista	1,64	700	1.500

Elaboración: INGECONSULT, 2019

El ramal Puembo – Calderón se inicia en la Cámara Derivadora No. 1 y su desarrollo finaliza en la descarga hacia el Tanque de Carga de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Calderón, que se ubicará en las coordenadas 9996110,41 Norte y 508384,20 Este.

Los parámetros de diseño definidas para el ramal Puembo Calderón, se resumen en la Tabla 2

garantizar su adecuado funcionamiento hidráulico, de la alternativa seleccionada como óptima para el presente proyecto.

3. ÁREA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en el Distrito Metropolitano de Quito. Su área de influencia se ubica en el oriente de la ciudad de Quito, y se extiende entre el sector de la PTAP de Paluguiño y la PTAP de San José de Calderón, localizada en la parroquia del mismo nombre. El ramal Puembo – Calderón es parte del sistema de conducción de agua cruda Paluguiño – Bellavista y se inicia en la cámara Derivadora No. 1, ubicada en Puembo. En la Figura 1 se presenta la implantación general y el área de influencia indirecta de todo este sistema, cuya implantación general está conformada por el primer tramo de la Línea Paluguiño - Bellavista, denominado Tramo L1 (Paluguiño - Derivadora 1) y por el ramal Puembo – Calderón, denominado Tramo L5 dentro del sistema Paluguiño – Bellavista. A continuación, para referencia, se describen todos los tramos que conforman al sistema Paluguiño – Bellavista, así;

- L1 corresponde al tramo entre el tanque de Paluguiño y el punto de bifurcación (Derivadora 1), que se ubica en el sector conocido como la "Y" de Puembo;
- L2 corresponde al tramo entre la cámara de derivación (Derivadora 1) ubicada en la Y de Puembo y la cámara de derivación 2 en la que se conduce el flujo hacia Bellavista y Puengasí.
- L3 corresponde al tramo entre la cámara de derivación 2 y el tanque de Bellavista;
- L4 corresponde al tramo entre la cámara de derivación 2 y el tanque de Puengasí; y finalmente
- L5 corresponde al tramo entre la cámara de derivación 1 (Y de Puembo) y la PTAP de Calderón.



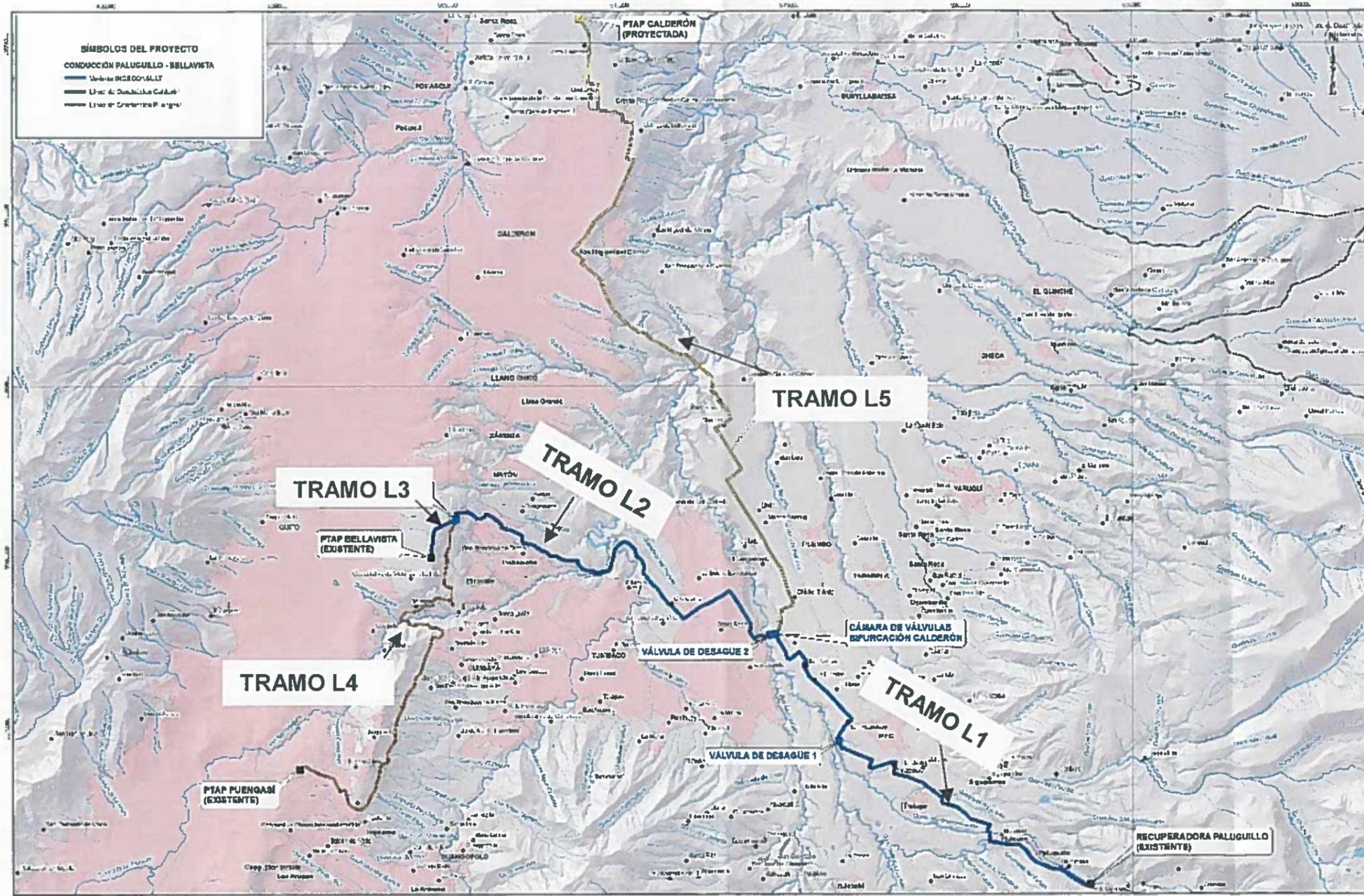


Figura 1. Implantación general de la línea de conducción de agua cruda Paluguillo – Bellavista – Puengasí – Calderón
Elaboración: INGECONSULT, 2019

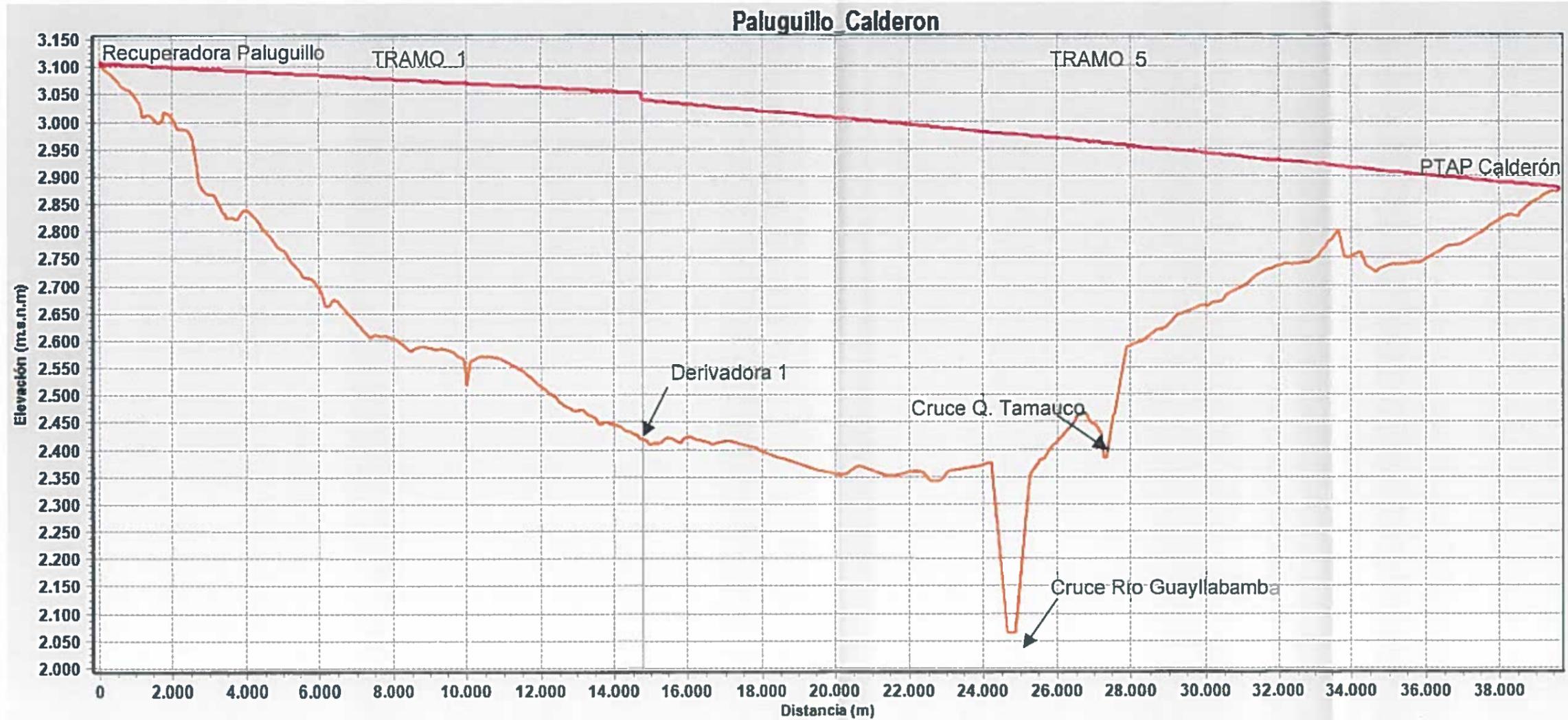


Figura 2. Perfil de la conducción Paluguillo - Puembo (Derivadora 1) - Calderón
Elaboración: INGECONSULT, 2019

mf

A

4. BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO

Las bases y criterios de diseño considerados cumplen con la normativa nacional vigente. A continuación, se resumen los principales criterios y bases de diseño que se observan en el desarrollo del diseño de la línea de conducción a presión de agua cruda Puembo – Calderón.

4.1 Período de diseño

Se adopta un período de diseño de 30 años, de conformidad con lo establecido en las "Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable para La EMAAP-Q"¹ capítulo 2.1.1.3 Período de horizonte de diseño "Todos los componentes de un proyecto de agua potable, se debe usar un período de diseño de 30 años".

4.2 Caudales de diseño y de operación para las líneas Paluguillo – Puembo – Calderón y Paluguillo – Puembo – Bellavista / Puengasí.

Los caudales de diseño tanto para el tramo inicial L1 de la Línea de Transmisión, Paluguillo – Puembo, como para el ramal Puembo – Calderón, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3: Caudales de diseño para la línea Paluguillo – Calderón

Tramo	Q diseño (l/s)
L1 (Paluguillo – Cámara Derivadora No. 1)	4300
Ramal Puembo - Calderón	1300

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Para el análisis hidráulico de la conducción Paluguillo – Puembo y Puembo – Calderón se ha considerado que la PTAP de Calderón entrará en operación en dos etapas: en la primera, la conducción operará con el 50% del caudal de diseño; en la segunda, se alcanza el 100% del caudal de diseño (1300 l/s). Se establece, además, la siguiente secuencia de entrada en operación para el sistema Paluguillo – Bellavista:

- En la primera etapa circulará el caudal desde Paluguillo únicamente hacia Calderón ($Q_D = 1300$ l/s). Las PTAPs de Bellavista y Puengasí no entran en operación.
- Posteriormente se inicia la operación de la ampliación de la PTAP Bellavista ($Q_D = 1500$ l/s). Se conduce el flujo hacia las dos plantas con diferentes combinaciones de caudales.
- Finalmente se inicia la operación de la PTAP Puengasí ($Q_D = 1500$ l/s).

Sobre esta base se definen a continuación los escenarios de operación que interesan para el diseño hidráulico de la línea Paluguillo – Puembo y Puembo - Calderón:

¹ Normas De Diseño De Sistemas De Agua Potable Para La Emaap-Q Empresa Metropolitana De Alcantarillado Y Agua Potable 2009



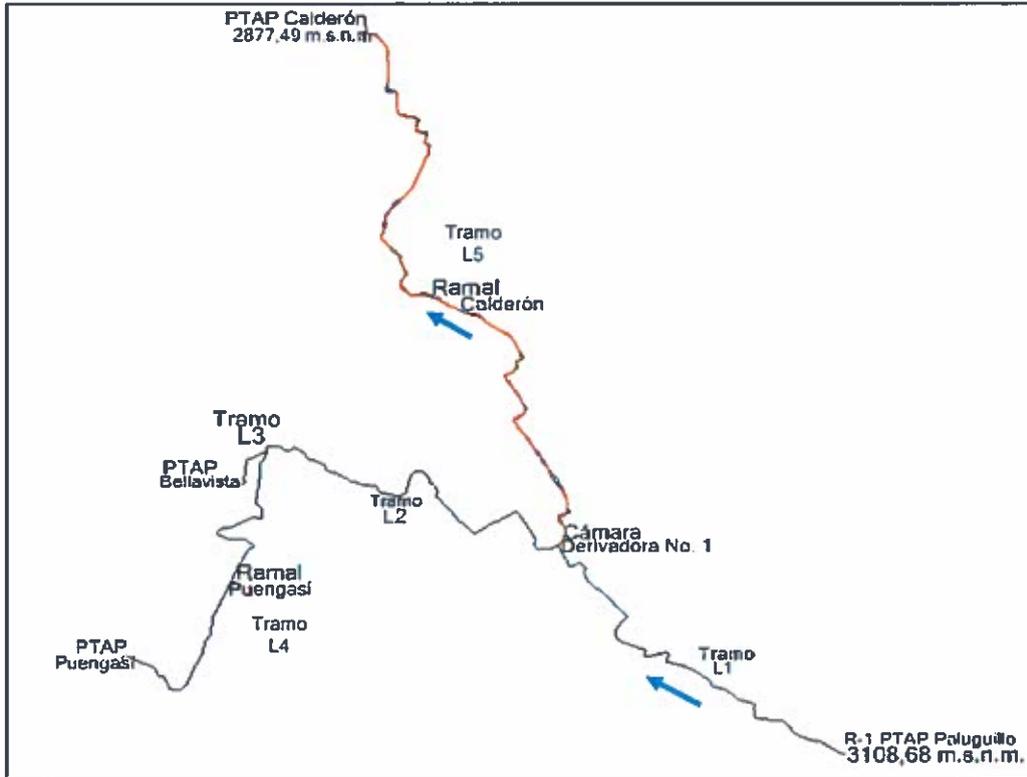



Figura 3. Esquema General del Sistema Paluguillo – Puenbo – Bellavista – Puengasí – Calderón

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Escenario I: Escenario de operación. Representa las condiciones de operación durante los primeros años del sistema. El caudal de operación de los tramos L1 (Paluguillo – Cámara Derivadora No. 1) y L5 (Puenbo – Calderón) es igual a 650 l/s (50% del correspondiente Q_D de PTAP Calderón). El tramo L3 (Puenbo - Bellavista) no entra en operación. Los caudales de operación para el Escenario I en los tramos de la línea son:

Tabla 4: Caudales de operación para el escenario I

Tramo	Q operación (l/s)
L1 (Paluguillo – Cámara Derivadora No. 1)	650
Ramal Puenbo – Calderón	650
L2 (Cámara Derivadora No. 1 - Cámara Derivadora No. 2)	0
L3 (Cámara Derivadora No. 2 - Bellavista)	0
L4 (Cámara Derivadora No. 2 - Puengasí)	0

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Escenario II: Escenario de operación. Mantiene el ramal Puenbo – Calderón con el caudal de 650 l/s y se inicia la operación de la ampliación de la PTAP Bellavista con hasta el 50% de su caudal de diseño (750 l/s), por lo que el tramo L2 conducirá este caudal. La regulación de caudales se produce en la cámara derivadora 1, distribuyendo 750 l/s hacia la PTAP Bellavista y 650 l/s hacia la PTAP Calderón. El caudal de circulación en el tramo L1 será de 1400 l/s. Los caudales de operación para el escenario II en los tramos del sistema son:

Tabla 5: Caudales de operación para el escenario II

Tramo	Q operación (l/s)
L1 (Paluguiño - Cámara Derivadora No. 1)	1400
Ramal Puenbo – Calderón	650
L2 (Cámara Derivadora No. 1 - Cámara Derivadora No. 2)	750
L3 (Cámara Derivadora No. 2 - Bellavista)	750
L4 (Cámara Derivadora No. 2 - Puengasí)	0

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Escenario III: Escenario de operación. En este escenario se supone que la ampliación de la PTAP Bellavista se completa, es decir el Tramo L2 conducirá 1500 l/s. La PTAP Calderón continúa operando al 50% de su capacidad, es decir con un caudal de 650 l/s. La ampliación de la PTAP Puengasí no se inicia aún. Los caudales de operación para el escenario III en los tramos del sistema son:

Tabla 6: Caudales de operación para el escenario III

Tramo	Q operación (l/s)
L1 (Paluguiño - Cámara Derivadora No. 1)	2150
Ramal Puenbo – Calderón	650
L2 (Cámara Derivadora No. 1 - Cámara Derivadora No. 2)	1500
L3 (Cámara Derivadora No. 2 - Bellavista)	1500
L4 (Cámara Derivadora No. 2 - Puengasí)	0

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Escenario IV: Escenario de operación. Se supone que la ampliación de la PTAP de Calderón llega al 100% de su caudal de diseño, es decir 1300 l/s. Se supone que no se da flujo hacia la PTAP Bellavista ni a la PTAP Puengasí. Los caudales de operación para el escenario IV en los tramos de la línea son:

Tabla 7: Caudales de operación para el escenario IV

Tramo	Q operación (l/s)
L1 (Paluguiño - Cámara Derivadora No. 1)	1300
Ramal Puenbo – Calderón	1300
L2 (Cámara Derivadora No. 1 - Cámara Derivadora No. 2)	0
L3 (Cámara Derivadora No. 2 - Bellavista)	0
L4 (Cámara Derivadora No. 2 - Puengasí)	0

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Escenario V: Este escenario hipotético, representa la operación al 50% de su capacidad de la PTAP Calderón, y la operación al 100% de las PTAP de Bellavista y Puengasí.

Los caudales de operación para el escenario V en los tramos de la línea son:

Tabla 8: Caudales de operación para el escenario V

Tramo	Q operación (l/s)
L1 (Paluguillo - Cámara Derivadora No. 1)	3650
Ramal Puembo – Calderón	650
L2 (Cámara Derivadora No. 1 - Cámara Derivadora No. 2)	3000
L3 (Cámara Derivadora No. 2 - Bellavista)	1500
L4 (Cámara Derivadora No. 2 - Puengasí)	1500

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Escenario VI: Escenario de diseño. Este escenario contempla la operación de las tres PTAP (Bellavista, Puengasí y Calderón) a su máxima capacidad. Las conducciones del sistema Paluguillo – Bellavista operan con sus respectivos caudales de diseño. La Tabla 9 resume los caudales del sistema.

Tabla 9: Caudales de operación para el escenario VI (Escenario de Diseño)

Tramo	Q operación (l/s)
L1 (Paluguillo - Cámara Derivadora No. 1)	4300
L5 (Ramal Puembo – Calderón)	1300
L2 (Cámara Derivadora No. 1 - Cámara Derivadora No. 2)	3000
L3 (Cámara Derivadora No. 2 - Bellavista)	1500
L4 (Cámara Derivadora No. 2 - Puengasí)	1500

Elaboración: INGECONSULT, 2019

4.3 Velocidades de diseño en la línea de transmisión

De conformidad con las Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable que dispone la EPMAPS, la velocidad máxima en la conducción dependerá del material a utilizarse, de tal forma de evitar erosión del mismo. La velocidad mínima, por otra parte, obedece a los requerimientos de minimizar el depósito de material sólido que ingresa a la tubería arrastrado con el caudal líquido.

Siguiendo las recomendaciones del Plan Maestro y considerando que el ramal Puembo Calderón es una conducción que soportará grandes cargas de presión se ha previsto en el diseño que el material será el acero del mismo tipo que el seleccionado en el diseño definitivo de la Línea de Transmisión Paluguillo – Bellavista y sus derivaciones. De conformidad con información de la literatura técnica² para tuberías de acero, se recomienda que los valores máximos de velocidad dentro del tubo no excedan a 6 m/s, de tal forma que durante la operación, las válvulas y accesorios no sean sometidos a altas velocidades; de igual manera, el mantener velocidades relativamente bajas,

² "Welded Steel Pipe Design Manual 2007 Edition Merits, Design Standards, Technical Data and References", American Iron and Steel Institute, Washington, DC

considerando la capacidad de resistencia a la abrasión que tiene el material, permite limitar las magnitudes de las sobrepresiones que pudieran ocurrir en el sistema durante operaciones extraordinarias (la magnitud de la sobrepresión es directamente proporcional a la velocidad del flujo³).

La determinación del valor admisible de velocidad en conducciones a presión que conducen agua debe considerar además el comportamiento de la protección o recubrimiento interno, el cual, de acuerdo a la normativa vigente de la EPMAPS con referencia en la norma RAS-2000, se limita de igual manera a valores entre 4 m/s hasta 6 m/s, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Velocidades máximas permisibles en la tubería de presión, conforme su recubrimiento interno⁴

Material del Recubrimiento interior	Velocidad Máxima (m/s)
PVC, GRP, PE	6
Mortero o concreto centrifugado	4
Recubrimiento epóxico	6

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Con el análisis descrito se adopta para el diseño del ramal Puembo – Calderón una velocidad máxima admisible de:

$$V_{\text{máx}} = 6 \text{ m/s}$$

La velocidad mínima está definida considerando que se minimizará el depósito de material sólido que ingresa a la conducción junto con el caudal líquido. De conformidad con las Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable propuesta por la EPMAPS, que considera la calidad de agua cruda de la conducción, se adopta como valor de velocidad mínima a:

$$V_{\text{mín}} = 0.3 \text{ m/s}$$

4.4 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga consideradas en el diseño definitivo son de dos tipos: (i) las que ocurren por la fricción interna de las partículas del fluido, que producen las denominadas pérdidas continuas o principales a lo largo de la conducción, y (ii) las que ocurren por cambios bruscos de geometría, denominadas localizadas o pérdidas menores y que corresponden a la caída de carga hidráulica en cada uno de los accesorios previstos en la línea.

Pérdidas por fricción interna

Considerando el funcionamiento hidráulico de las conducciones a presión en acero revestido para evaluar las pérdidas por fricción interna se aplica la ecuación Darcy-Weisbach, por ser ésta la que toma en cuenta el efecto combinado de la viscosidad en el movimiento, así como el de la rugosidad absoluta de la pared de la tubería relacionada con su diámetro:

³ AWWA11 Steel Pipe – A Guide for Design and installation, cuarta edición, Denver 2004

⁴ Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EPMAPS, primera edición, Quito 2008

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

Donde;

- h_f = Pérdida de carga en el tramo (m)
- L = Longitud del tramo analizado (m)
- D = Diámetro tubería (m)
- V = Velocidad representativa del flujo (m/s)
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²)
- f = Factor de fricción que es función de la viscosidad y de la rugosidad relativa.

El factor de fricción f será determinado con la ecuación de Colebrook-White, válida para regímenes de flujo turbulento y en transición así como para tuberías hidráulicamente lisas, hidráulicamente rugosas o en transición. La expresión de la ecuación de Colebrook-White se muestra a continuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

Donde;

- k = Rugosidad absoluta (mm)
- Re = Número de Reynolds (adimensional)
- f = Factor de fricción que depende del efecto de la viscosidad y de la rugosidad relativa.

Pérdidas Locales

Las pérdidas locales corresponden a las producidas por los cambios de geometría, de sección y dispositivos para el control de descargas en una conducción de tubería y se las evalúa como una fracción de la carga de velocidad en el tramo inmediatamente aguas abajo del accesorio, conforme a la siguiente ecuación:

$$H_{Li} = K_i * \frac{V^2}{2g}$$

Donde;

- H_{Li} = Pérdida localizada (m)
- K_i = Coeficiente de pérdida local que depende principalmente del cambio geométrico que provoca el accesorio (adimensional)
- V = Velocidad representativa de flujo inmediatamente aguas abajo del accesorio (m/s)
- g = aceleración de la gravedad (m/s²)

4.5 Cotas de los tanques de reserva

El diseño hidráulico del ramal Puenbo – Calderón considera las cargas piezométricas que se instalarán a la salida de la Cámara Derivadora 1, para los diferentes escenarios de operación y para el escenario de diseño. En la siguiente Tabla se resume la ubicación de la superficie libre del agua en los tanques de reserva de las PTAP's del sistema. De manera particular se ha tomado en cuenta la cota de ubicación de la superficie libre en

la PTAP de Calderón, en donde descarga el Ramal Puembo – Calderón, de conformidad con la información otorgada por la EPMAPS⁵.

Tabla 11: Cotas de elevación y coordenadas de los tanques de almacenamiento del sistema Paluguillo – Bellavista – Puengasí y Calderón

Tanque	Cota de espejo de agua (msnm)	Coordenadas	
		N	E
Paluguillo	3108,68	9970412,53	523731,86
Calderón	2877,49	9996110,41	508384,20
Bellavista	2978,20	9979991,04	504477,25
Puengasí	2992,20	9973792,12	500615,45

Elaboración: INGECONSULT, 2019

4.6 Material de la línea de transmisión

De conformidad con lo aprobado a nivel de prefactibilidad, el material seleccionado para la conducción del ramal Puembo – Calderón y del sistema Paluguillo – Bellavista corresponde al acero API 5L grado 60, que por su bajo contenido de carbono (0,15% a 0,30%) presenta propiedades mecánicas y composición química que cumplen con los requerimientos del proyecto y cumplen con las Normas API para tuberías de acero para conducción a altas presiones. Las principales características se muestran en la Tabla 12

Tabla 12: Características del material de la tubería de conducción

Características y Propiedades	Símbolo	Valor	Unidad
Peso específico acero	ρ_s	7.85E+03	kg/m ³
Módulo de elasticidad (Young) acero	E	2.07E+11	Pa
Esfuerzo de Fluencia	s	4.08E+08	Pa

Elaboración: INGECONSULT, 2019

En lo referente al recubrimiento interno y externo de la tubería, así como al sistema de protección de las tuberías, la información se encuentra detallada en el Volumen 7 "PRE-DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO MECÁNICO Y ELÉCTRICO".

El revestimiento interno previsto para la tubería de acero corresponde pintura epóxica anticorrosiva, que alcanza un funcionamiento hidráulicamente liso.

4.7 Calidad del agua cruda

El agua que conduce el ramal Puembo – Calderón es derivada desde la línea de transmisión de agua cruda Paluguillo – Bellavista y es descargada por la turbina de la central hidroeléctrica al tanque de la Recuperadora de Paluguillo. El contenido de material sólido, así como el tamaño del mismo está previamente controlado por el sistema de abastecimiento a la central hidroeléctrica. La calidad del agua cruda fue

⁵ Estas cotas fueron determinadas en el proyecto Contrato de Servicios de Consultoría para la realización de los "Diseños definitivos Línea de Transmisión Paluguillo – Bellavista" (Plano No. 101 del Volumen 28 - Mapas y Planos), cota que corresponde a la simulación conduciendo el caudal de diseño (4.3 m³/s)

37

f

presentada en el Informe de Prefactibilidad y no requiere de consideraciones particulares en el diseño hidráulico.

4.8 Aspectos considerados para el dimensionamiento de la línea de transmisión Puembo Calderón

A continuación se indica los criterios tomados en cuenta para el planteamiento del trazado de la línea de conducción:

1. La conducción Puembo Calderón, al ser una línea de alta carga se ubicará enterrada bajo las vías públicas, con el fin de facilitar su instalación evitando afectaciones mayores durante la fase de construcción a la infraestructura existente o complicando el tráfico de vehículos, garantizando facilidad en el acceso durante la fase de operación.
2. El trazado propuesto minimiza la afectación a la infraestructura existente, a la propiedad privada, respetando el plan de uso de suelo y plan de ordenamiento previstos a lo largo de su recorrido y minimizando al mismo tiempo la vulnerabilidad frente a probables eventos hidrológicos o de tránsito de lahares.
3. Se procurará reducir al mínimo el número de cambios de alineación bruscos para reducir las pérdidas de carga y las fuerzas dinámicas que deben ser contrarrestadas con anclajes.
4. El trazado garantiza la seguridad de la línea tanto para eventos normales como extraordinarios. El cruce sobre el cauce del río Guayllabamba es el tramo de máxima complejidad para la conducción, pues corresponde al tramo de máximas cargas normales de operación para la conducción a presión, debiendo salvar un encañonado profundo con laderas abruptas que dificultan su accesibilidad. Finalmente el río Guayllabamba en este tramo es cauce la tránsito de lahares primarios en caso de que se produzca una erupción del volcán Cotopaxi, por lo que, de conformidad con la información de campo adicional, obtenida en esta fase del estudio, se ha modificado el paso subfluvial propuesto en la prefactibilidad por un paso elevado, suficientemente alto para garantizar su estabilidad.
5. El trazado considerará las recomendaciones técnicas producto del análisis geológico geotécnico para ubicar la tubería en una franja estable a lo largo de todo su desarrollo.
6. Las características mecánicas de la tubería, espesores y demás elementos electromecánicos se seleccionaran con los criterios técnicos definidos en el estudio "PRELIMINAR DEL EQUIPAMIENTO MECÁNICO Y ELÉCTRICO"
7. El trazado propuesto cumple con la separación exigida tanto para el caso de la infraestructura petrolera como para las líneas de alta tensión.
8. El trazado respeta las áreas protegidas minimizando su intersección.
9. El análisis hidráulico de la línea Puembo – Calderón, considerará a esta como parte integral del sistema Paluguillo – Bellavista – Puengasí – Calderón, por lo tanto para la modelación hidráulica del tramo considera todos los ramales del sistema (L1, L2, L3, L4 y L5), Si bien las operaciones normales de regulación, apertura o cierre de las válvulas de regulación se realizan exclusivamente dentro

del tramo Puembo Calderón, los efectos de estas se evaluarán en todos los tramos del sistema.

5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA CRUDA PALUGUILLO – PUEMBO - CALDERÓN

5.1 Trazado de la línea de transmisión Puembo Calderón

De acuerdo con el diseño definitivo del sistema PalugUILLO – Bellavista, el caudal de diseño del ramal Puembo – Calderón es de 1300 l/s. La Línea de Transmisión Puembo Calderón corresponde al tramo L5 del sistema PalugUILLO – Bellavista. Se inicia a la salida de la cámara Derivadora No. 1 que se ubica en Puembo en la cota 2418.71 msnm y conduce el caudal de diseño de la PTAP Calderón hasta el tanque previo al reservorio de la PTAP Calderón con un desarrollo longitudinal de 25,923.39 m, atravesando zonas consolidadas especialmente en Puembo y en Calderón. El desnivel topográfico entre el nivel de superficie libre del agua en el tanque de PalugUILLO hasta la Cámara Derivadora 1 es de 689.97 m y entre el tanque de PalugUILLO y el reservorio de la PTAP Calderón es de 231.19 m. La implantación general y el perfil de la conducción Puembo – Calderón se presenta en la Figura 4 y Figura 5 en los planos No. H1, H2 y H3.

En la Figura 5 y en el plano H3 se presenta el perfil de la línea Puembo Calderón, que corresponde a un sifón de alta carga. El punto de mínima cota y máxima presión en la línea corresponde al cruce con el cauce del río Guayllabamba, donde la carga de presión estática llega hasta 997.78 m.c.a. Adicionalmente el tramo de cruce de la conducción con la línea Puembo – Calderón es cauce de tránsito de lahares primarios en caso de que ocurra una erupción del volcán Cotopaxi

Debido a las altas presiones de operación que se tendrán en la línea Puembo – Calderón se selecciona al acero API-5LS-X60 como material de la conducción. La tubería de acero soldado, se ha dispuesto enterrada en zanja con cobertura suficiente para garantizar su estabilidad en todo su desarrollo, con una profundidad mínima de 1.5 m sobre la clave de la misma. El diámetro interno de toda la línea Puembo – Calderón es constante e igual a 800 mm, como se demuestra en el numeral 6 de este documento.

En su trazado, la línea Puembo – Calderón cruza con dos cauces importantes: el río Guayllabamba y la quebrada Tamauco. Para el primer cruce tanto en etapa de prefactibilidad como factibilidad se desarrolló y evaluó algunas variantes de cruce tomando en cuenta criterios geológicos, geotécnicos, estructurales y de presupuesto además de nuevas investigaciones de campo, de tal manera de obtener la mejor variante posible optimizando los recursos económicos y técnicos, determinándose como estructura de cruce sobre el río un puente de tipo colgante de 208 m de luz, un análisis similar se realizó para el cruce sobre la quebrada Tamauco, para este caso de igual forma de entre las varias alternativas analizadas en las etapas previas se llegó a definir como estructura de cruce un paso elevado de tipo colgante, pero en este caso la luz de la estructura es de 86 m.

Al llegar a la vía Panamericana Norte en la zona de Calderón, la conducción cruza por debajo de dicha vía, y avanza respetando las franjas de derecho de vía de la infraestructura petrolera, así como también de las líneas de transmisión de energía eléctrica existentes en la zona.

La Figura 4 presenta la implantación general de la línea Puembo – Calderón, en la que se observa que al iniciar su desarrollo cruza con la conducción del sistema existente Papallacta en la abscisa 0+093,50 m. Continuando hacia aguas abajo, la línea Puembo - Calderón cruza con el cauce del río Guayllabamba y posteriormente con la Quebrada Tamauco. Adicionalmente se tiene un cruce con la Panamericana Norte en la zona de Calderón.

En la zona previa a la llegada a la PTAP de Calderón, la conducción Puembo - Calderón cruza por una sola ocasión con el OCP. A lo largo de su trazado se ha dado cumplimiento a las separaciones exigidas tanto por la infraestructura petrolera, así como por las líneas de alta tensión.

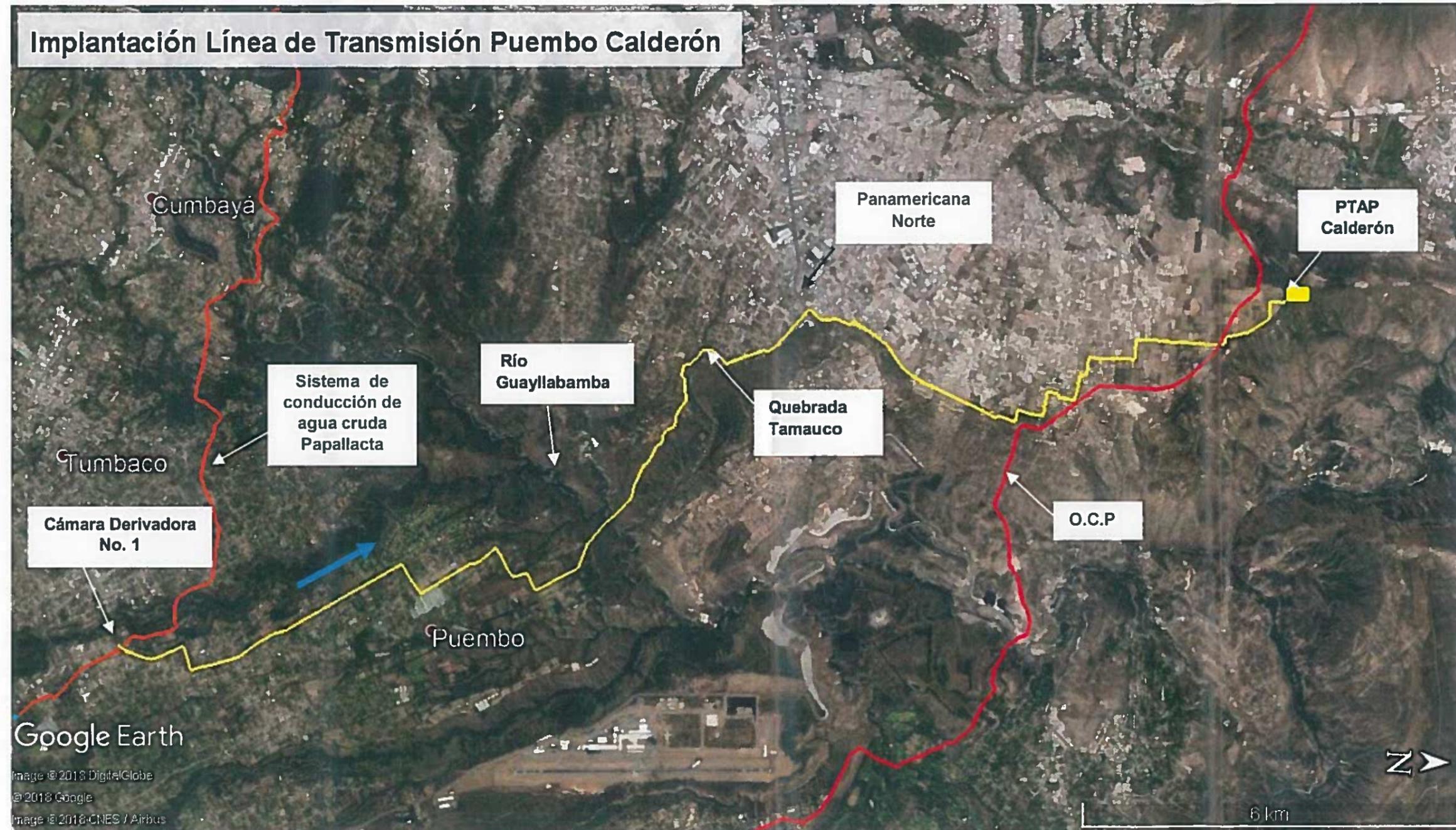


Figura 4. Implantación de la conducción Puembo Calderón en la fotografía Google
Elaboración: INGECONSULT, 2019

37

R

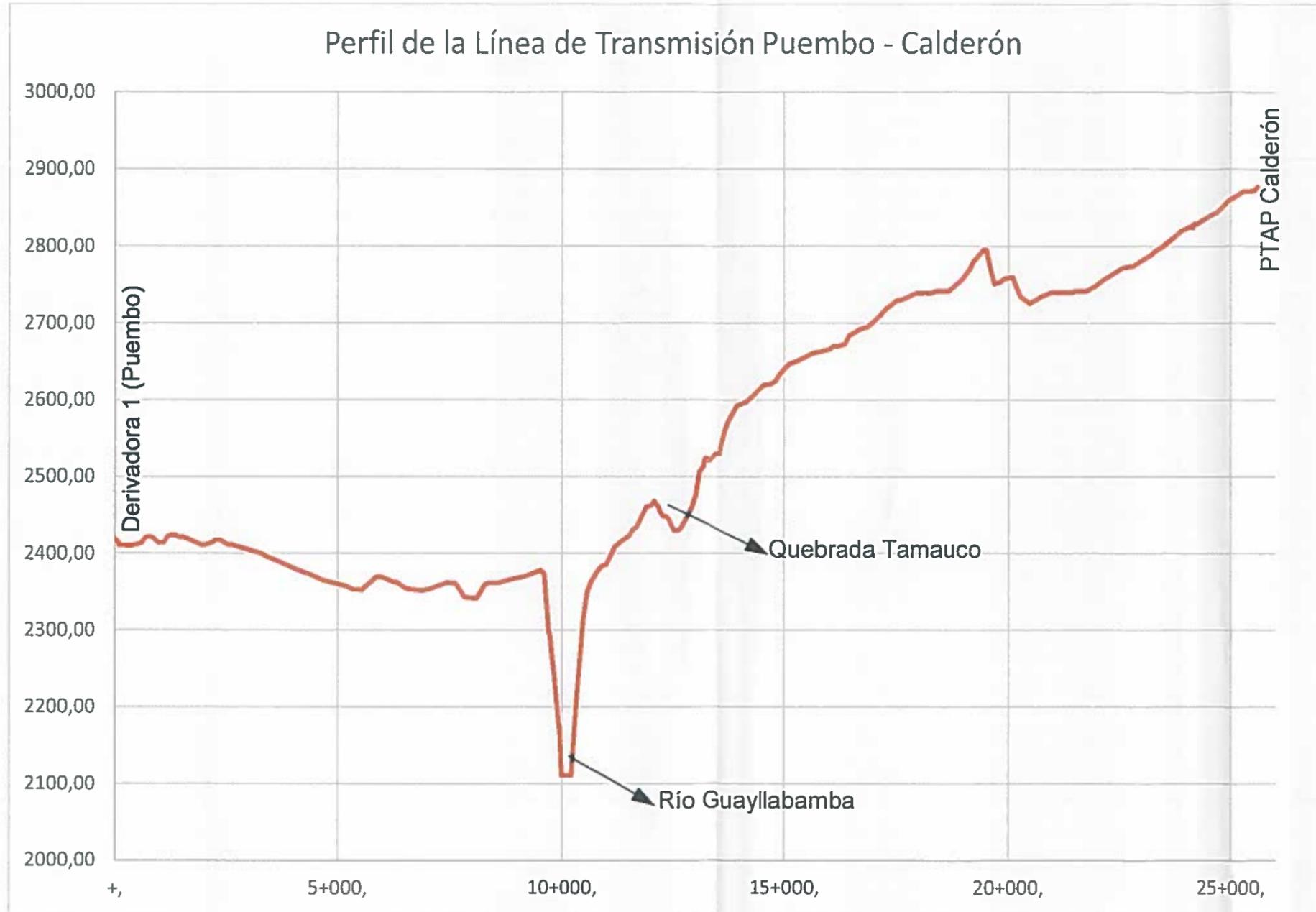


Figura 5. Perfil de la conducción Puembo Calderón
Elaboración: INGECONSULT, 2019

5.2 Regulación de caudales en el Ramal Puembo – Calderón

La regulación de los caudales de operación que se conducirán en el Ramal Puembo Calderón se realiza en la Cámara Derivadora No. 1, mediante un sistema redundante, definido en el Estudio de Diseño Definitivo de la Línea de Transmisión de Agua Cruda Paluguillo – Bellavista⁶. Al interior de la Cámara Derivadora No. 1 se han dispuesto las válvulas y elementos mecánicos de control, para garantizar la regulación de caudales en cada uno de los ramales del sistema redundante, como se observa en la siguiente Figura 6.

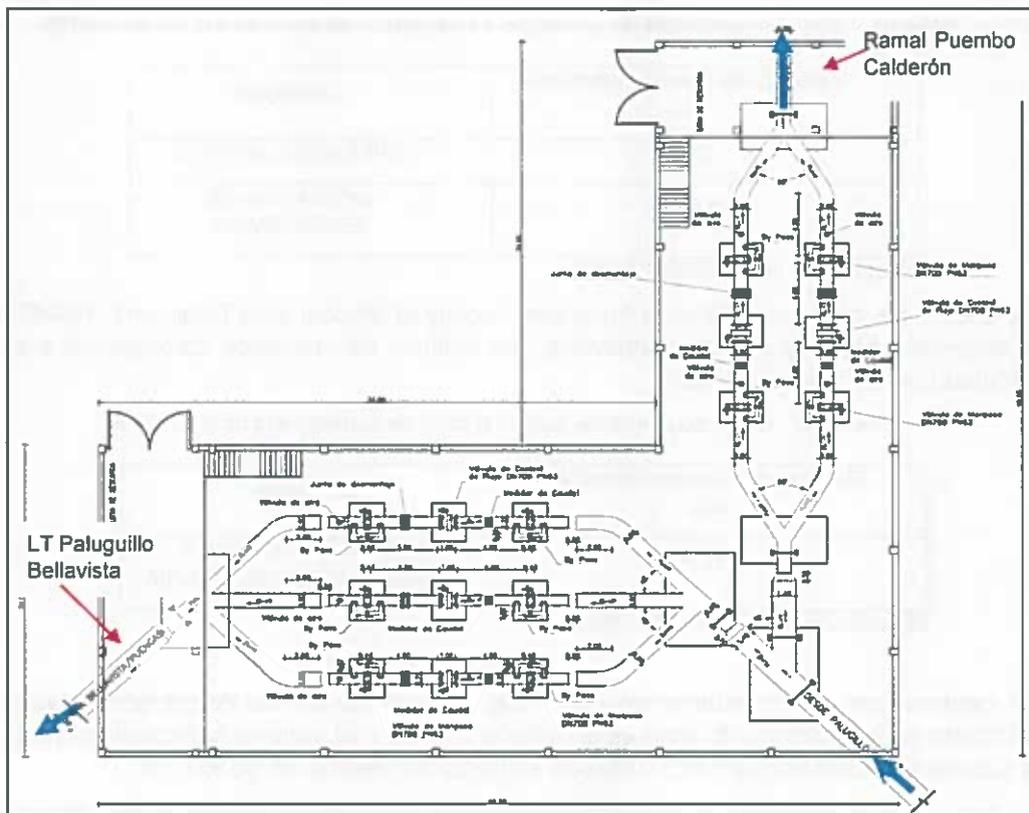


Figura 6. Vista en planta de la cámara Derivadora No. 1
Elaboración: INGECONSULT, 2019

En el presente estudio se mantiene el supuesto de que las ampliaciones de las PTAPs existentes de Bellavista y Puengasí, así como la implementación de la PTAP de San José de Calderón se realicen en dos etapas. En cada una de ellas se implementará el 50% de los respectivos caudales de diseño.

La regulación del caudal que se conduce en el ramal Puembo – Calderón, se realiza con la operación de la válvula FCV-PC1 de émbolo con diámetro de 800 mm. De acuerdo con los escenarios de operación que se analiza para el presente diseño en la válvula reguladora FCV-PC1 se define el porcentaje de cierre o apertura requeridos.

⁶ Volumen 11 y Volumen 13 del estudio de Diseño Definitivo Línea de Transmisión Paluguillo Bellavista, realizado por Ingeconsult, en 2017

5.3 Espesores de la tubería de conducción de la Línea Puembo – Calderón

La definición de los espesores para la tubería de la conducción de la línea Puembo – Calderón se realiza en base a la aplicación de la normativa vigente, que considera el valor del coeficiente del *esfuerzo de fluencia* empleado bajo condiciones de operación normal y de emergencia para el diámetro definido y el tipo de acero seleccionado. De conformidad con la norma American Water Works Association (AWWA) los valores admisibles σ_{adm} para condiciones de operación normal y de emergencia corresponden a lo señalado en la siguiente tabla:

Tabla 13: Esfuerzo admisible de operación y emergencia de acuerdo a la norma AWWA

Esfuerzo de fluencia admisible σ_{adm}	Condición
0,5 $f'y$	OPERACIÓN NORMAL
0,75 $f'y$	OPERACIÓN DE EMERGENCIA

Elaboración: INGECONSULT, 2019

De acuerdo a lo que establece la American Society of Mechanicals Engineers (ASME) el esfuerzo admisible σ_{adm} indistintamente del régimen de operación corresponde a lo señalado en la siguiente Tabla:

Tabla 14: Esfuerzo admisible para la tubería de acuerdo a la norma ASME

Esfuerzo de fluencia admisible σ_{adm}	Condición
0,72 $f'y$	OPERACIÓN NORMAL Y OPERACIÓN DE EMERGENCIA

Elaboración: INGECONSULT, 2019

De conformidad con lo establecido en la etapa de diseño a nivel de prefactibilidad y ratificado en factibilidad y finalmente en diseño definitivo, el material seleccionado para la tubería es Acero tipo API-5LS-X60 con esfuerzo de fluencia de 60169 psi.

La función que determina la *máxima presión admisible* de la tubería de presión en función del diámetro, espesor y el esfuerzo de fluencia admisible (de acuerdo a los criterios AWWA y ASME) corresponde a la siguiente expresión⁷:

$$P_t < \frac{2e}{D_{ext}} \sigma_{adm}$$

Donde:

P_t : Presión máxima de trabajo (kg/cm²)

e : Espesor de la tubería (mm)

D_{ext} : Diámetro exterior del tubo (mm)

σ_{adm} : Tensión admisible del acero (kg/cm²)

⁷ American Water Works Association; Presseurre Limits Pg. 46

Para la determinación de la sobrepresión por golpe de ariete o transiente hidráulico se utiliza la siguiente expresión⁸:

$$p_{ga} = \frac{10 * a * v}{g}$$

Donde:

- p_{ga}: Incremento de presión por golpe de ariete en kPa.
- a: Celeridad del transiente por golpe de ariete en m/s.
- v: Velocidad de flujo en m/s.
- g: Gravedad en m/s². (9,8 m/s²).

De conformidad con las Normas AWWA, Manual M-11, la celeridad del transiente de presión por golpe de ariete se obtiene aplicando la ecuación siguiente⁹:

$$a = \frac{0.319}{\sqrt{\frac{\rho}{g} * \left(\frac{1}{k} + \frac{d}{E * t} \right)}}$$

Donde:

- a: Celeridad del transiente por golpe de ariete en m/s.
- t: Espesor de la pared de la tubería en mm.
- p: Peso específico del fluido en kg/m³. (para el agua 1000 kg/m³)
- g: Gravedad en m/s². (9,8 m/s²).
- k: Módulo de compresibilidad de Bulk para el líquido en Pa. (para el agua 2.07 GPa).
- E: Módulo de elasticidad de Young en Pa. (para el acero 206.85 GPa)

Una vez definido el espesor de cada tramo de conducción, se ha revisado la presión mínima o de colapso de la tubería, es decir la presión negativa que produce deformación o incluso la implosión de la tubería. Para determinar la presión de colapso se utiliza la siguiente expresión presentada en las normas AWWA (American Water Works Association) en el manual M11 en el capítulo "External Fluid Pressure-Uniform and Radial"

$$P_c = \frac{2E}{1 - \nu^2} \left(\frac{T}{D} \right)^3$$

En donde:

- P_c = Presión de colapso (psi)
- E = Módulo de elasticidad del acero
- ν = Coeficiente de Poisson, igual a 0.3 para el acero
- T = Espesor de la tubería (in)
- D = Diámetro de la tubería (in)

⁸ American Water Works Association, Manual M11, Chapter 5 "Water hammer and Pressure Surge" Pg. 52 ecuación 5-2M

⁹ American Water Works Association, Manual M11, Chapter 5 "Water hammer and Pressure Surge" Pg. 52 ecuación 5-3M

Para la conducción Puembo - Calderón se han definido cinco espesores, de acuerdo a los valores de presión máxima esperada en cada tramo, los mismos que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 15: Serie de espesores normalizados para la conducción Puembo Calderón

DISEÑO DEFINITIVO						
API 5L GR60						
5 Espesores						
	Espesor Normalizado		Abscisas		Longitud	Peso
	in	mm	Inicial	Final	m	T
e1	0.56	14.27	+	9+715.37	9722.55	2732.9
e2	0.75	19.05	9+715.37	10+578.19	1029.83	384.1
e3	0.56	14.27	10+578.19	11+746.3	1177.48	331.0
e4	0.50	12.70	11+746.3	13+253.46	1519.61	381.0
e5	0.44	11.13	13+253.46	16+496.2	3252.92	716.0
e6	0.34	8.74	16+496.2	25+699.98	9206.36	1595.9
TOTAL					25908.75	6141

Elaboración: INGECONSULT, 2019

En la siguiente figura y en el plano No. H2 se presenta el perfil de la línea de conducción Puembo - Calderón en la que se señala la serie de espesores definidos, así como los esfuerzos máximos admisibles bajo condiciones de operación normal y de operación extraordinaria

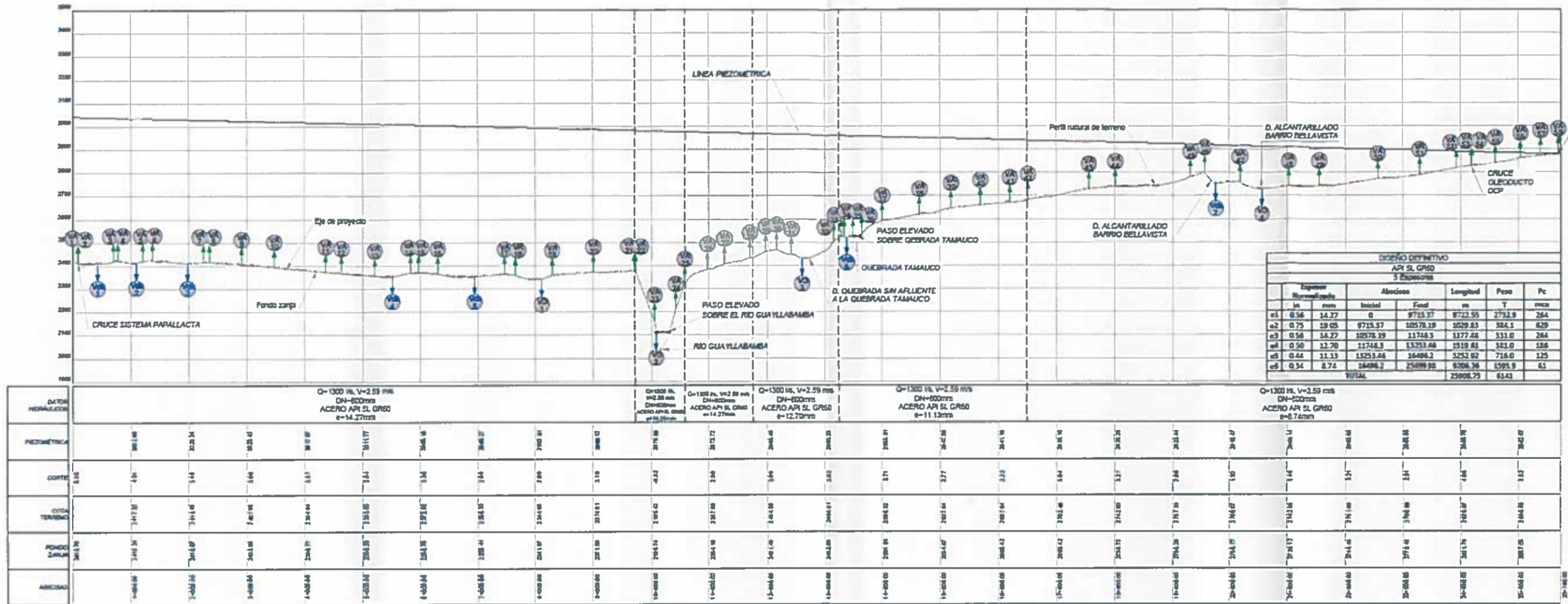


Figura 7. Espesores normalizados para la conducción Puenbo - Calderón

(Handwritten mark)

5.4 Tramos de la Línea Puembo – Calderón

Para facilitar la descripción de la línea Puembo – Calderón se la ha dividido en cuatro (4) Tramos, atendiendo a la ubicación de los puntos importantes en su trazado, como se resume en la siguiente Tabla.

Tabla 16: Tramos que conforman la línea de conducción de agua cruda Puembo – Calderón

Tramo	Abscisa Inicio m	Abscisa fin m	Observaciones
1	0+000	9+691.12	Inicio de la línea Puembo Calderón a la salida de la Cámara de Derivación No. 1 hasta el inicio del cruce sobre el río Guayllabamba
2	9+691.12	13+492.57	Inicio del cruce sobre el río Guayllabamba hasta el inicio del cruce sobre la Q. Tamauco
3	13+492.57	15+618.46	Inicio del Cruce de la Q. Tamauco hasta la intersección con la Vía Panamericana
4	15+618.46	25+699.98	Intersección con la vía Panamericana hasta el tanque previo la descarga al Reservoirio de la PTAP Calderón

Elaboración: INGECONSULT, 2019

De conformidad con los tipos de suelo predominantes en la zona¹⁰ por donde se desarrolla el trazado de la línea Puembo – Calderón, se propone taludes laterales H:V igual a 1 a 4 para el corte de la zanja donde se ubicará la tubería de conducción. En la siguiente figura se presenta el esquema tipo de esta zanja.

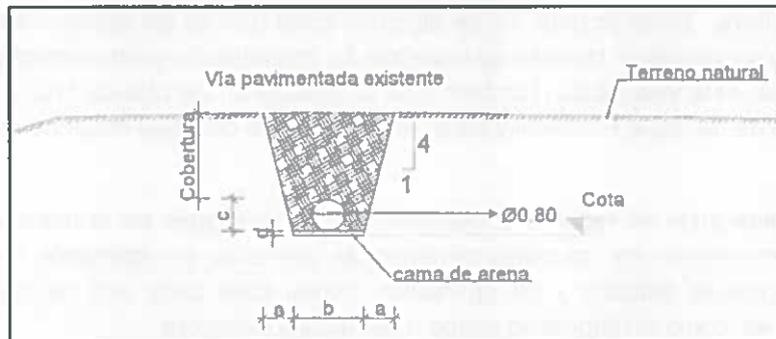


Figura 8. Esquema de la zanja tipo para la conducción Puembo – Calderón
Elaboración: INGECONSULT, 2019

5.5 Válvulas de Desagüe en la línea Puembo - Calderón

A lo largo del trazado de la línea Puembo – Calderón se han dispuesto cuatro (4) desagües principales y siete (7) desagües secundarios, en los puntos más bajos de la conducción, con lo que se garantiza el vaciado controlado de toda la línea. Los

¹⁰ Volumen 04, Geología y Geotécnica




desagües principales descargan el caudal evacuado hacia cauces naturales y los desagües secundarios hacia sistemas de alcantarillado en caso de que no existan cauces receptores en la zona cercana.

Las válvulas de desagüe principales se han dispuesto mediante derivaciones de la conducción principal, dichas derivaciones tienen un diámetro interno de 200 mm, al final de cada derivación se instalan válvulas disipadoras de energía del tipo multichorro conjuntamente con sus respectivas válvulas de guardia.

La descarga del caudal evacuado a través de la válvula disipadora de energía se realiza al interior de un tanque, donde se realiza la disipación de la energía residual, finalmente se plantean estructuras hidráulicas necesarias que permitan la descarga del caudal en el cauce o estructura receptora (dependiendo del caso), protegiendo la estabilidad de la zona.

Para los desagües secundarios se han dispuesto al igual que en el caso de los desagües principales derivaciones con un diámetro de 200 mm desde la línea principal, en este caso las cargas de operación son reducidas en comparación a las de los desagües principales, al final de cada tramo se disponen toberas disipadoras de energía que descargan sumergidas con ayuda de un tanque que provee el nivel necesario de sumergencia, después de este tanque se plantean diferente tipo de estructuras previas a su entrega final en cauces receptores.

Tanto las válvulas de desagüe principales como las secundarias se ubican al interior de las respectivas cámaras de válvulas en las que se han dispuestos los elementos necesarios para garantizar la disipación de energía previa la descarga y la protección de las estructuras o cauces receptores. Los caudales de evacuación previstos serán regulados por las válvulas de desagüe especificadas y sus correspondientes leyes de apertura y cierre. En el acápite 5.5 se describe cada una de las válvulas de desagüe principales y secundarias, también se muestran su implantación y sus respectivos cortes transversales, esta información también está disponible en los planos; H52 a H63 para las cámaras de desagüe Principal y para las cámaras de desagüe secundarias en; H64 a H86.

En la siguiente tabla se resume la ubicación de los desagües en la línea Puembo – Calderón, incluyendo los caudales de desagüe previstos en operación normal, las cargas de presión estática y de operación normal para cada una de las válvulas dispuestas, así como el respectivo cauce o estructura receptora.

Tabla 17: Desagües ubicados a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón

Válvula	Ubicación		Q m ³ /s	p/y estática mca	p/y operación mca	Volumen descarga m ³	Tiempo de descarga h	Estructura o Cauce receptor
	Abscisa	Cota msnm						
Desagües Principales								
VD1	8+106.38	2341.25	0.21	767.43	77.45	2468.16	5.8	Quebrada Chigualcán
VD2	10+072.35	2110.9	0.24	997.78	356.65	1332.67	2.7	Quebrada s/n afluente río Guayllabamba
VD3	12+608.45	2429.66	0.19	679.02	368.30	3598.39	4.9	Quebrada s/n afluente a la Q. Tamauco
VD4	20+547.22	2729.78	0.21	378.90	147.71	2837.60	6.4	Alcantarillado barrio Bellavista
Desagües secundarios								
Vds1	0+431.23	2410.65	0.05	698.03	10.58	353	3	Quebrada Seca
Vds2	1+098.10	2412.57	0.05	696.11	10.26	341	2.1	Quebrada Seca
Vds3	1+985.74	2410.98	0.05	697.71	6.49	332	2.1	Alcantarillado Barrio Minas
Vds4	5+528.39	2352.58	0.05	756.10	20.95	807	5.1	Alcantarillado Barrio El Ingenio
Vds5	6+947.26	2352.34	0.05	756.34	10.189	574	4.6	Alcantarillado Barrio El Ingenio
Vds6	13+385.53	2520.32	0.04	588.36	4.68	138	1.0	Quebrada Tamauco
Vds7	19+764.37	2750.10	0.05	357.68	18.69	249	1.5	Alcantarillado Barrio Bellavista

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Se ha denominado presión nominal a la carga hidráulica estática medida respecto al nivel del agua en la Pileta de la Central Recuperadora en Palugullo (3108.68 msnm.), y la presión de desagüe es con la cual trabaja cada una de las válvulas bajo condiciones de desagüe programado. En la descripción de la línea Puembo Calderón se detalla cada uno de los desagües principales considerados y sus respectivas cámaras de válvulas, el dimensionamiento hidráulico de cada una de las cámaras, los principios teóricos y parámetros utilizados para el diseño se reportan en la memoria de cálculo hidráulico (Anexo al presente informe)

Las válvulas secundarias de desagüe son complementarias a las principales, se encargan de vaciar al 100% la conducción, en puntos bajos en los cuales debido al perfil de la conducción no es posible vaciar la tubería únicamente con las válvulas de desagüe principales. Dentro del plan de operación, las válvulas secundarias entran en acción simultánea después del vaciado de la línea con la operación de las cuatro válvulas principales, VD1, VD2, VD3 y VD4. Las válvulas secundarias por lo tanto operarán con cargas de presión inferiores a 21 mca y evacúan volúmenes de agua relativamente bajos como se detalla en la Tabla 18. Las dimensiones de la cámara de válvula de desagüe secundario tipo son menores que las descritas para las cámaras de válvula de desagüe principal; sin embargo, se mantiene el mismo criterio para garantizar la disipación de energía mediante el uso de descargas sumergidas en un tanque con viga en L invertida que operará también totalmente sumergida. Para asegurar la condición de sumergencia en el tanque de disipación, se ubica un vertedero de cresta gruesa de 90 cm de altura, en las cotas indicadas en la siguiente tabla.

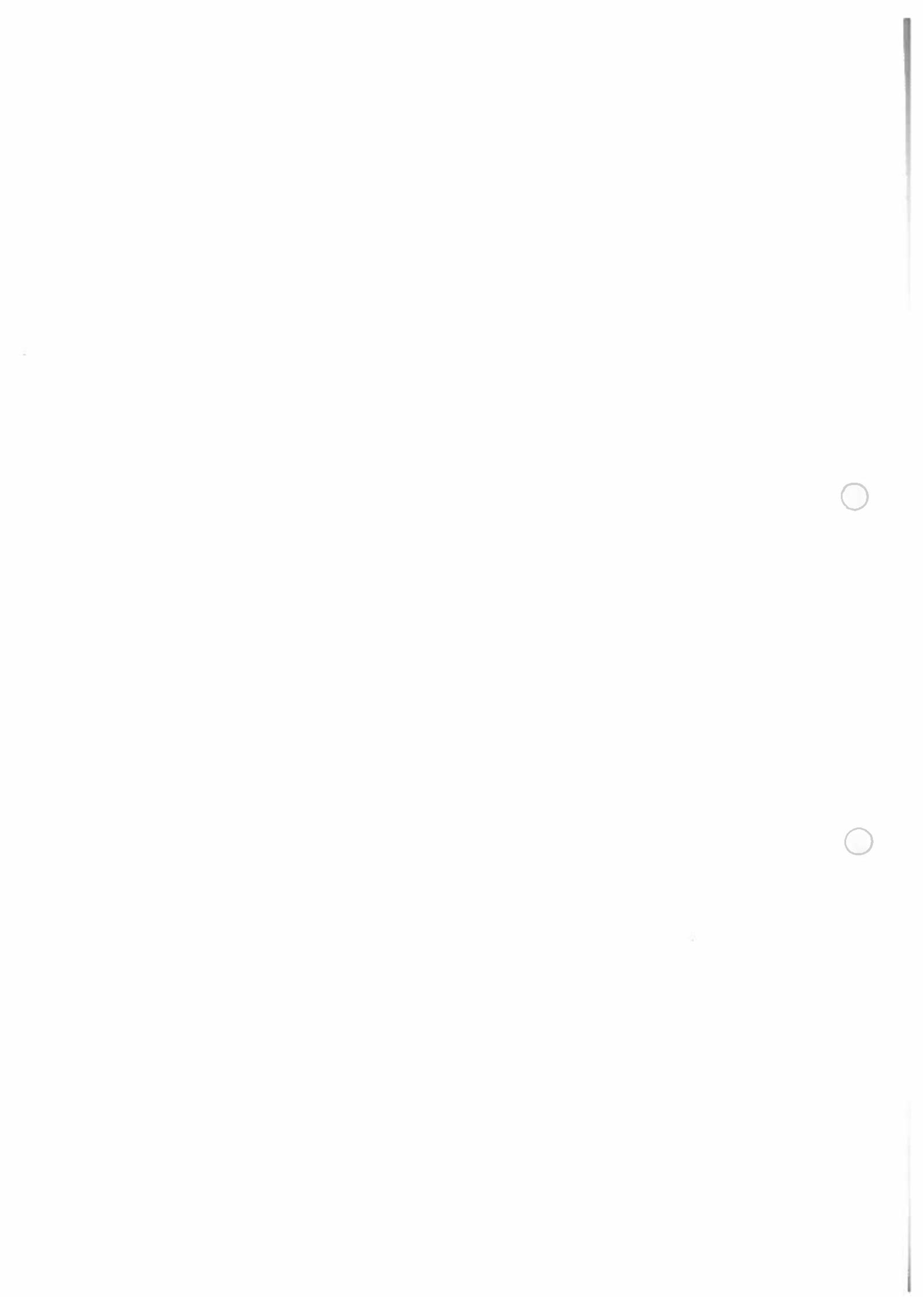


Tabla 18: Información descriptiva de las cámaras de desagüe secundarias en el tramo Puembo - Calderón

Válvula	Norte	Este	Abscisa	Cota (m.s.n.m)	P.N (mca)	P. O (mca)	Vol (m3)	T (h)	Q (l/s)	V (m/s)	Cota Vertedero (m.s.n.m)	Tipo de descarga	
Secundaria	Vds1	9978164.35	514752.73	0+431.23	2410.65	698.03	10.58	353	3.0	0.05	1.57	2410.94	Cruce Qda. Afluente río Chiche Arriba
	Vds2	9978781.38	514574.59	1+098.10	2412.57	696.11	10.21	341	2.1	0.05	1.70	2412.87	Cruce Qda. Afluente río Chiche Abajo
	Vds3	9979379.47	514808.05	1+985.74	2410.98	697.71	6.49	332	2.1	0.05	1.67	2411.30	Conexión a pozo de revisión de alcantarillado, Pozo 484
	Vds4	9982354.34	513293.13	5+528.39	2352.58	756.10	20.95	807	5.1	0.05	1.64	2352.92	Conexión a pozo de revisión de alcantarillado, Pozo N. 4
	Vds5	9983475.53	513042.03	6+947.26	2352.34	756.34	10.19	574	4.6	0.05	1.73	2352.54	Conexión a pozo de revisión de alcantarillado, Pozo 443
	Vds6	9986836.59	509664.10	13+385.53	2520.32	588.36	4.68	138	1.0	0.04	1.40	2517.92	Cruce Afluente a Qda. Tamauco
	Vds7	9991974.47	510278.99	19+764.37	2751.00	357.68	18.69	249	1.5	0.05	1.64	2751.33	Conexión a pozo de revisión de alcantarillado, Pozo 641

Elaboración: INGECONSULT, 2019

La descarga segura de los caudales hacia quebradas o hacia el sistema de alcantarillado se garantiza con la colocación de un perfil hidrodinámico o un tramo de conexión, de acuerdo a la distancia y tipo de desagüe disponible.

A continuación, se presenta la planta y cortes de la cámara de válvula de desagüe secundaria Vds6 que puede ser considerada como tipo para la evacuación de un desagüe secundario hacia un cauce receptor. En este caso, la descarga se realiza a un afluente de la quebrada Tamauco, en la que se ha incluido el enrocado de protección para garantizar la estabilidad del tramo.

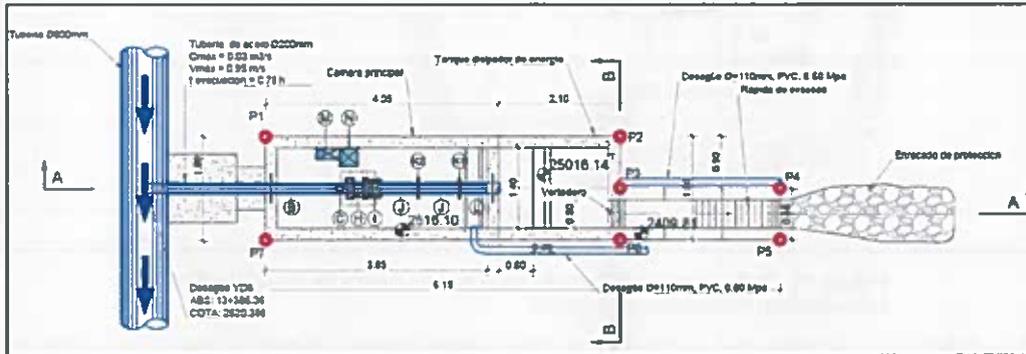


Figura 9. Planta de la cámara de desagüe Vds 6
Elaboración: INGECONSULT, 2019

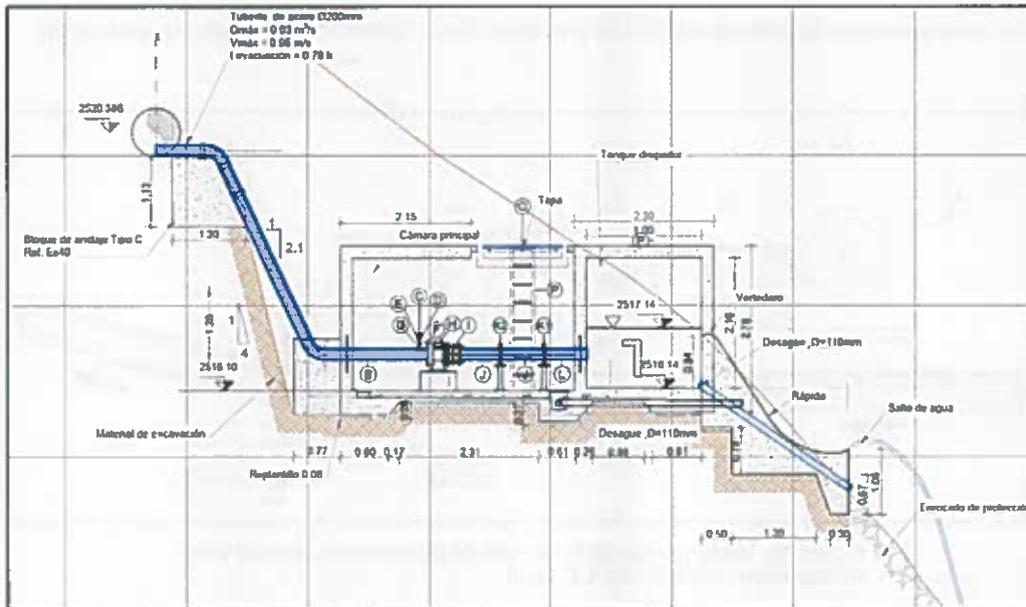


Figura 10. Corte longitudinal (corte A-A) de la cámara de desagüe Vds 6
Elaboración: INGECONSULT, 2019

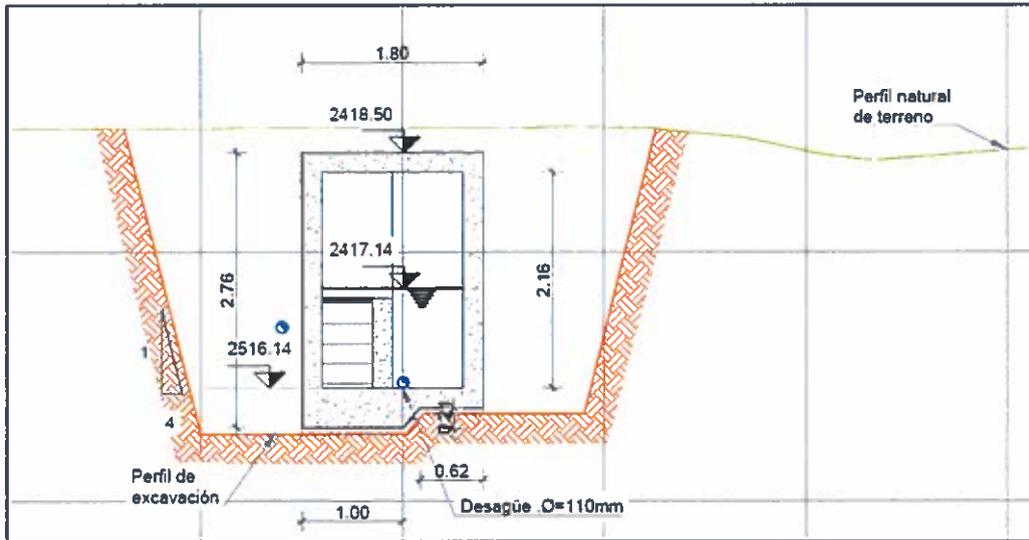


Figura 11. Corte transversal (corte B-B) de la cámara de desagüe Vds 6
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

En el caso de las Válvulas de Desagüe Secundario Vds1 y Vds2 se hace necesario la tubería para el transporte del agua hasta los afluentes de quebradas, en donde se realiza la descarga. Las Válvulas Vds3, Vds4, Vds5 y Vds7 requieren de la tubería para descargar a pozos de revisión del alcantarillado existente.

En las siguientes figuras se detalla la implantación y cortes de este tipo de descarga.

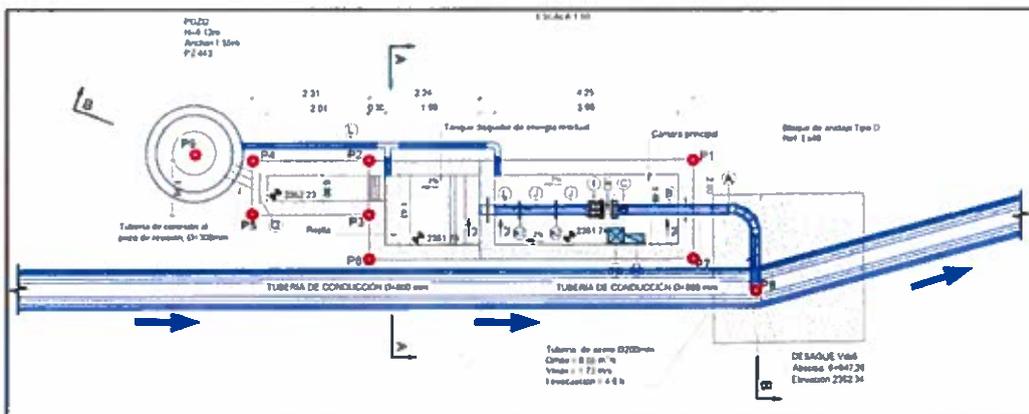


Figura 12. Implantación de la cámara de desagüe secundaria VDs5
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

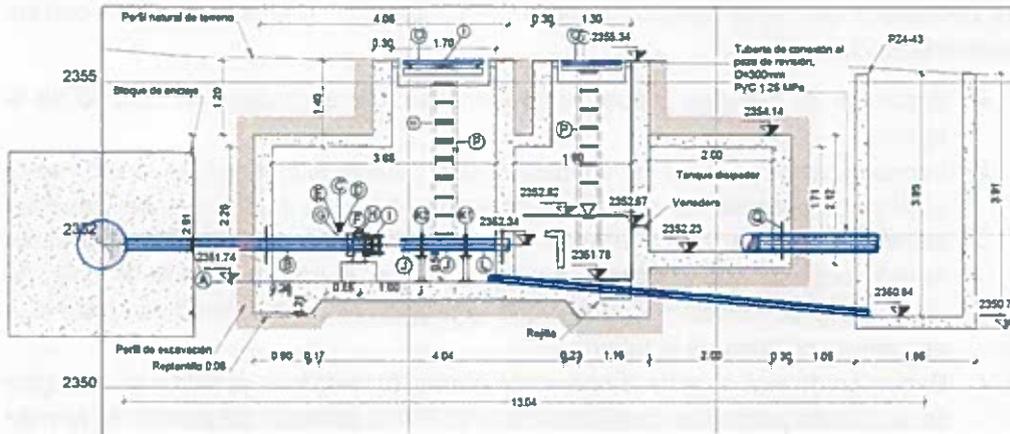


Figura 13. Perfil longitudinal B-B de la cámara secundaria con tubería de descarga
Elaboración: INGECONSULT, 2019

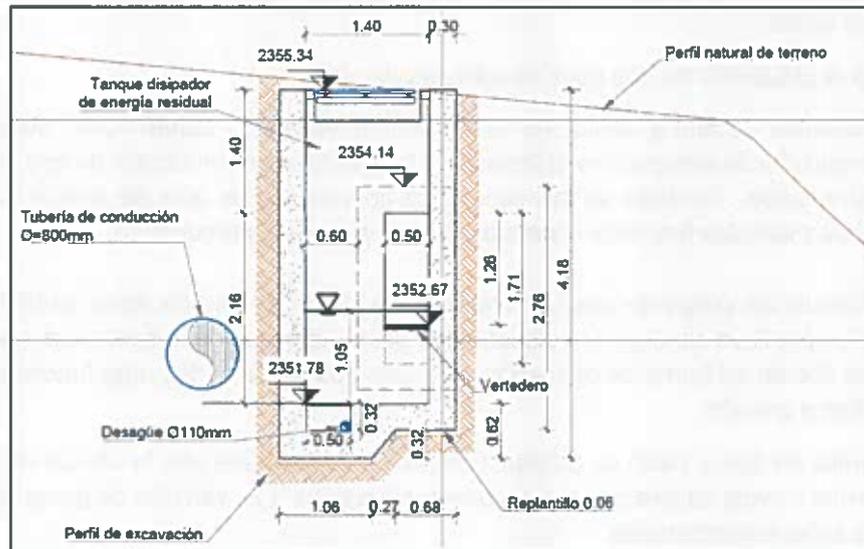


Figura 14. Corte transversal A-A de la cámara de desagüe secundaria con tubería
Elaboración: INGECONSULT, 2019

5.6 Válvulas de Aire en la línea Puembo - Calderón

Las válvulas de aire son dispositivos mecánicos imprescindibles en conducciones con flujo a presión, pues la acumulación de aire puede afectar de manera apreciable el flujo normal de agua y en algunos casos llegar a producir accidentes destructivos.

Las burbujas de aire intrínsecas dentro del flujo, si no son expulsadas fuera del sistema, son susceptibles a compresión y dilatación, esta elasticidad en su comportamiento puede producir daños en la tubería. La inclusión y expulsión de aire a través de estos dispositivos durante el llenado, el vaciado, o inclusive durante transientes provocados por la operación normal del sistema es de vital importancia para evitar el colapso total de la tubería.

Las válvulas de aire en la conducción de la línea Puembo - Calderón cumplen con las siguientes funciones.

- Expulsión de grandes cantidades de aire durante el proceso de llenado de la tubería.
- Introducción de grandes cantidades de aire, durante el proceso de vaciado de la tubería las válvulas de aire deben introducir grandes cantidades de aire para evitar que se produzcan presiones negativas peligrosas. El caso crítico para esta función corresponde al trabajo que debe realizar la válvula de aire en caso de rotura de la conducción, evitando que la presión alcance valores cercanos a la presión de colapso de la tubería.
- Expulsión de aire durante la operación normal del sistema, debido a que el agua lleva disuelta pequeñas cantidades de aire. Por la variación de presión se forman burbujas que poco a poco pueden ir creciendo en tamaño y volumen, reduciendo la eficiencia del sistema.
- Las válvulas de aire también pueden introducir aire al sistema cuando debido a transitorios se producen presiones negativas, reduciendo los efectos de golpe de ariete.

Se prevé la utilización de dos tipos de válvulas de aire.

- Válvulas de aire y vacío (Air and Vacuum Valves). - tienen como objetivo la expulsión de aire durante el llenado de la tubería y la introducción de aire durante el vaciado. También se las conoce como válvulas de aire de orificio grande. Estas válvulas funcionan cuando el sistema no está presurizado.
- Válvula de purga de aire (Air Release Valves). - el flujo de agua en la tubería siempre lleva consigo aire disuelto que por variaciones de temperatura o presión se liberan en forma de pequeñas burbujas. Las válvulas de purga funcionan con flujo a presión.

Las válvulas de aire y vacío se utilizan siempre conjuntamente con la válvula de purga formando una válvula de aire combinada o de triple acción. Las válvulas de purga pueden utilizarse solas o combinadas.

UBICACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE AIRE.

Las válvulas de aire se han ubicado de acuerdo a los siguientes criterios:

- En los puntos más altos de la conducción, es decir en donde finaliza un ascenso y comienza un descenso.
- En cambios considerables de pendiente ascendente a descendente.
- En tramos largos de conducción con pendiente constante se recomienda colocarlas con una separación entre sí de 500 m a 800 m.

En la siguiente figura y en el plano No. H43 presenta la ubicación de las válvulas de aire previstas en la conducción del ramal Puembo – Calderón.

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AIRE

El caudal de aire que deberá ser expulsado o ingresado a través del orificio de gran tamaño de la válvula de aire se calcula en función del diámetro de la tubería de conducción, de la velocidad de llenado, de las pendientes de los tramos cercanos al punto donde se ubica la válvula de aire, entre otros factores. Debido a que en una válvula de aire se introduce o se expulsa aire a través del mismo orificio, el dimensionamiento del mismo debe realizarse considerando el escenario más crítico entre el llenado y vaciado de la tubería.

De acuerdo a las Normas de Diseño de la EPMAPS, el llenado de la conducción deberá ser realizado con velocidades de flujo que no sobrepasen los 0.3 m/s, por lo que las condiciones de vaciado y rotura de la conducción son normalmente consideradas como las críticas para el dimensionamiento del orificio de gran tamaño de la válvula de aire de doble acción Aire/Vacío.

El caudal de ingreso de aire es una función del material de la válvula, el diámetro de la conducción y la pendiente más pronunciada de cada tramo en estudio. De acuerdo a la normativa vigente, el caudal de ingreso de aire se determina con la siguiente expresión¹¹:

$$Q = 0.000783 \cdot C \cdot \sqrt{SD^5}$$

Donde:

Q = Caudal de ingreso de aire (ft³/min)
 C = Coeficiente de Chezy igual a 130
 S = Pendiente del tramo crítico (l/l)
 D = Diámetro de la tubería en pulgadas

Ya que la máxima cantidad de aire que deberá ingresar a la tubería se da en el caso de una rotura, en cuyo escenario se producen presiones negativas bajas que son necesarias evaluarlas y compararlas con la presión de colapso de la tubería. Para esto se utiliza el criterio expuesto en la norma AWWA, manual M11 en el capítulo "External Fluid Pressure- Uniform and Radial"

$$P_c = \frac{2E}{1-\nu^2} \left(\frac{T}{D}\right)^3$$

En donde:

P_c = Presión de colapso (psi)
 E = Módulo de elasticidad del acero
 ν = Coeficiente de Poisson, igual a 0.3 para el acero
 T = Espesor de la tubería (in)
 D = Diámetro de la tubería (in)

La presión de diseño se adopta igual a la presión de colapso o a 5.0 psi como valor mínimo. De esta forma se garantiza que a pesar de que la variación de presión baje

¹¹ Manual of Water Supply Practices M51. Air -Release, Air vacuum and Combination Air Valves. American Water Works Association- Pg 18



hasta 5 psi el caudal de aire que ingresa a la tubería será el necesario para evitar daños en la conducción.

En el numeral 8.4 del volumen No. 8 "Diseño mecánico y eléctrico se presenta el cálculo que permite obtener los caudales de aire que serán expulsados durante la operación de llenado de la conducción, así como los caudales de aire que serán ingresados a la conducción para el caso de rotura de la línea en el tramo de máxima carga.

Para garantizar el adecuado funcionamiento de la línea se prevé la instalación en 58 puntos válvulas de aire cuyas características garantizan tanto la expulsión como el ingreso de aire requerido durante el llenado de la línea, durante su operación normal y durante los eventos extraordinarios. En la siguiente Tabla 19 se resume la ubicación en abscisa y cota de las válvulas de aire previstas a lo largo de la conducción del ramal Puembo – Calderón, así como los caudales de aire requeridos para la operación de llenado y de rotura de la conducción.

Tabla 19: Cálculo del caudal de aire necesario para garantizar la integridad física de la conducción por medio de la operación de las válvulas de aire

No	Absc.	Cota	Caudal de llenado m ³ /s	Caudal de Rotura m ³ /s
VA 1	+87.47	2414.0	0.07	16.06
VA 2	+99.1	2412.9	0.07	16.06
VA 3	+698.66	2421.2	0.07	4.44
VA 4	+778.49	2422.8	0.07	3.32
VA 5	1+210.58	2421.4	0.07	4.51
VA 6	1+376.9	2423.9	0.07	3.00
VA 7	2+259.15	2417.5	0.07	3.68
VA 8	2+362.34	2417.5	0.07	3.00
VA 9	2+915.65	2405.3	0.07	2.03
VA 10	3+481.41	2394.4	0.07	2.60
VA 11	4+373.72	2373.5	0.07	2.60
VA 12	4+648.98	2366.3	0.07	2.60
VA 13	5+214.39	2356.5	0.07	2.59
VA 14	5+842.17	2369.0	0.07	3.77
VA 15	5+978.31	2369.0	0.07	1.89
VA 16	6+307.84	2364.4	0.07	3.58
VA 17	7+449.54	2362.5	0.07	2.29
VA 18	7+637.66	2360.6	0.07	4.72
VA 19	8+288.75	2358.4	0.07	4.92
VA 20	8+998.33	2371.5	0.07	2.19
VA 21	9+691.12	2376.6	0.07	5.14
VA 22	9+715.37	2374.1	0.07	13.14
VA 23	10+046.86	2164.4	0.07	23.26
VA 24	10+418.83	2212.5	0.07	15.24
VA 25	10+578.19	2319.9	0.07	13.19

No	Absc.	Cota	Caudal de llenado m ³ /s	Caudal de Rotura m ³ /s
VA 26	10+974.34	2384.0	0.07	4.69
VA 27	11+256.95	2408.4	0.07	5.54
VA 28	11+691.84	2433.3	0.07	4.63
VA 29	11+965.66	2460.2	0.07	5.63
VA 30	12+164.09	2467.6	0.07	5.16
VA 31	12+428.25	2447.9	0.07	5.62
VA 32	13+163.82	2506.0	0.07	9.69
VA 33	13+291.09	2523.7	0.07	7.52
VA 34	13+341.2	2525.0	0.07	5.21
VA 35	13+492.57	2525.0	0.07	3.36
VA 36	13+644.77	2535.5	0.07	9.69
VA 37	14+005.32	2592.1	0.07	7.79
VA 38	14+636.24	2619.5	0.07	4.88
VA 39	15+190.19	2646.0	0.07	4.88
VA 40	15+691.8	2659.4	0.07	2.62
VA 41	16+200.37	2669.3	0.07	5.03
VA 42	16+510.75	2683.4	0.07	5.03
VA 43	17+565.6	2728.5	0.07	4.29
VA 44	18+014.82	2739.1	0.07	2.50
VA 45	19+306.49	2781.4	0.07	5.63
VA 46	19+573.54	2798.0	0.07	8.21
VA 47	20+174.41	2760.3	0.07	7.08
VA 48	21+035.81	2740.1	0.07	2.60
VA 49	21+559.77	2742.1	0.07	3.00
VA 50	22+572.38	2771.7	0.07	3.35
VA 51	23+281.75	2788.3	0.07	3.62
VA 52	23+926.85	2819.6	0.07	3.62
VA 53	24+182.32	2827.2	0.07	16.06
VA 54	24+198.82	2828.1	0.07	16.06
VA 55	24+603.47	2840.8	0.07	3.68
VA 56	25+043.92	2859.4	0.07	3.68
VA 57	25+391.29	2870.8	0.07	2.92
VA 58	25+694.63	2878.4	0.07	4.08

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Se observa que los caudales de aire requeridos para el caso de la rotura de la tubería son los más críticos para el dimensionamiento del orificio de gran tamaño. Este caudal varía en cada válvula alcanzando un máximo de 23.26 m³/s en la Válvula de aire VA 23 que se ubica en la abscisa 10+046.86 m.




Las válvulas de purga de aire tienen como función expulsar el aire disuelto en el flujo, por lo que su operación o funcionamiento es constante durante la operación normal de la conducción.

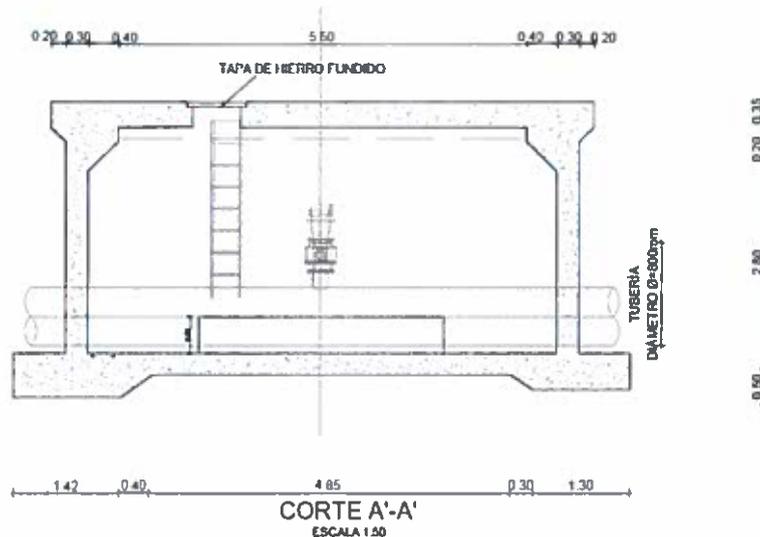
Para las condiciones de operación de la tubería de presión, el coeficiente de Bunsen para un flujo a 15 °C es aproximadamente 0.0201, que quiere decir que la cantidad de aire disuelto en el agua es de aproximadamente el 2% del caudal total del flujo, por lo tanto, el caudal de aire de purga se calcula mediante la siguiente expresión¹²:

$$Q = 1.3 \frac{m^3}{s} \cdot 0.02 = 0.026 \frac{m^3}{s}$$

Para el presente proyecto se determinará que cada válvula de aire sea de triple acción, es decir que permita la entrada de aire para la rotura de la conducción (escenario crítico), la expulsión de aire para el llenado de la conducción y la purga de aire durante la operación normal de la conducción. El diámetro del orificio pequeño será definido en función del caudal de aire calculado para la función de purga durante la operación normal de la línea que es igual a 0.026 m³/s.

Para cumplir la demanda de caudal requerido en algunos casos es necesario la utilización de una o más válvulas, relegando la selección de válvulas al costo de las mismas. En el volumen No. 8 referente al "Diseño Mecánico y Eléctrico" en el numeral 8.7 "Diseño definitivo de las Válvulas de Aire" se presenta el dimensionamiento de las válvulas de aire/vacío que garantiza la capacidad para expulsar o introducir los caudales de aire calculados a continuación.

Cada una de las válvulas de aire se dispondrán al interior de su correspondiente cámara de válvula de aire, cuyo esquema general se presenta en las siguientes figuras y en el plano No. H87



¹² Manual of Water Supply Practices M51. Air –Release, Air vacuum and Combination Air Valves. American Water Works Association- Pg. 12

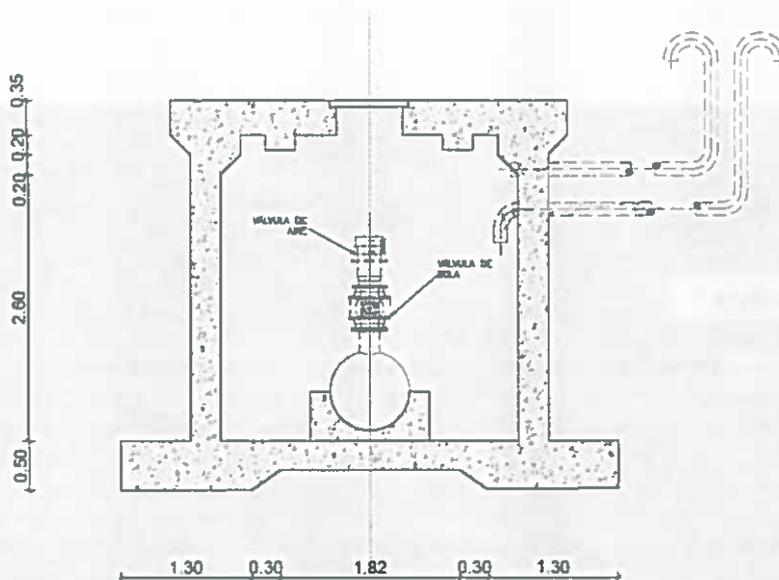


Figura 16. Perfil longitudinal y transversal de la cámara de válvulas de aire
Elaboración: INGECONSULT, 2019

5.7 Descripción de los tramos de la línea Puembo – Calderón

5.7.1 Trazado de la línea de transmisión Puembo Calderón – Tramo 1

Para el tramo L5, Puembo Calderón, al tratarse de un nuevo proyecto de consultoría se ha establecido un nuevo abscisado, el mismo que comienza a la salida de la Cámara de Derivación 1 con la abscisa 0+000.00. La conducción se ubica preferentemente bajo calles o vías, facilitando la accesibilidad durante las fases de construcción y de operación y minimizando las afectaciones a la propiedad privada. En la abscisa 0+093.48 m el trazado de la conducción del ramal Puembo – Calderón se intersecta con la conducción del sistema existente Papallacta, para salvar la intersección se realiza un cruce por debajo de la tubería existente mediante un pequeño sifón cuyo tramo de descenso permite alcanzar un profundizamiento suficiente respecto a la tubería del S. Papallacta. El sostenimiento de la conducción Papallacta se garantiza mediante la construcción de una loseta que se ubica a 0.50 m por debajo de dicha tubería. Debido al cambio de dirección considerable para construir el sifón será necesario la instalación de válvulas de aire para garantizar su adecuado funcionamiento hidráulico en este cruce.

En la siguiente figura se muestra el esquema propuesto para la intersección con el sistema Papallacta, el profundizamiento de la tubería hace que sea necesaria la instalación de válvulas de aire debido al cambio de dirección en perfil de la tubería, se han instalado dos válvulas de aire, en la entrada al cruce y otra a la salida, como se puede apreciar en la siguiente figura:

a)



b)

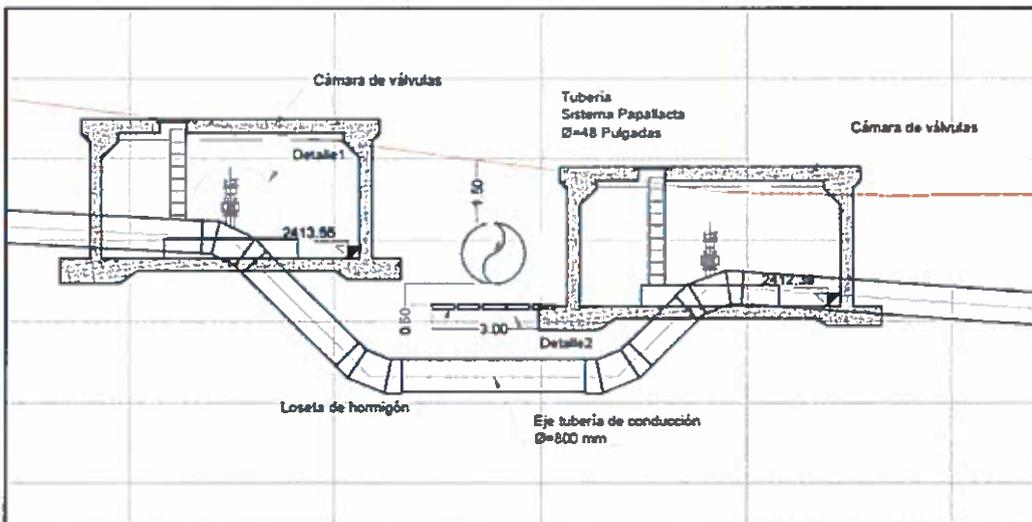


Figura 17. a) Implantación de la Intersección de la línea de transmisión Puembo – Calderón con el sistema Papallacta. b) Esquema del cruce de la Línea Puembo – Calderón con la conducción del sistema existente Papallacta

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Después del cruce de la línea del ramal Puembo – Calderón con el sistema Papallacta, la conducción continúa atravesando la parroquia de Puembo. El trazado de la línea de conducción prevé y prioriza la instalación de la tubería bajo las calles, hasta llegar al cruce con el río Guayllabamba, en la abscisa 9+691.12 m, la longitud total del tramo 1 es de 9698.17 m.

En este primer tramo de desarrollo de la línea Puembo – Calderón se ha ubicado una válvula de desagüe principal (VD1) y 5 válvulas de desagüe secundarias. Los caudales

de descarga, las presiones de operación normal y los cauces o estructuras receptoras se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 20: Desagües ubicados a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 1

Válvula	Abscisa	Cota msnm	Q l/s	p/y estática m	p/y operación m	Estructura o cauce receptor
Desagües Principales						
VD1	8+106.38	2341.25	200	767.43	77.44	Quebrada Chigualcan
Desagües secundarios						
Vds1	431.226	2410.65	50	698.03	10.579	Quebrada Seca
Vds2	1098.099	2412.57	50	696.11	10.215	Quebrada Seca
Vds3	1985.739	2410.975	50	697.71	6.485	Alcantarillado Barrio Minas
Vds4	5528.389	2352.582	50	756.10	20.947	Alcantarillado Barrio El Ingenio
Vds5	6947.255	2352.342	50	756.34	10.188	Alcantarillado Barrio El Ingenio

Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se describe la cámara y válvula VD1:

Válvula VD1

La válvula de desagüe y disipación de energía principal VD1 se ubica en la abscisa 8+106.38 en la cota 2341.25 msnm, de acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Puembo – Calderón, esta deberá descargar un volumen total de 3139 m³. La carga estática en el punto de derivación respecto a la Pileta de la central Recuperadora en Paluguillo es de 767.43 mca y la carga de operación normal es de 77.45 mca. Se ha previsto una derivación de diámetro interno de 200 mm hacia el desagüe VD1, el cual está provisto de una válvula multichorro acodada en el mismo diámetro. El caudal de descarga previsto es de 200 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de la válvula disipadora de energía es de 6.37 m/s, por lo que se ha dispuesto estructuras de disipación de energía residual, que permita una descarga segura y elimine la energía remanente después de la válvula de disipación.

Para disipar la energía residual se ha previsto que la descarga de la válvula disipadora sea sumergida, la sumergencia se consigue gracias a un tanque provisto de un vertedero a la salida con cresta en la cota 2341.60 m.s.n.m., que garantiza el nivel requerido de agua, dentro de dicho tanque se instala una pantalla en L invertida en la cual impactará el flujo de descarga para producir la turbulencia necesaria para la disipación de la energía remanente.

Finalmente, para proteger la zona de descarga en el cauce receptor se coloca un enrocado de protección en la zona de impacto del chorro como se muestra en la implantación y cortes de la cámara de válvula de desagüe y disipación de energía VD1: La implantación y cortes de la cámara VD1 se presenta en las siguientes figuras y en los planos No. H54, H55 y H56.

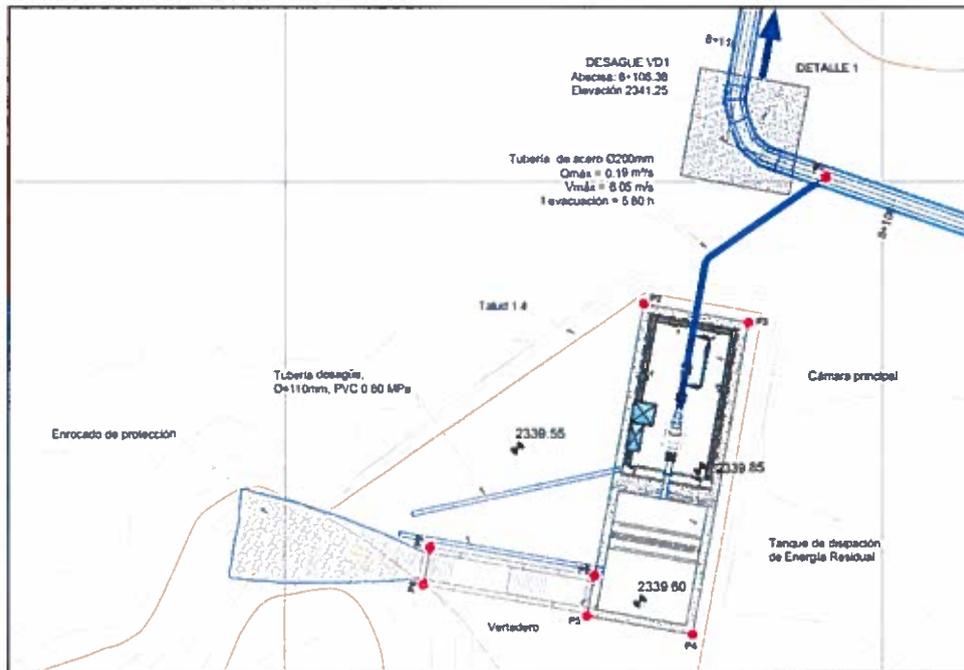


Figura 18. Implantación de la cámara de desagüe VD-1
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

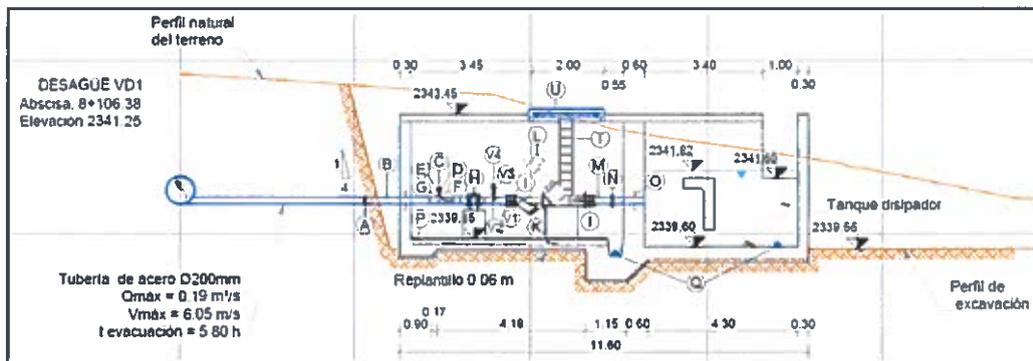


Figura 19. Corte de la cámara desagüe VD-1
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

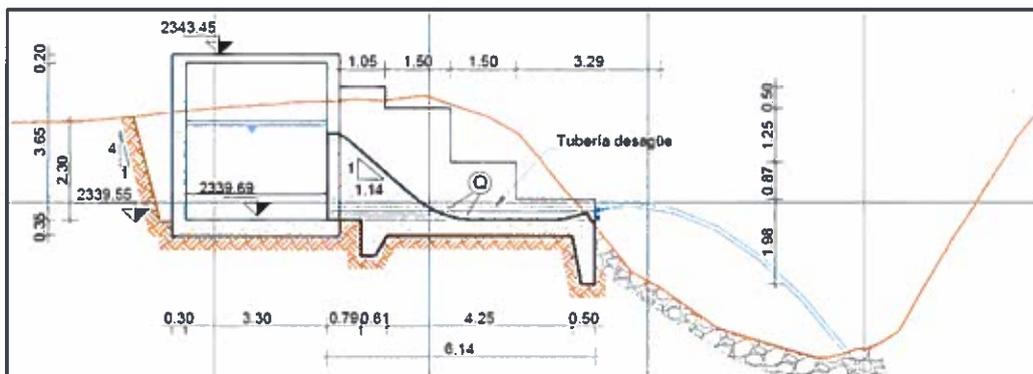


Figura 20. Corte de la descarga de la cámara desagüe VD-1
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

En este tramo se han dispuesto adicionalmente cinco válvulas de desagüe secundarias, dos de las cuales Vds1 y Vds2 descargan a quebradas y tres (3) que descargan a pozos de sistemas de alcantarillado existentes. En los planos No. H64 hasta H80 se presentan las correspondientes implantaciones y cortes de las cámaras de válvulas de desagüe secundarias.

Vsd1

La válvula de desagüe y disipación de energía secundaria Vsd1 se ubica en la abscisa 0+431.23 en la cota 2410.65 msnm, en las coordenadas 514752.73 E y 9978164.35 N, de acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Puembo - Calderón, esta deberá descargar un volumen total de 353 m³. La carga estática en el punto de derivación respecto a la Pileta de la central Recuperadora en Paluguillo es de 698.03 mca y la carga de operación normal es de 10.58 mca. Se ha previsto una derivación de diámetro interno de 200 mm hacia el desagüe Vds1, el cual está provisto de una válvula de guardia tipo bola acodada en el mismo diámetro. El caudal de descarga previsto es de 50 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de energía es de 1.57 m/s.

Para disipar la energía residual se ha previsto que la descarga sea sumergida, la sumergencia se consigue gracias a un tanque provisto de un vertedero a la salida con cresta en la cota 2410.94 msnm, que garantiza el nivel requerido de agua, dentro de dicho tanque se instala una pantalla en L invertida en la cual impactará el flujo de descarga para producir la turbulencia necesaria para la disipación de la energía remanente.

Dado que la cámara de desagüe Vsd1 se ubica dentro de una zona urbana consolidada es imposible descargar hacia quebradas o cuerpos de agua cercanos, por lo que se requiere 2 pozos de revisión en las cotas 2414.14 m.s.n.m y en la cota 2405.06 m.s.n.m respectivamente y luego se descargará a una quebrada a 40.90m desde el pozo de revisión N° 2, en la abscisa 0+179.022 en una cota 2369.74 msnm Finalmente, para proteger la zona de descarga en el cauce receptor se coloca un enrocado de protección en la zona de impacto del chorro como se muestra en la implantación y cortes de la cámara de válvula de desagüe y disipación de energía Vds1, en los planos No. H66, H67, H68 y H69.

Vsd2

La válvula de desagüe y disipación de energía secundaria Vsd2 se ubica en la abscisa 1+098.10 en la cota 2412.57 m.s.n.m, en las coordenadas 514574.59 E y 9978781.38 N, de acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Puembo - Calderón, esta deberá descargar un volumen total de 341 m³. La carga estática en el punto de derivación respecto a la Pileta de la central Recuperadora en Paluguillo es de 696.11mca y la carga de operación normal es de 10.21 mca. Se ha previsto una derivación de diámetro interno de 200 mm hacia el desagüe Vds2, el cual está provisto de una válvula de guardia tipo bola acodada en el mismo diámetro. El caudal de descarga previsto es de 50 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de energía es de 1.70 m/s.

Para disipar la energía residual se ha previsto que la descarga sea sumergida, la sumergencia se consigue gracias a un tanque provisto de un vertedero a la salida con cresta en la cota 2412.87 msnm, que garantiza el nivel requerido de agua, dentro de

dicho tanque se instala una pantalla en L invertida en la cual impactará el flujo de descarga para producir la turbulencia necesaria para la disipación de la energía remanente. Dado que la cámara de desagüe Vsd2 se ubica dentro de una zona urbana consolidada es imposible descargar hacia quebradas o cuerpos de agua cercanos, por lo que la descarga se realiza al tanque de conexión de alcantarillado ubicado en la cota 2412.43 m.s.n.m y consecutivamente a los 4 pozos de revisión en las cotas 2409.28 m.s.n.m, 2397.60 m.s.n.m, 2382.43 m.s.n.m y 2376.90 m.s.n.m respectivamente y luego se descargará a una quebrada a 52.10m desde el pozo de revisión N° 4, en la abscisa 0+179.022 en una cota 2369.74msnm Finalmente, para proteger la zona de descarga en el cauce receptor se coloca un enrocado de protección en la zona de impacto del chorro como se muestra en la implantación y cortes de la cámara de válvula de desagüe y disipación de energía Vds2, en los planos No. H70, H71, H72 y H73.

Vsd3

La válvula de desagüe y disipación de energía secundaria Vsd3 se ubica en la abscisa 1+985.739 en la cota 2410.98 m.s.n.m, en las coordenadas 514808.05 E y 9979379.47 N, de acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Puembo – Calderón, esta deberá descargar un volumen total de 332 m³. La carga estática en el punto de derivación respecto a la Pileta de la central Recuperadora en Paluguillo es de 697.71 mca y la carga de operación normal es de 6.49 mca. Se ha previsto una derivación de diámetro interno de 200 mm hacia el desagüe Vds3, el cual está provisto de una válvula de guardia tipo bola acodada en el mismo diámetro. El caudal de descarga previsto es de 50 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de energía es de 1.67 m/s.

Para disipar la energía residual se ha previsto que la descarga sea sumergida, la sumergencia se consigue gracias a un tanque provisto de un vertedero a la salida con cresta en la cota 2411.02 msnm, que garantiza el nivel requerido de agua, dentro de dicho tanque se instala una pantalla en L invertida en la cual impactará el flujo de descarga para producir la turbulencia necesaria para la disipación de la energía remanente.

Al igual que las cámaras anteriores, la cámara de desagüe Vsd3 se ubica dentro de una zona urbana consolidada por lo que resulta imposible descargar hacia quebradas o cuerpos de agua cercanos, por lo que se entrega el caudal al pozo del sistema de alcantarillado del Barrio Minas, la implantación y cortes de la cámara de válvula de desagüe y disipación de energía Vds2, en los planos No. H74, H75, H76.

Vsd4

La válvula de desagüe y disipación de energía secundaria Vsd4 se ubica en la abscisa 5+528.39 en la cota 2352.58 m.s.n.m, en las coordenadas 513293.13 E y 9982354.34 N, de acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Puembo – Calderón, esta deberá descargar un volumen total de 807 m³. La carga estática en el punto de derivación respecto a la Pileta de la central Recuperadora en Paluguillo es de 756.10mca y la carga de operación normal es de 20.95 mca. Se ha previsto una derivación de diámetro interno de 200 mm hacia el desagüe Vds4, el cual está provisto de una válvula de guardia tipo bola acodada en el mismo diámetro. El caudal de

descarga previsto es de 50 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de energía es de 1.64 m/s.

Para disipar la energía residual se ha previsto que la descarga sea sumergida, la sumergencia se consigue gracias a un tanque provisto de un vertedero a la salida con cresta en la cota 2352.92 msnm, que garantiza el nivel requerido de agua, dentro de dicho tanque se instala una pantalla en L invertida en la cual impactará el flujo de descarga para producir la turbulencia necesaria para la disipación de la energía remanente. Dado que la cámara de desagüe Vsd4 se ubica dentro de una zona urbana consolidada es imposible descargar hacia quebradas o cuerpos de agua cercanos, por lo que la descarga se realiza al pozo de conexión de alcantarillado ubicado en la cota 2370.48 m.s.n.m y consecutivamente a los 4 pozos de revisión en las cotas 2368.95 m.s.n.m, 2367.54 m.s.n.m, 2364.43 m.s.n.m, 2360.29 m.s.n.m, respectivamente, la implantación y cortes de la cámara de válvula de desagüe y disipación de energía Vds4, en los planos No. H77, H78, H79.

Vsd5

La válvula de desagüe y disipación de energía secundaria Vsd5 se ubica en la abscisa 6+947.255 en la cota 2352.34 m.s.n.m, en las coordenadas 513042.03 E y 9983475.53 N, de acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Pueumbo - Calderón, esta deberá descargar un volumen total de 574 m³. La carga estática en el punto de derivación respecto a la Pileta de la central Recuperadora en Paluguillo es de 756.34 mca y la carga de operación normal es de 10.19 mca. Se ha previsto una derivación de diámetro interno de 200 mm hacia el desagüe Vds5, el cual está provisto de una válvula de guardia tipo bola acodada en el mismo diámetro. El caudal de descarga previsto es de 50 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de energía es de 1.73 m/s.

Para disipar la energía residual se ha previsto que la descarga sea sumergida, la sumergencia se consigue gracias a un tanque provisto de un vertedero a la salida con cresta en la cota 2352.67 msnm, que garantiza el nivel requerido de agua, dentro de dicho tanque se instala una pantalla en L invertida en la cual impactará el flujo de descarga para producir la turbulencia necesaria para la disipación de la energía remanente.

Al igual que las cámaras anteriores, la cámara de desagüe Vsd5 se ubica dentro de una zona urbana consolidada por lo que resulta imposible descargar hacia quebradas o cuerpos de agua cercanos, por lo que se entrega el caudal al pozo del sistema de alcantarillado del Barrio El Ingeniero, la implantación y cortes de la cámara de válvula de desagüe y disipación de energía Vds5, en los planos No. H80, H81, H82.

Para garantizar un adecuado funcionamiento hidráulico de la conducción se han dispuesto en este tramo veintiún (21) cámaras de válvulas de aire con sus respectivas válvulas.

La ubicación de las válvulas de aire se realiza en los puntos altos de la conducción y se resume en la siguiente Tabla, en la que adicionalmente se incluyen el tipo de válvula de aire recomendado, así como los caudales de aire que deben ser expulsados en condiciones de operación normal y los máximos requeridos en caso de rotura de la conducción en el punto de máxima carga.

37
r

Tabla 21: Válvulas de aire a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 1

No	Tipo	Absc.	Cota	P. Estática	Vol. Máximo de Aire
			m.s.n.m.	m.c.a.	m ³ /s
VA 1	Triple Acción	+87.47	2414.0	694.83	16.06
VA 2	Triple Acción	+99.1	2412.9	696.00	16.06
VA 3	Triple Acción	+698.66	2421.2	687.65	4.44
VA 4	Triple Acción	+778.49	2422.8	686.10	3.32
VA 5	Triple Acción	1+210.58	2421.4	687.45	4.51
VA 6	Triple Acción	1+376.9	2423.9	684.99	3.00
VA 7	Triple Acción	2+259.15	2417.5	691.42	3.68
VA 8	Triple Acción	2+362.34	2417.5	691.42	3.00
VA 9	Triple Acción	2+915.65	2405.3	703.56	2.03
VA 10	Triple Acción	3+481.41	2394.4	714.46	2.60
VA 11	Triple Acción	4+373.72	2373.5	735.35	2.60
VA 12	Triple Acción	4+648.98	2366.3	742.56	2.60
VA 13	Triple Acción	5+214.39	2356.5	752.41	2.59
VA 14	Triple Acción	5+842.17	2369.0	739.88	3.77
VA 15	Triple Acción	5+978.31	2369.0	739.88	1.89
VA 16	Triple Acción	6+307.84	2364.4	744.47	3.58
VA 17	Triple Acción	7+449.54	2362.5	746.35	2.29
VA 18	Triple Acción	7+637.66	2360.6	748.28	4.72
VA 19	Triple Acción	8+288.75	2358.4	750.52	4.92
VA 20	Triple Acción	8+998.33	2371.5	737.35	2.19
VA 21	Triple Acción	9+691.12	2376.6	732.33	5.14

Elaboración: INGECONSULT, 2019

En la Figura 21 y en el plano No. H1, se presenta la implantación y el perfil del tramo 1 de la línea Puembo - Calderón, en donde adicionalmente se han ubicado las válvulas de desagüe, válvulas de aire y bloques de anclaje requeridos para garantizar su correcto funcionamiento hidráulico.



Figura 21. Implantación y perfil del tramo 1 de la línea de conducción Puembo - Calderón

Elaboración: INGECONSULT, 2019

5.7.2 Trazado de la línea de transmisión Puembo Calderón – Tramo 2

El tramo 2 de la línea Puembo – Calderón corresponde al sifón de alta carga que se inicia en la abscisa 9+691.12, a continuación desciende 265.66 m hasta la cota 2110.90 msnm para cruzar el cauce del río Guayllabamba con un paso elevado de 208.00 m de longitud, luego asciende nuevamente hasta la cota 2383.97 msnm es decir asciende 273.07 m, para luego continuar de igual forma que el tramo No. 1 a través de calles hasta llegar a otro cruce, en este caso el de la quebrada Tamauco en la abscisa 13+492.57 y 2525.00m.s.n.m. cota con un desarrollo longitudinal de 3991.67m.

El tramo 2 se inicia con lo que se ha denominado el "Cruce sobre el río Guayllabamba", a su vez este se ha dividido en cuatro componentes; el primero se le ha denominado de aproximación que tiene una longitud corta de apenas 24.38m, luego se continúa con el descenso superficial de la conducción hasta la abscisa 10+072.36, en toda esta longitud se ha dispuesto la tubería de acero soldada al interior de la zanja cubierta hasta la cota 2110.90 msnm, en la que se realiza el cruce aéreo a 74.9 m de altura sobre el fondo del lecho del río, con una luz o longitud entre ejes de 208 m

En la abscisa 10+306.01 inicia el tramo ascendente del sifón que también se lo ha dispuesto en zanja cubierta hasta alcanzar la cota 2383.97 msnm en la abscisa 10+974.34

Válvulas de Desagüe en el Tramo 2

A lo largo del tramo 2, se encuentran dos válvulas de desagüe, VD2 y VD3, ubicadas en las abscisas 10+072.35 y 12+608.45 m respectivamente, a continuación, se detallan cada uno de estos dispositivos.

En la abscisa 10+072.35 y cota 2110.9 msnm, al inicio del cruce aéreo sobre el río Guayllabamba, se ha previsto la ubicación de una válvula de Desagüe principal denominada VD2 al interior de su respectiva cámara. Debido a la configuración topográfica en el que se desarrolla el tramo 2 es necesario una sola válvula de desagüe secundaria, ubicada en la abscisa 13+385.53 en la cota 2520.32 msnm.

De acuerdo al plan de operación normal para el vaciado de la línea Puembo – Calderón, se prevé que la válvula VD2 descargue un caudal de 200 l/s a una quebrada afluyente del río Guayllabamba, previa la disipación de energía que se realizará con ayuda de la válvula tipo multichorro de diámetro interno de 200 mm. La carga estática en el punto de derivación hacia la válvula VD2 con respecto al nivel del tanque de Paluguillo es de 997.78 mca, mientras que la carga de operación normal durante el vaciado controlado de la conducción corresponde a 356.65 mca, pues la VD2 es la que operará al final del proceso de vaciado, es decir es la encargada de eliminar el flujo a lo largo de todo el sifón referente al cruce sobre el río Guayllabamba.

Debido a su ubicación la válvula VD2 es la que soporta la más alta carga de presión estática en toda la línea. La velocidad de descarga en la VD2 es de 3.18 m/s, por lo que se han previsto las estructuras de disipación de energía residual, así como de descarga y restitución de caudales, las mismas que se presentan en la siguiente figura y sus detalles pueden ser consultados en los planos No. H55, H56 y H57.

El tanque de disipación de energía residual cuenta en su interior con una pantalla en L invertida que operará totalmente sumergida. Esta sumergencia se garantiza ubicando la

cota de la cresta del vertedero por sobre el nivel de descarga es decir en la cota 2078.35 msnm. Se ha dispuesto un enrocado de protección en la zona de descarga del caudal evacuado sobre el vertedero de perfil.

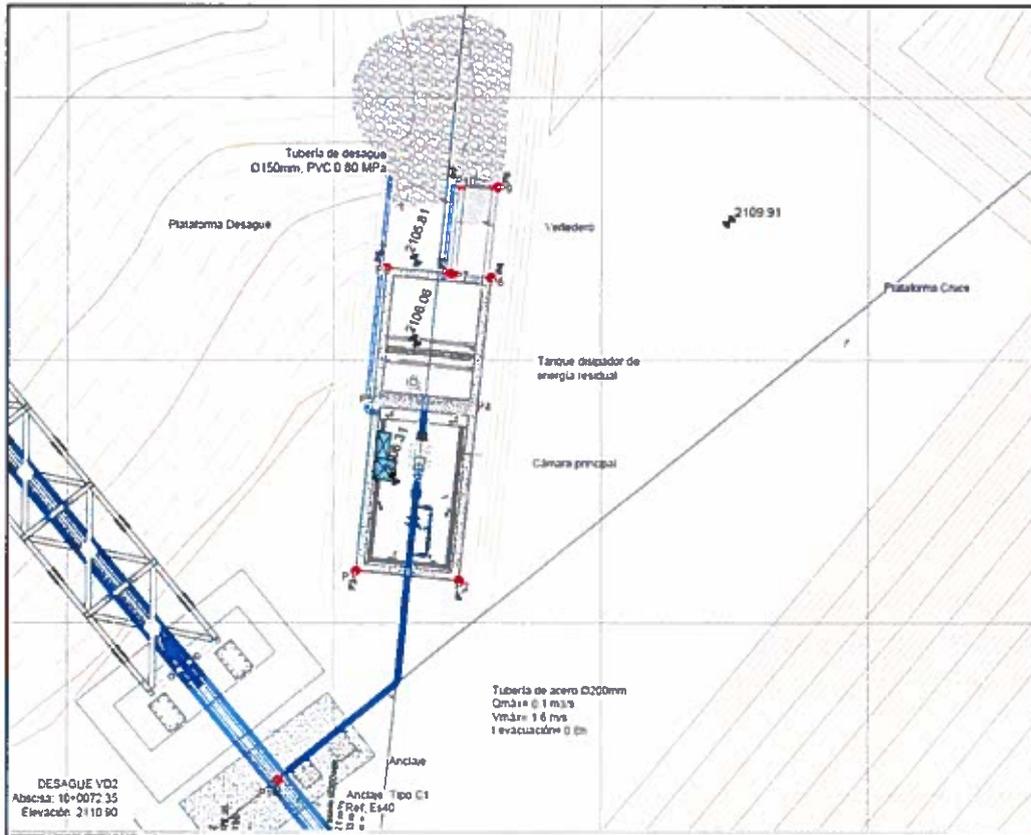


Figura 22. Implantación de la cámara de la válvula de desagüe principal VD-2
Elaboración: INGECONSULT, 2019

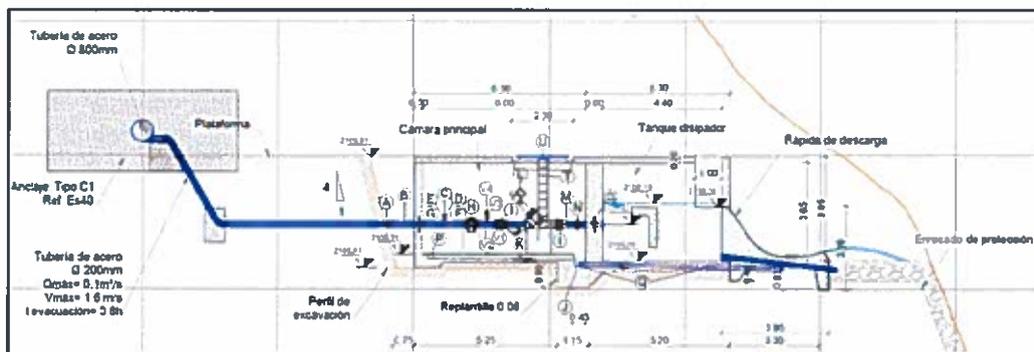


Figura 23. Corte longitudinal de la cámara de válvula de desagüe principal VD-2
Elaboración: INGECONSULT, 2019

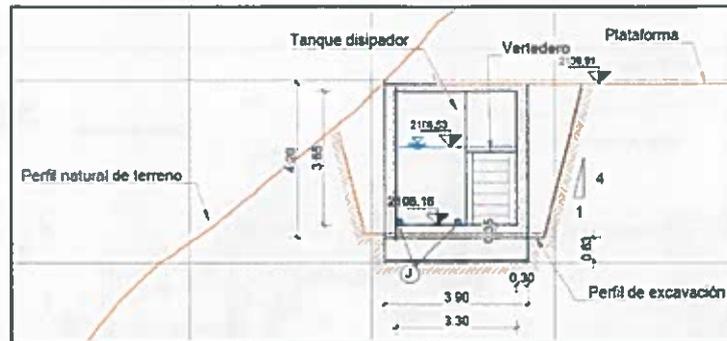


Figura 24. Corte transversal de la cámara de válvula de desagüe principal VD-2
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

En la abscisa 12+608.45, en la cota 2429.66 msnm, se ha dispuesto la Válvula de Desagüe principal VD3 con su respectiva cámara, que evacuará el caudal hacia una quebrada afluente de la quebrada Tamauco. De acuerdo al plan de operación previsto para el vaciado controlado de la línea Puenbo - Calderón, la VD3 deberá descargar un volumen total de 3139 m³. La carga estática en el punto de derivación corresponde a 679.02 mca y la carga de operación normal es de 368.30 mca. El caudal de descarga es de 200 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de la válvula es de 6.37 m/s, por lo que se ha previsto la disipación de energía residual mediante una tobera que descargará sumergida en un tanque, como lo muestra la Figura 29. Finalmente, desde el tanque se evacúa el caudal sobre un vertedero de perfil cuya cresta se ubica en la cota 2427.34 msnm, el mismo que descarga hacia el cauce receptor que ha sido protegido por un enrocado para garantizar su estabilidad.

La válvula de disipación de energía seleccionada corresponde al tipo multichorro, de 200 mm de diámetro, la descarga se produce en un ángulo recto, al final se dispone de una tobera agujereada que beneficia a la disipación de energía remanente.

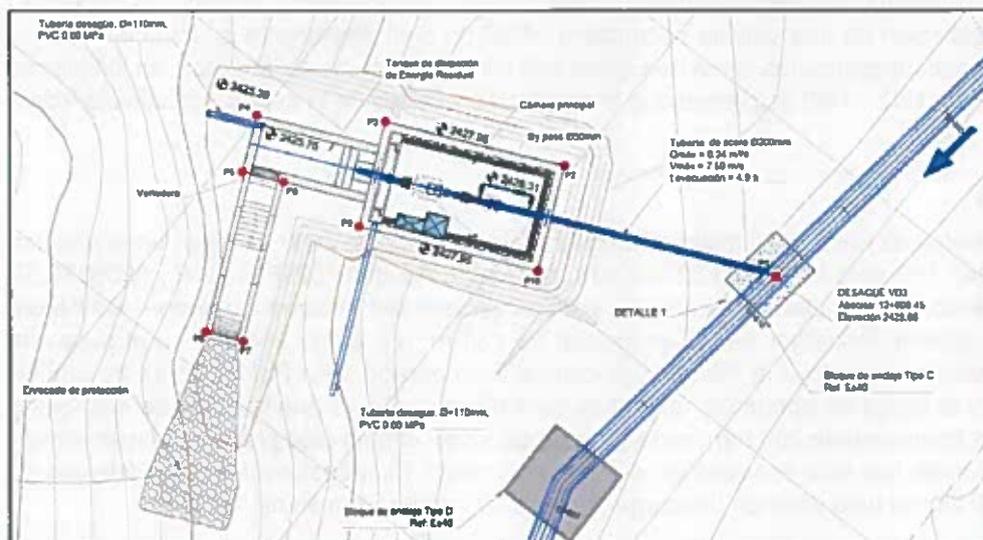


Figura 25. Implantación de la cámara de desagüe VD-3
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

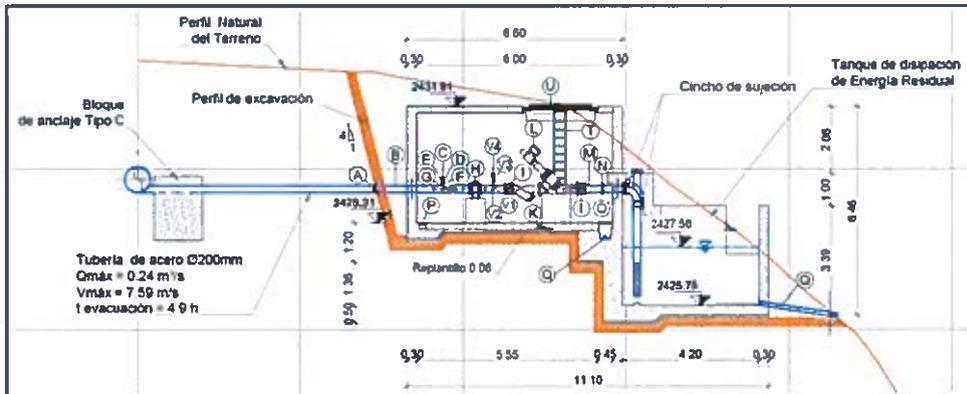


Figura 26. Corte de la cámara desagüe VD-3
Elaboración: INGECONSULT, 2019

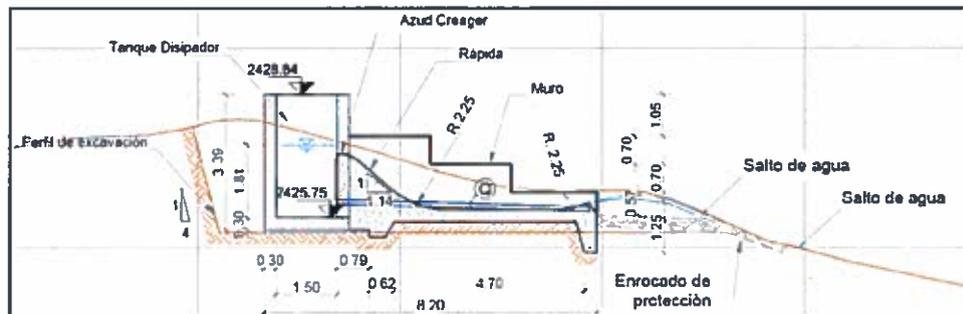


Figura 27. Corte de la descarga de la cámara desagüe VD-3
Elaboración: INGECONSULT, 2019

Para el vaciado completo del tramo 2 dentro de la línea Puembo Calderón, es necesario la instalación de una válvula secundaria VDs6, la cual descargara el volumen 138 m^3 que serán descargados hacia una quebrada afluente al río Guayllabamba, en los planos No. H81, H82 y H83 se presenta la implantación y cortes de la cámara de válvula Vds6.

Vsd6

La válvula de desagüe y disipación de energía secundaria Vsd6 se ubica en la abscisa 13+947.255 en la cota 2520.32 m.s.n.m, en las coordenadas 509664.10 E y 9986836.59 N, de acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Puembo - Calderón, esta deberá descargar un volumen total de 138 m^3 . La carga estática en el punto de derivación respecto a la Pileta de la central Recuperadora en Paluguillo es de 588.36 mca y la carga de operación normal es de 4.68 mca. Se ha previsto una derivación de diámetro interno de 200 mm hacia el desagüe Vds6, el cual está provisto de una válvula de guardia tipo bola acodada en el mismo diámetro. El caudal de descarga previsto es de 50 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de energía es de 1.40 m/s.

Para disipar la energía residual se ha previsto que la descarga sea sumergida, la sumergencia se consigue gracias a un tanque provisto de un vertedero a la salida con

cresta en la cota 2517.04 msnm, que garantiza el nivel requerido de agua, dentro de dicho tanque se instala una pantalla en L invertida en la cual impactará el flujo de descarga para producir la turbulencia necesaria para la disipación de la energía remanente, en este caso, la descarga se realiza a un afluente de la quebrada Tamauco, la implantación y cortes de la cámara de válvula de desagüe y disipación de energía Vds5, en los planos No. H83, H84, H85.

Cruce aéreo en el Tramo 2

En el Tramo 2 de la línea Puembo – Calderón se ubica el cruce que realiza la conducción con el río Guayllabamba. En la siguiente figura se muestra sobre la fotografía en Google la ubicación en planta del trazado del tramo 2 de la conducción.

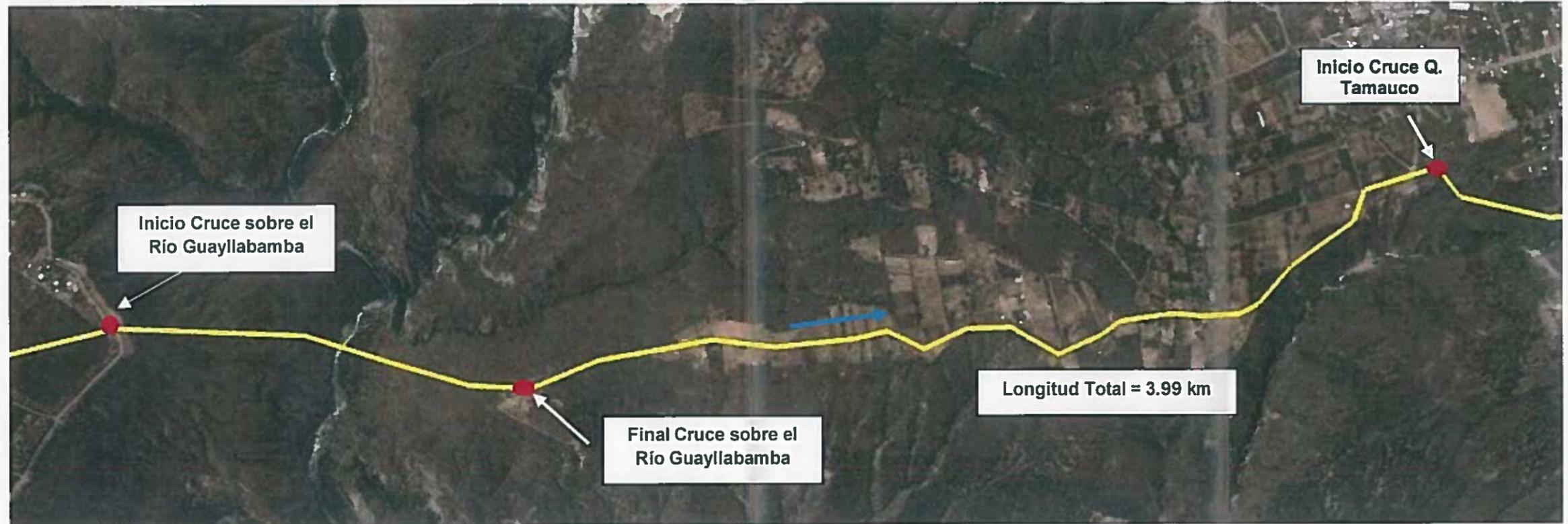


Figura 28. Implantación del tramo 2 de la línea de transmisión Puembo Calderón, sobre la fotografía Google
Elaboración: INGECONSULT, 2019

Handwritten mark

Handwritten mark

En la siguiente tabla se resume la ubicación del cruce aéreo sobre el río Guayllabamba.

Tabla 22: Ubicación de los cruces aéreos de la línea de conducción Puembo – Calderón – Tramo 2

Cruce aéreo	Conducción Puembo Calderón							
	Inicio			Final			Cota m.s.n.m.	Longitud m
	Coordenadas		Abscisa	Coordenadas		Abscisa		
	Este	Norte		Este	Norte			
Río Guayllabamba	512364.170	9985436.37	10+072.36	512216.265	9985617.25	10+306.01	2110.9	208.00

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Cruce con el río Guayllabamba

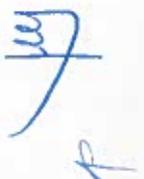
El cruce de la línea de conducción con el cauce del río Guayllabamba corresponde a un sifón que desciende sobre los taludes laterales del encañonado que conforma el tramo del río Guayllabamba en esta zona de cruce, hasta la cota 2110.90 msnm, en donde se inicia propiamente el cruce aéreo. Los elementos que componen toda la estructura de cruce de la conducción con el río Guayllabamba son los siguientes:

Los puntos de inicio y fin del paso elevado tienen las coordenadas 9985436N y 5123642E y 9985617N y 512216E correspondientes, y está compuesta por:

- ◆ Un tramo de aproximación comprendido entre las abscisas 9+691.12 y 9+715.37; tiene una longitud desarrollada de 24.38 m ubicado en la cima de la margen derecha. En este tramo la tubería está enterrada en promedio 3 m de profundidad y tiene una pendiente promedio igual a 10.23%.
- ◆ Tramo de descenso que se encuentra entre las abscisas 9+715.37 a 10+072.36; tiene una longitud desarrollada de 452.19 m, y un desnivel de 263.17 m, hasta llegar al tramo horizontal o paso elevado propiamente dicho.
- ◆ El paso elevado se encuentra ubicado en la cota 2110.90 msnm; esto es 44.52 m por sobre la cota de tránsito de lahares provenientes del volcán Cotopaxi (2066.38 msnm) y 74.9 m por encima del lecho del río Guayllabamba. Tiene una longitud de 208 m entre ejes de los apoyos, y forma un ángulo de 115.5° en el plano vertical respecto al tramo descendente y 42.50° respecto al tramo ascendente en el mismo plano, margen izquierda.
- ◆ Tramo de ascenso que empieza en la abscisa 10+306.01 y termina en la 10+974.34. Tiene una longitud desarrollada de 747.32 m de longitud y un desnivel de 273.08 m.

Para la etapa de construcción se plantean dos plataformas; una en cada margen del río Guayllabamba, las dos ubicadas a 2108.9 m.s.n.m que actuarán como centro de logística, acopio de materiales y lanzamiento de estructuras componentes del paso elevado.

El cruce sobre el río Guayllabamba es un puente colgante, esta tipología estructural cuenta con la ventaja de poseer un reducido peso propio con respecto a su luz, pero es susceptible a las fuerzas producidas por el movimiento del viento, vibraciones y cargas móviles asimétricas. El paso elevado estará conformado por una viga de rigidez sobre la cual se acentará la tubería de conducción, esta viga estará soportada por péndolas que a su vez estarán suspendidas a los



cables principales que se apoyan sobre dos torres de acero, una en cada margen del río, para sujetar los cables principales se usaran macizos de anclaje de hormigón simple, y adicionalmente para restringir desplazamientos laterales por sismo y viento se utilizaran tensores de anclaje transversales a la viga de rigidez.

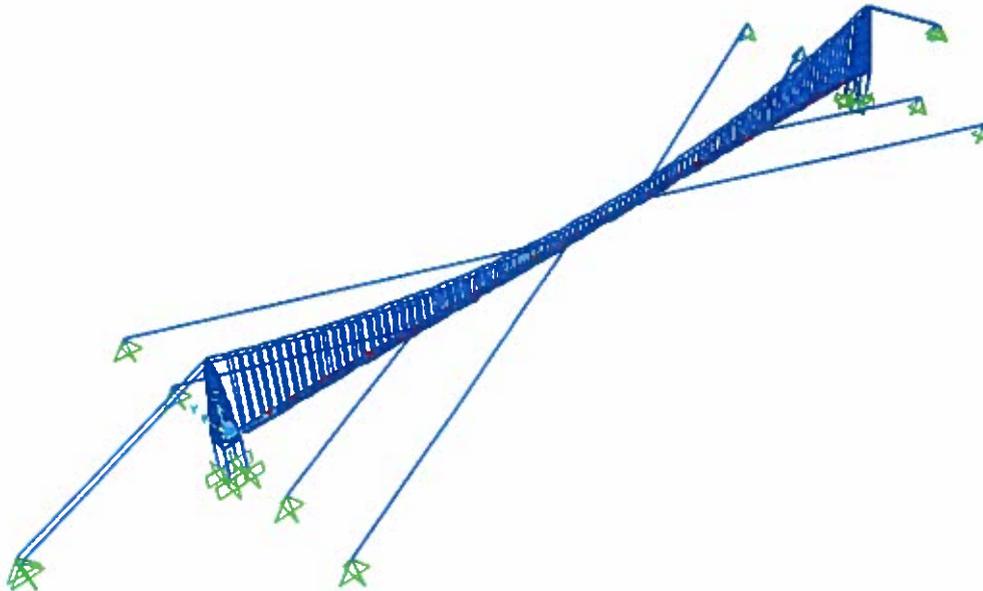


Figura 29: Configuración del paso elevado en el tramo horizontal, sobre el río Guayllabamba
Elaboración: INGECONSULT, 2019

Las vías de acceso tienen una longitud total de 4714.64 m, 2368.64 m en la margen derecha y 2346.0 m en la margen izquierda, en el primer caso la vía llega hasta la primera plataforma o plataforma de operaciones (2108.9 m.s.n.m.) y para la margen izquierda a la plataforma de operaciones (2108.9.5 m.s.n.m.).

En la Figura 30 se muestra la ubicación del cruce en el río Guayllabamba sobre la fotografía Google. En la imagen se puede apreciar el trazado de la línea de conducción, los tramos de descenso y de ascenso de la tubería, así como la sección transversal del cruce en el río que se desarrolla como paso elevado.



Figura 30: Cruce de la línea de conducción, sobre el río Guayllabamba
Elaboración: INGECONSULT, 2019

Tanto para la construcción como para el mantenimiento cuando el sistema entre en operación, es necesario contar con plataformas en cada una de las márgenes a los lados del río Guayllabamba. Para llegar a estas plataformas se planifica la construcción de vías de acceso hasta la cota 2108.90 m.s.n.m.

Tabla 23: Parámetros de diseño de las vías de acceso hasta el paso elevado sobre el río Guayllabamba

	Margen Derecha	Margen Izquierda
Cota salida	2368.64 msnm	2346.00 msnm
Cota llegada	2108.90 msnm	2108.90 msnm
Longitud	2380 m	2126 m
Altura de corte en calzada	<20metros	<25metros
Volumen de Excavación	220297.27 m ³	295158.24 m ³
Gradiente Máxima:	14.0%	14.0%

Elaboración: INGECONSULT, 2019



En la Figura 31 se muestran las vías de acceso requeridas hacia la zona de implantación de los apoyos para el paso elevado. Se puede observar las áreas de las afectaciones requeridas para el desarrollo de las vías, así como la necesidad de proteger y estabilizar los taludes de corte para los accesos en determinados tramos.

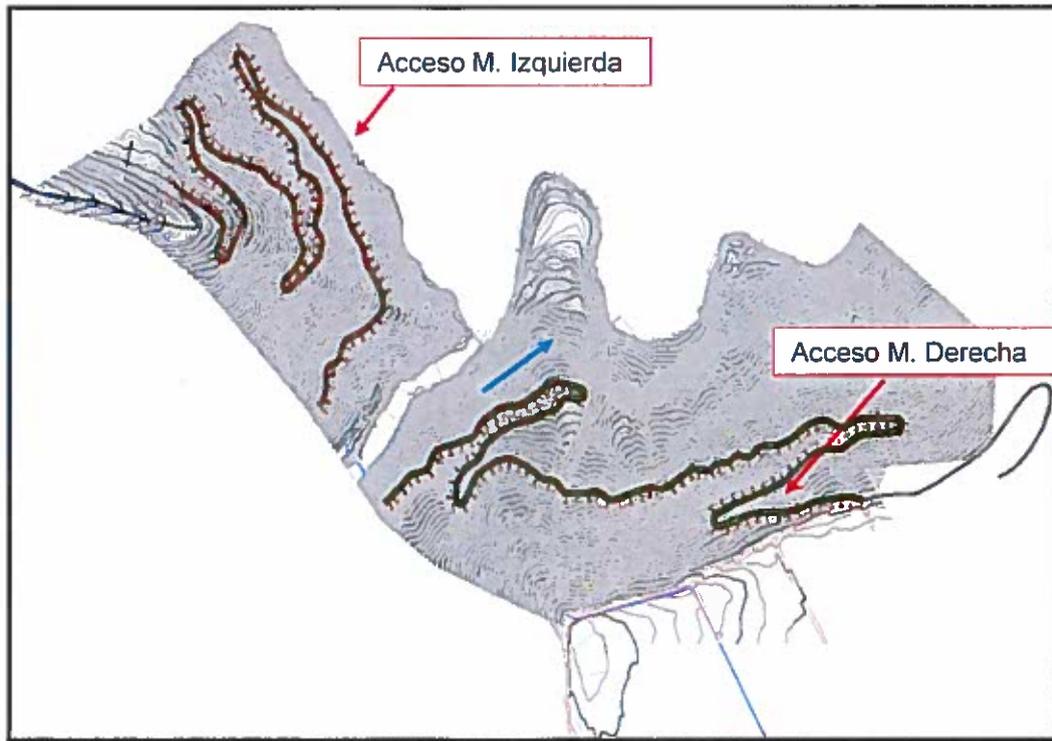


Figura 31: Vías de acceso hacia las plataformas del Cruce sobre el río Guayllabamba
Elaboración: INGECONSULT, 2019

En la Figura 32 se muestra un corte transversal característico de los accesos hacia las plataformas requeridas para la construcción de los apoyos del paso elevado. Los caminos de acceso se han diseñado con características geométricas que corresponden a un camino Clase V (Tipo 5), de acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2003, el diseño de las vías de acceso se detalla en el Volumen No 07: "Diseño Estructural"

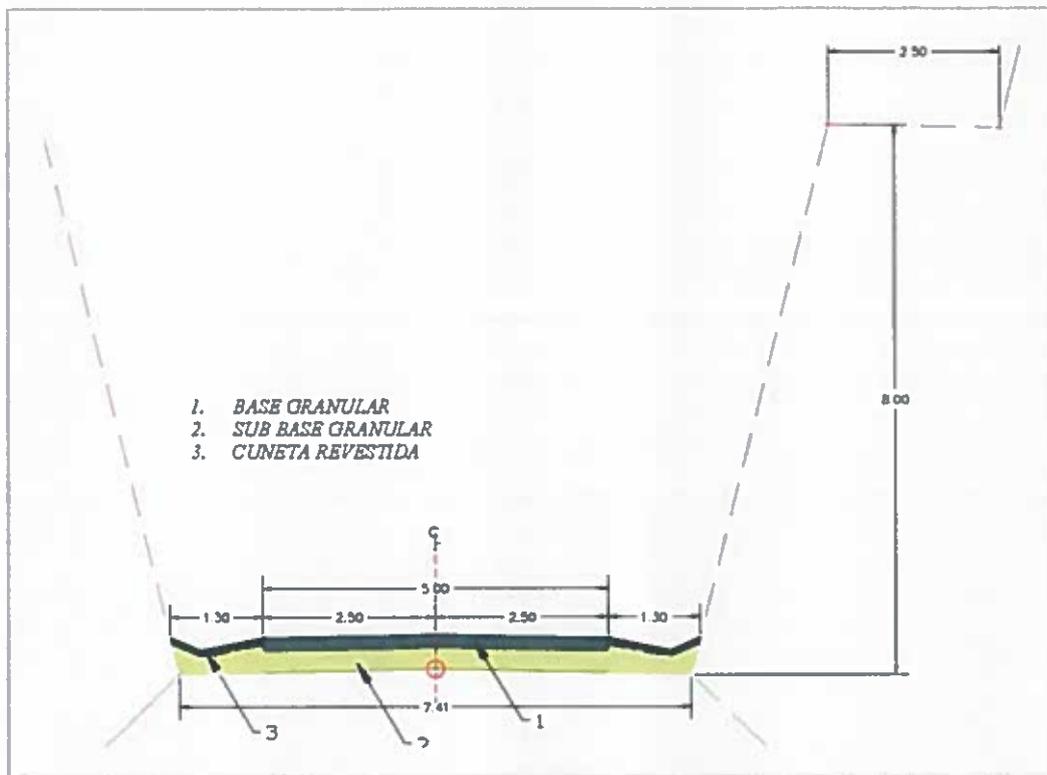


Figura 32: Sección tipo de la vía de acceso hacia la plataforma del paso elevado sobre el río Guayllabamba
Elaboración: INGECONSULT, 2019

El ancho de la calzada es del orden de los 6 m. No se ha previsto un ancho menor, en primer lugar, dadas las características geotécnicas de los suelos que corta la vía y, en segundo término, tomando en cuenta el tamaño de los vehículos que transportarán maquinaria pesada hasta las plataformas donde se construirán los apoyos y se llevará a cabo el lanzamiento de la estructura de los pasos elevados.

En la Figura 33, sobre la topografía escala 1:1000 se presenta la implantación del sifón de cruce de la conducción con el río Guayllabamba. Para identificar los componentes del sifón de cruce se ha asignado el color verde al tramo de aproximación; el color amarillo, al tramo descendente; el color rojo, al cruce aéreo propiamente dicho y el color negro, al tramo ascendente del sifón.

En la Figura 34, se muestra el perfil longitudinal del sifón de cruce sobre el río Guayllabamba, incluyendo la ubicación de anclajes, válvulas de desagüe y válvulas de aire con sus respectivas cámaras

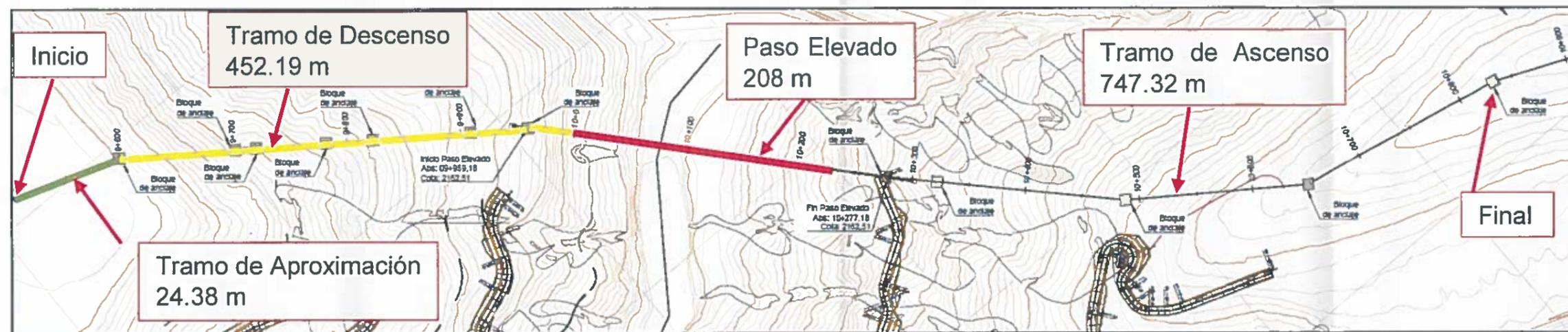


Figura 33: Implantación de la LC Puembo- Calderón para el Cruce del río Guayllabamba
Elaboración: INGECONSULT, 2019

Handwritten signature

Handwritten mark

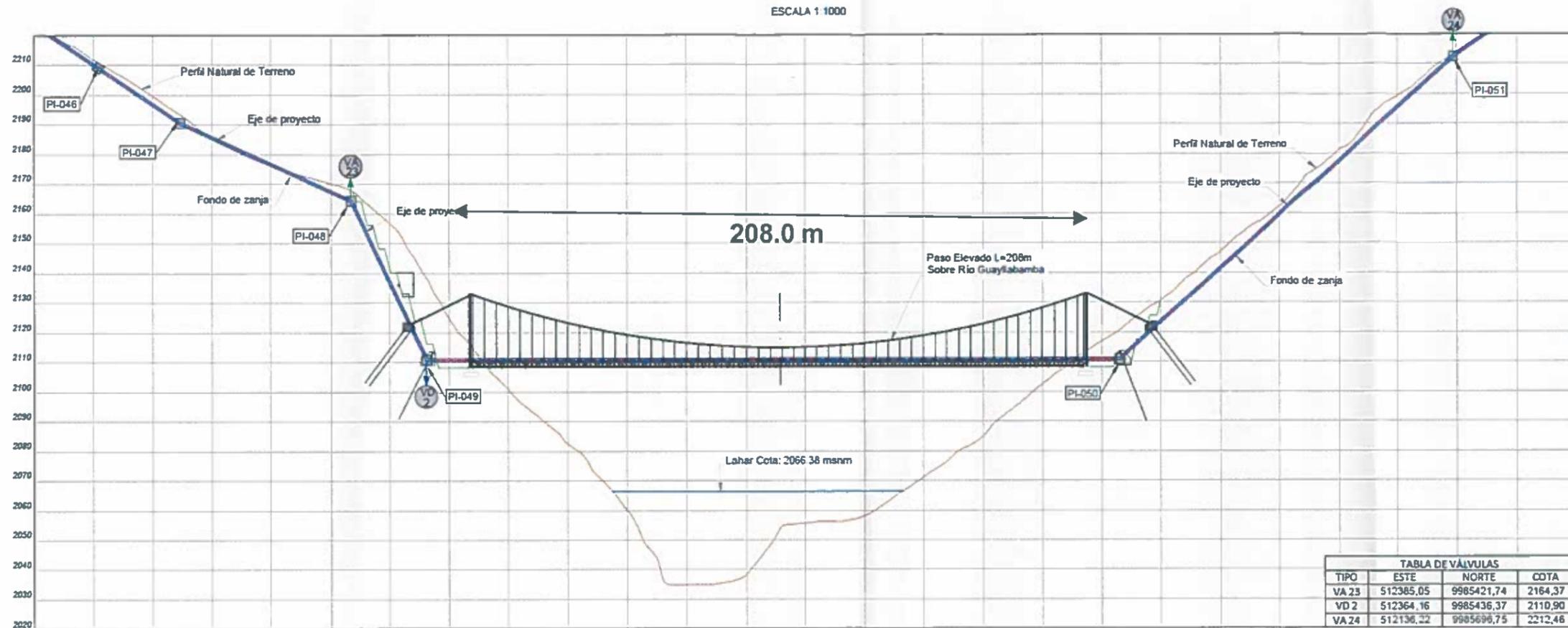


Figura 34: Perfil de la LC Puembo - Calderón para el Cruce del río Guayllabamba

Handwritten signature

Handwritten mark

A lo largo del sifón de cruce con el río Guayllabamba se han ubicado ocho (6) válvulas de aire de triple acción para garantizar un adecuado funcionamiento hidráulico de la conducción, tanto durante operación normal como operaciones extraordinarias; una (1) válvula de desagüe VD2, cuya descripción se presentó anteriormente y catorce (14) anclajes, cuyo diseño se reporta en el volumen No.07 "Diseño Estructural"

Válvulas de aire en el Tramo 2P

Las válvulas de aire en el tramo 2 han sido ubicadas de acuerdo a los criterios indicados en el numeral 5.6 En la tabla siguiente se resume el número y tipo de válvulas de aire previstas en este tramo. Se incluye su ubicación, su carga de presión nominal, el máximo caudal de aire requerido para garantizar la estabilidad de la conducción, en caso del evento catastrófico que corresponde a la rotura de la tubería en el punto de máxima carga.

Tabla 24: Válvulas de aire a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 2

No	Tipo	Absc.	Cota	P. Estática	Vol. Máx. de Aire
			m.s.n.m.	m.c.a.	m ³ /s
VA 22	Triple Acción	9+715.37	2374.1	734.81	13.14
VA 23	Triple Acción	10+046.86	2164.4	944.51	23.26
VA 24	Triple Acción	10+418.83	2212.5	896.42	15.24
VA 25	Triple Acción	10+578.19	2319.9	788.98	13.19
VA 26	Triple Acción	10+974.34	2384.0	724.90	4.69
VA 27	Triple Acción	11+256.95	2408.4	700.46	5.54
VA 28	Triple Acción	11+691.84	2433.3	675.59	4.63
VA 29	Triple Acción	11+965.66	2460.2	648.66	5.63
VA 30	Triple Acción	12+164.09	2467.6	641.33	5.16
VA 31	Triple Acción	12+428.25	2447.9	660.96	5.62
VA 32	Triple Acción	13+163.82	2506.0	602.89	9.69
VA 33	Triple Acción	13+291.09	2523.7	585.22	7.52
VA 34	Triple Acción	13+341.2	2525.0	583.90	5.21

Elaboración: INGECONSULT, 2019

5.7.3 Línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 3

El tramo 3 de la línea Puembo – Calderón corresponde al que se desarrolla desde la abscisa 13+492.57m punto en el cual inicia el cruce sobre la quebrada Tamauco, y termina en el punto donde la conducción llega al cruce de la vía Panamericana en la abscisa 15+618.46 m, la longitud total del tramo es de 2134.35 m. En la siguiente figura se presenta la implantación del Tramo 3 de la línea Puembo – Calderón.



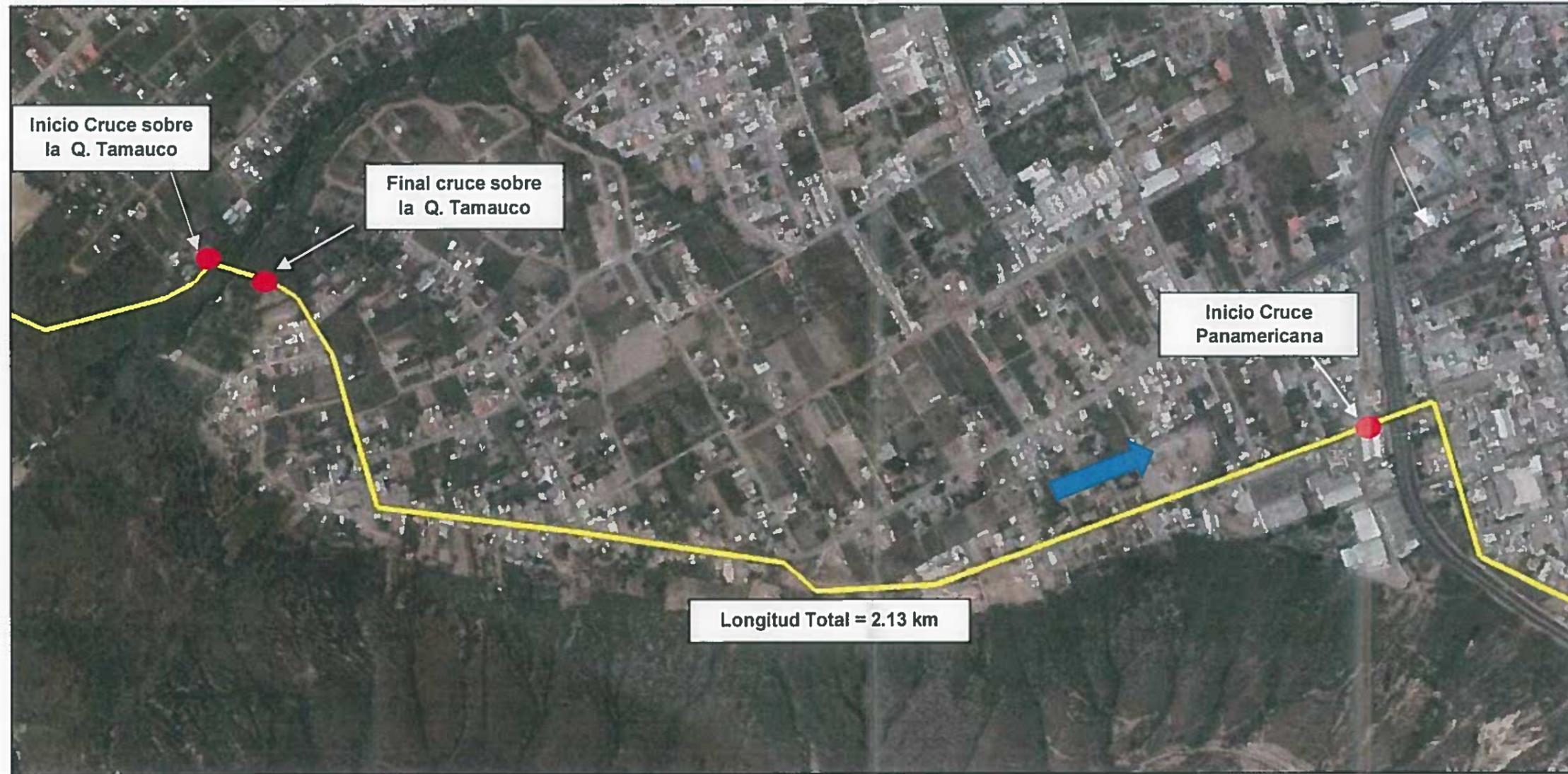


Figura 35. Implantación del Tramo 3 de la conducción Puembo Calderón
Elaboración: INGECONSULT, 2019

mf

P

En la siguiente Tabla se resume la ubicación del cruce aéreo sobre la quebrada Tamauco, en el tramo 3 de la línea Puenbo – Calderón.

Tabla 25: Ubicación de los cruces aéreos de la línea de conducción Puenbo – Calderón – Tramo 2

Cruce aéreo	Conducción Puenbo Calderón							
	Inicio			Final			Cota m.s.n.m.	Longitud m
	Coordenadas		Abscisa	Coordenadas		Abscisa		
	Norte	Este		Norte	Este			
Quebrada Tamauco	9986907.5	509585.137	13+492.57	9988600.3	508863.47	15+618.46	2525.00	86

Elaboración: INGECONSULT, 2019

El cruce aéreo sobre la quebrada Tamauco se inicia en la abscisa 13+492.57 m, y tiene una luz de 86.00 m entre ejes de los apoyos, se desarrolla en la cota 2525 msnm. En este cruce se dispone de una altura de 35.74 m entre el fondo del lecho y la superestructura del cruce, con lo que se garantiza la sección hidráulica suficiente bajo el cruce para que transiten libremente los caudales normales y extraordinarios que se esperan en este tramo de la quebrada Tamauco.

Luego del cruce sobre la quebrada Tamauco la conducción continúa en dirección hacia el nor oeste, ubicándose preferentemente bajo vías o calles públicas a través de los barrios de La Capilla y El Calvario, hasta llegar al tramo de cruce con la vía Panamericana.

Otra particularidad de este tramo es que, en él, no es necesaria la instalación de válvulas de desagüe principales, la totalidad del tramo desarrolla en contrapendiente o de subida, por lo tanto, bajo acción de la gravedad el volumen de agua contenido en la tubería será descargado a través de la válvula principal VD3 ubicada en el tramo dos y descrita anteriormente. Tampoco se requiere válvulas secundarias por las mismas razones ya mencionadas.

A continuación, se describe más detalladamente al cruce sobre la quebrada Tamauco.

Cruce sobre la quebrada Tamauco

El cruce sobre la quebrada Tamauco se realiza siguiendo el trazado previsto de la línea Puenbo – Calderón aguas abajo del sifón de cruce con el río Guayllabamba. El cruce se inicia con un tramo de aproximación cuya longitud es de 24.40 m que inician en la abscisa 13+492.57 y termina en la abscisa 13+516.97 donde empieza el tramo horizontal. El cruce aéreo está conformado por un puente colgante con una luz de 86.00 m. Luego del tramo de aproximación se tiene el paso elevado propiamente dicho 35.74 m por sobre el fondo del cauce de la quebrada, dicho tramo se ubica en la cota 2525.00 msnm., después del paso elevado se considera como tramo de ascenso una longitud de 9.84 m hasta llegar a la cámara de válvula de aire VA36 en la cota 2535.52, este tramo será instalado en zanja abierta.

En la Figura 36 se presenta la implantación del cruce con la quebrada Tamauco sobre la fotografía Google; en la siguiente Figura 37. Se observa la misma implantación por tramos sobre la topografía Esc 1:1000 y en la Figura 38 se presenta la ubicación de los bloques de anclaje en el tramo de cruce sobre la quebrada Tamauco.

A diferencia del cruce sobre el río Guayllabamba, para la construcción y operación del cruce sobre la quebrada Tamauco no es necesaria la construcción de vías de acceso, ya que actualmente se cuenta con caminos carrozables hasta los puntos de interés.





Figura 36. Cruce de la línea de conducción sobre la quebrada Tamauco en la fotografía Google
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

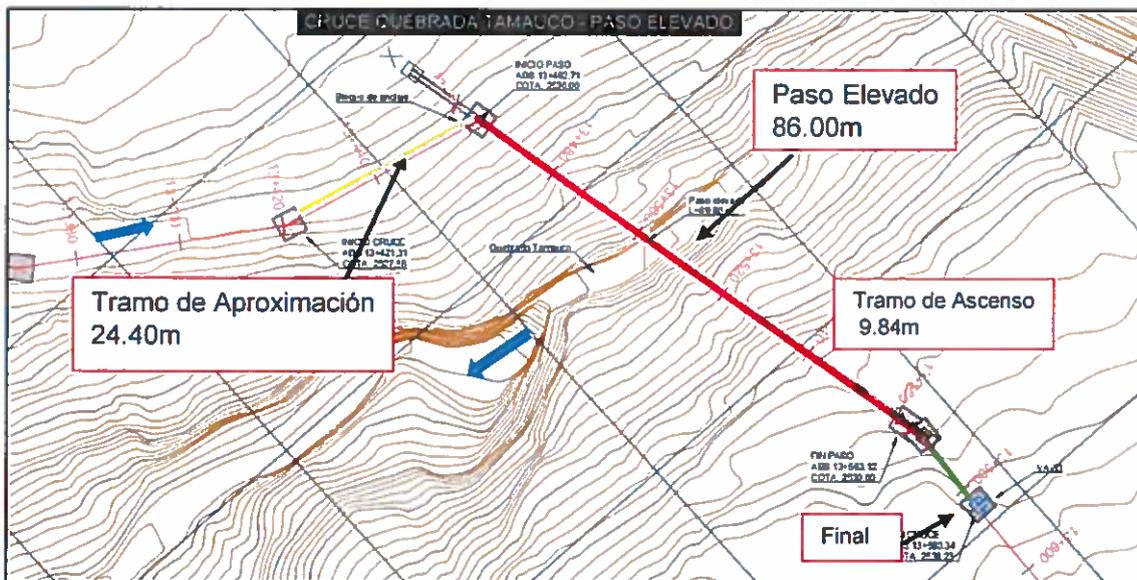


Figura 37: Implantación de la LC Puenbo - Calderón para el Cruce sobre la Qda. Tamauco.
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se detalla la implantación y perfil del paso elevado sobre la quebrada Tamauco.

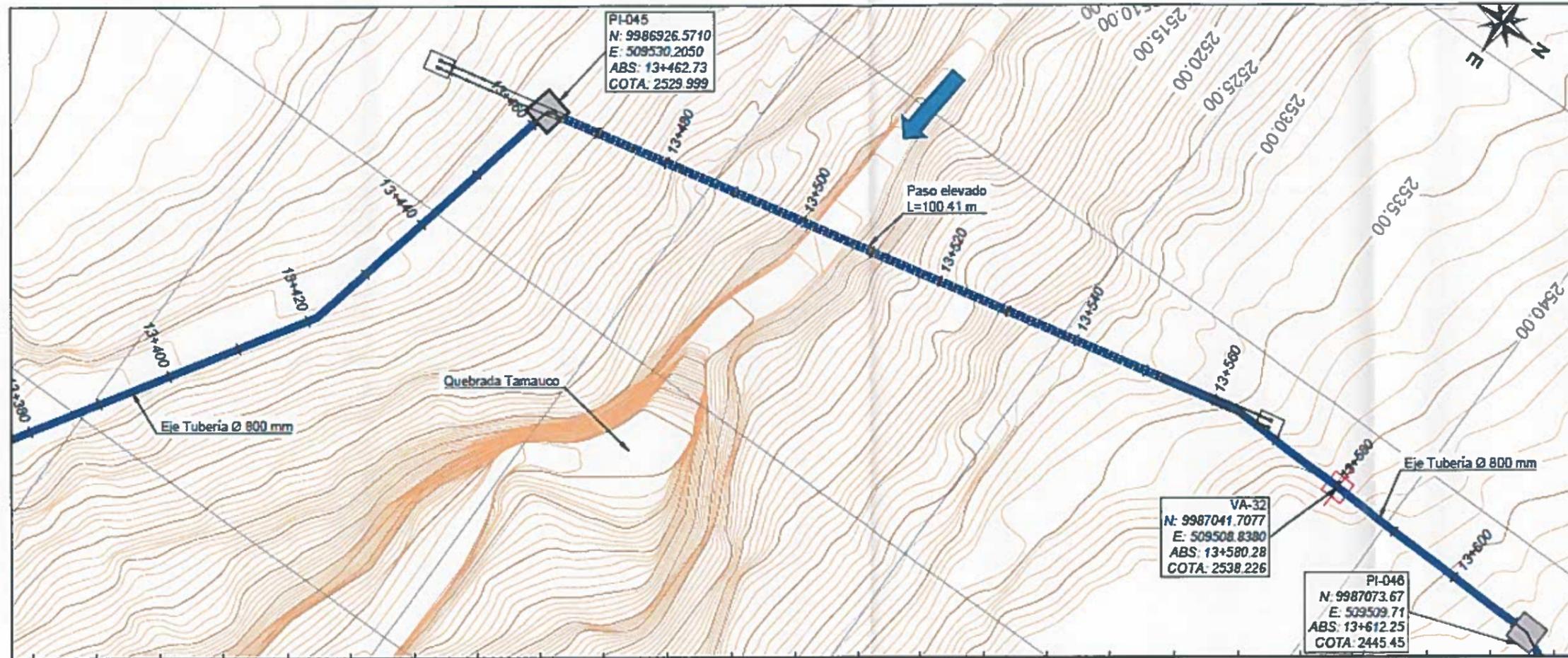


Figura 38: Implantación de la LC Puembo - Calderón para el Cruce de la Qda. Tamauco
Elaboración: INGECONSULT, 2019

[Handwritten signature]
4

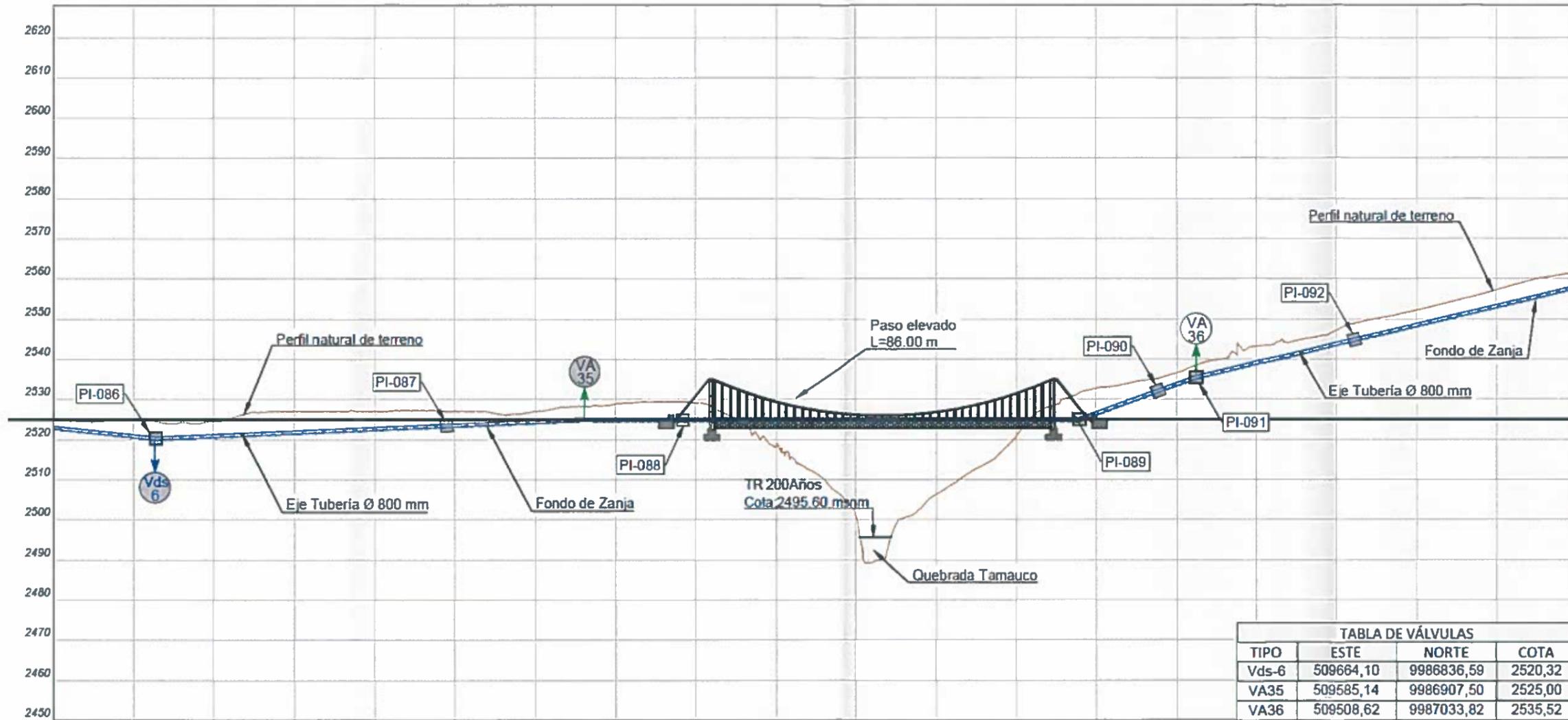


Figura 39: Perfil de la LC Puembo - Calderón para el Cruce de la Qda. Tamauco

Elaboración: INGECONSULT, 2019

[Handwritten signature]

Válvulas de aire en el Tramo 3 de la línea Puembo - Calderón

En este tramo se ubican 5 Válvulas de aire en sus respectivas cámaras, de conformidad con los criterios indicados en el numeral 5.6. En la siguiente tabla se resume la ubicación, carga estática, carga de operación normal, caudal de aire necesario para garantizar la estabilidad de la línea en caso de rotura de la tubería.

Tabla 26: Válvulas de aire a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 3

No	Tipo	Absc.	Cota	P. Estática (mca)	Caudal de Rotura m ³ /s
VA 36	Triple Acción	13+644.77	2535.5	573.36	9.69
VA 37	Triple Acción	14+005.32	2592.1	516.74	7.79
VA 38	Triple Acción	14+636.24	2619.5	489.38	4.88
VA 39	Triple Acción	15+190.19	2646.0	462.88	4.88

Elaboración: INGECONSULT, 2019

En la Figura 15 y en el plano No. H1 se presentan en planta y en perfil la ubicación de las válvulas de aire previstas en el Tramo 3 de la conducción Puembo – Calderón.

5.7.4 Línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 4

El tramo 4 de la línea Puembo – Calderón se desarrolla con una longitud de 10099.18m., empezando en la intersección de la línea Puembo calderón con la vía Panamericana, hasta la descarga en la PTAP Calderón. En este tramo la implantación de la conducción atraviesa zonas consolidadas como los barrios Aguirre, Albornoz, Zavala, Bellavista, Cristo Rey y Vista Hermosa, ubicándose siempre bajo vías o calles. En la siguiente figura se presenta sobre la fotografía google la implantación del Tramo 4 de la línea Puembo – Calderón.

En este tramo se tienen dos cruces importantes, el primer es salvar la intersección entre la línea de transmisión Puembo Calderón y la vía Panamericana, luego del cruce bajo la vía Panamericana Norte la línea continua hasta el sitio del tanque de llegada previo al ingreso hacia el reservorio de la PTAP Calderón, que se ubica en la cota 2877.49 msnm, pero antes existe un segundo cruce con infraestructura existente en este caso el OCP (oleoducto de crudos pesados). Ambos cruces se detallan particularmente más adelante en este mismo documento.



Figura 40. Implantación del Tramo 4 de la línea Puembo Calderón
Elaboración: INGECONSULT, 2019

Handwritten signature

Handwritten mark

En la Figura 15 y en los planos No. H1 y H2 del Anexo de Planos se presenta la implantación y el perfil de la conducción de la línea Puembo Calderón.

Cruce bajo la Panamericana Norte

En la Figura 41 se presenta la implantación del cruce de la vía Panamericana Norte sobre la fotografía Google.



Figura 41. Implantación del cruce bajo la vía Panamericana Norte en la conducción Puembo Calderón

Elaboración: INGECONSULT, 2019

El cruce bajo la vía Panamericana plantea el mínimo de afectación al tráfico vehicular como premisa, para lo cual se recomienda la instalación de la tubería mediante un proceso de perforación horizontal, para el cual se necesitará la construcción de un pozo de entrada y salida a cada lado de la vía, mediante un procedimiento de hincado se instala una camisa guía conformada por tubería de acero de 1000 mm de diámetro se extrae el suelo de dentro de la camisa y se instala la tubería de conducción definitiva. El esquema para la instalación de la tubería se muestra en la Tabla 27 El cruce empieza en la abscisa 15+618.46 m como una continuación del trazado de la línea sin ninguna estructura especial, y termina en la abscisa 15+662.00, y tiene una longitud de 43.55 m En la siguiente Figura 42 y en el plano No. H110 se presentan las principales características del cruce de la conducción bajo la Panamericana Norte propuesto a nivel de Diseño Definitivo.

Tabla 27: Ubicación del cruce bajo la Vía Panamericana de la línea de conducción Puembo - Calderón - Tramo 4

Cruce	Conducción Puembo Calderón							
	Inicio			Final			Cota msnm	Longitud m
	Coordenadas		Abscisa	Coordenadas		Abscisa		
	Norte	Este		Norte	Este			
Panamericana	9988600.40	508863.48	15+618.46	9988627.01	508831.57	15+660.00	2657.94	43.55

Elaboración: INGECONSULT, 2019

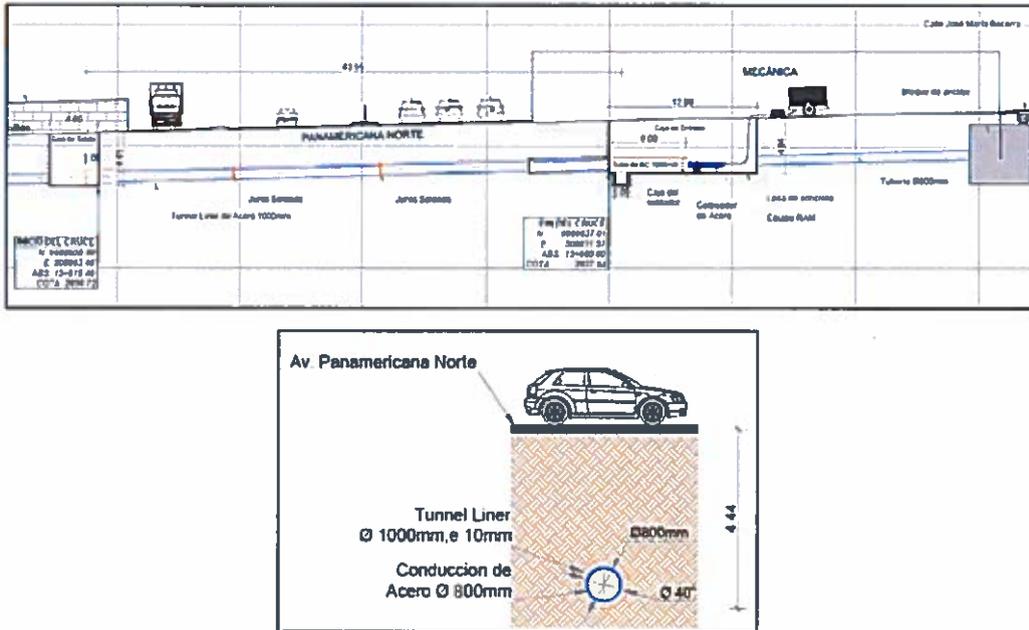


Figura 42: a) Perfil del cruce de la línea Puembo Calderón para la Vía Panamericana en el tramo 3, b) sección del cruce para la vía panamericana norte.

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Cruce con el OCP

La conducción en el ramal Puembo Calderón se cruza con el OCP (Oleoducto de Crudos Pesado) en la abscisa 24+189.92 aproximadamente 1.5 km antes de llegar al reservorio de la PTAP Calderón. De conformidad con las disposiciones dadas por el personal técnico a cargo del oleoducto, el cruce de la conducción Puembo Calderón se realizará por debajo de la tubería del OCP como se presenta en la siguiente figura.

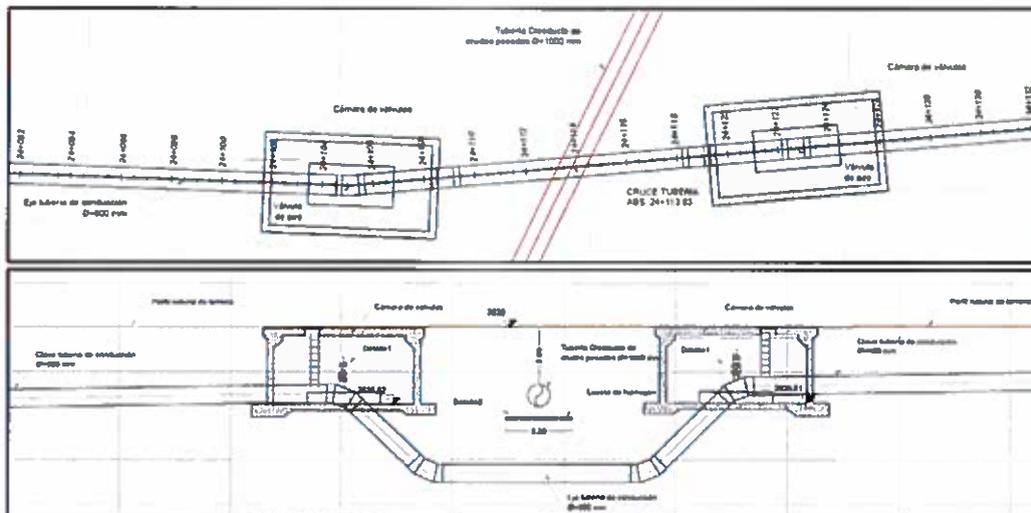


Figura 43. Esquema de la estructura necesaria para salvar la intersección de la conducción Puembo calderón con el OCP

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Cámara de Descarga previa al Tanque de Carga de la PTAP de Calderón

El ramal Pueumbo Calderón entregará el agua cruda en una cámara de descarga que se ubicará junto al reservorio de la PTAP de Calderón. La estructura prevista para la entrega del caudal a esta cámara incluye una tobera perforada para la disipación de la energía cinética, garantizando así una descarga en condiciones adecuadas hacia el reservorio de la PTAP. Además, se instala una válvula mariposa de 800 mm. **Nunca se deberá operar esta válvula como elemento de regulación de caudal o como dispositivo de cierre de la línea Pueumbo Calderón**, la válvula únicamente funciona como válvula de guardia para el sistema de descarga hacia la PTAP Calderón, solo se podrá cerrar dicha válvula cuando se haya cerrado el sistema Pueumbo Calderón desde la Derivadora 1.

La siguiente figura presenta un esquema en planta y perfil de la cámara de descarga previa al tanque de reserva de la PTAP de Calderón. La siguiente figura presenta un esquema en planta y perfil de la cámara de descarga previa al tanque de reserva de la PTAP de Calderón.

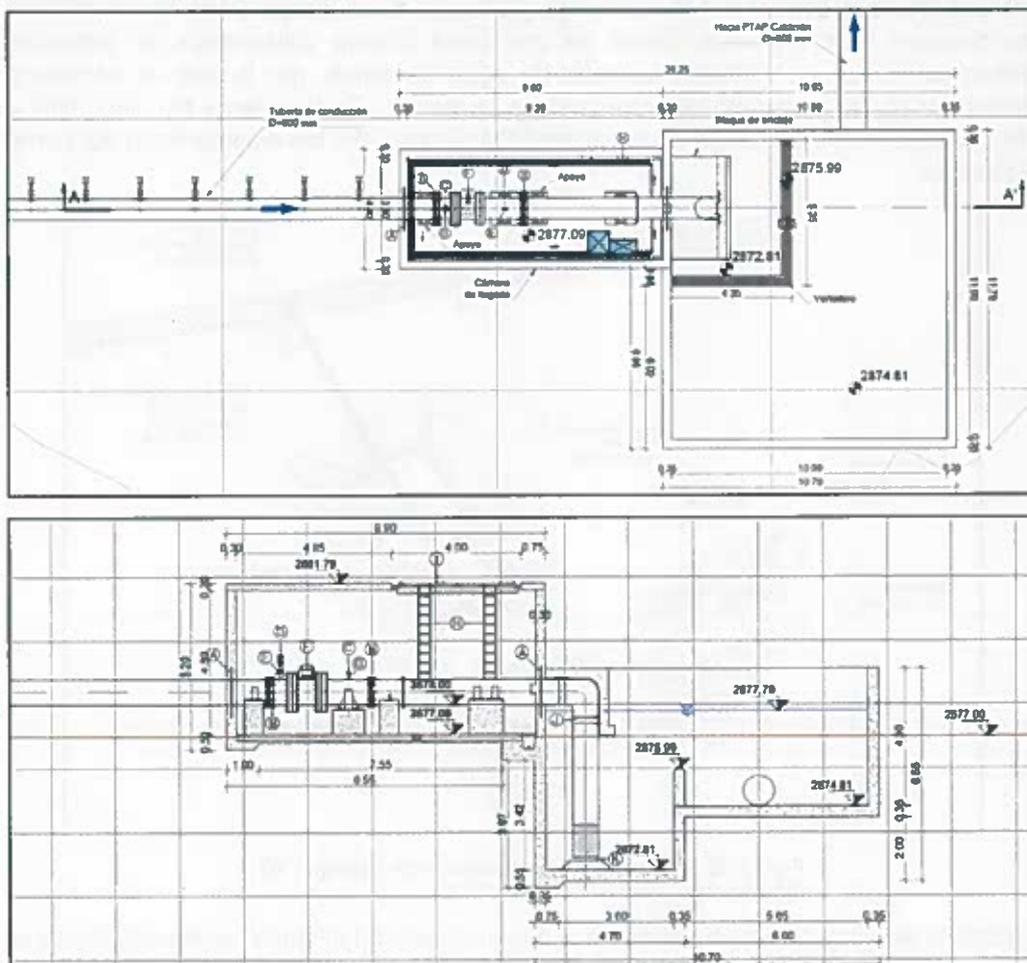


Figura 44. Esquema de la cámara de descarga de la conducción Pueumbo Calderón hacia la PTAP Calderón

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Válvulas de Desagüe Tramo 4

En el tramo 4 de la línea Puenbo Calderón se ha ubicado una (1) válvula de Desagüe principal VD4 y 1 válvula de desagüe secundaria, además 18 válvulas de aire con sus respectivas cámaras.

La válvula de disipación VD4, al igual que en los casos anteriores, es de tipo multichorro acodada, de 200 mm de diámetro. Se ubica en la abscisa 20+547.22, en la cota 278129.78 m.s.n.m. De acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Puenbo – Calderón, la válvula VD4 deberá descargar un volumen total de 2781.27 m³ y será la primera que entre en operación dentro del programa de vaciado de la tubería. La carga estática en el punto de derivación para la válvula VD4 con respecto al nivel del Tanque de la Recuperadora en Paluguillo es de 378.90 mca y la carga de operación normal, para el inicio del vaciado es decir cuando el sistema Puenbo Calderón se halle cerrado, es de 147.71 m.c.a. respecto al punto más alto, que, bajo las condiciones descritas, es la PTAP Calderón. El caudal de descarga es de 200 l/s y la velocidad de descarga de 6.37 m/s por lo que se ha dispuesto el tanque de disipación de energía residual con sus estructuras de descarga y entrega de caudales. Dado que la cámara de desagüe VD4 se ubica dentro de una zona urbana consolidada es imposible descargar hacia quebradas o cuerpos de agua cercanos, por lo que es necesario descargar hacia el sistema de alcantarillado existente. En los planos No. H61, H62 y H63 se presenta la descarga de la válvula VD4 al pozo 488 del alcantarillado del barrio Bellavista.

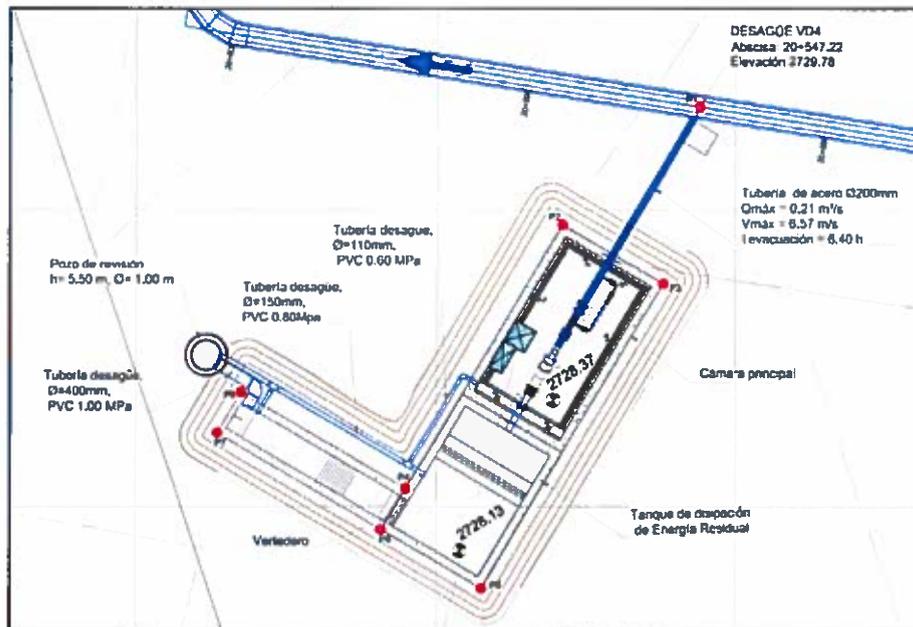


Figura 45. Implantación de la cámara de desagüe VD-4
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

La cresta del vertedero de perfil sobre el que se descarga el caudal evacuado desde el tanque de disipación de energía residual se ubica en la cota 2730.13 msnm. Al pie de este vertedero se dispone de un cuenco de disipación de energía en la cota 2728.27 msnm desde el que se inicia el colector que finalmente entrega el caudal al pozo del sistema de alcantarillado. En la siguiente figura se presenta un corte longitudinal de la

descarga desde el tanque de disipación de energía residual hasta el pozo del alcantarillado existente.

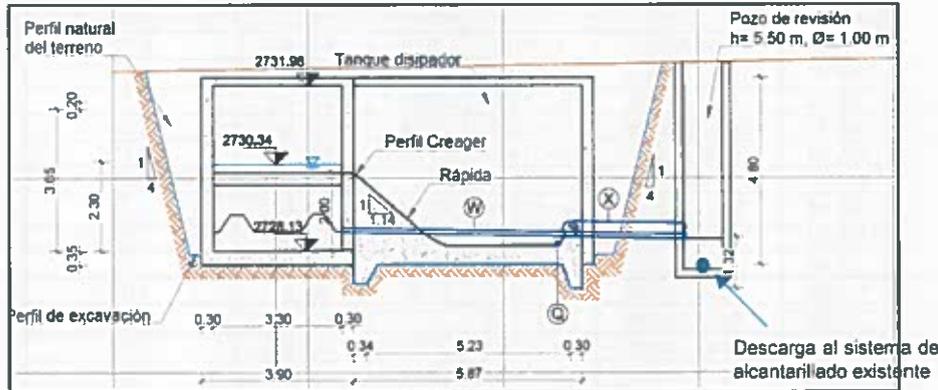


Figura 46. Corte de la cámara desagüe VD-4

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Para completar el vaciado en este tramo a más de la descarga a través de la válvula VD4 principal será necesario el complemento de una válvula de desagüe secundaria a la que se la ha denominado Vds7.

Vsd7

La válvula de desagüe y disipación de energía secundaria Vsd7 se ubica en la abscisa 19+764.372 en la cota 2751.00 m.s.n.m, en las coordenadas 510278.99 E y 9991974.47 N, de acuerdo al plan de operación para el vaciado del sistema Pueumbo - Calderón, esta deberá descargar un volumen total de 249 m³. La carga estática en el punto de derivación respecto a la Pileta de la central Recuperadora en Paluguillo es de 357.68 mca y la carga de operación normal es de 18.69 mca. Se ha previsto una derivación de diámetro interno de 200 mm hacia el desagüe Vds7, el cual está provisto de una válvula de guardia tipo bola acodada en el mismo diámetro. El caudal de descarga previsto es de 50 l/s y la velocidad de descarga aguas abajo de energía es de 1.64 m/s.

Para disipar la energía residual se ha previsto que la descarga sea sumergida, la sumergencia se consigue gracias a un tanque provisto de un vertedero a la salida con cresta en la cota 2751.33 msnm, que garantiza el nivel requerido de agua, dentro de dicho tanque se instala una pantalla en L invertida en la cual impactará el flujo de descarga para producir la turbulencia necesaria para la disipación de la energía remanente.

Al igual que las cámaras anteriores, la cámara de desagüe Vsd7 se ubica dentro de una zona urbana consolidada por lo que resulta imposible descargar hacia quebradas o cuerpos de agua cercanos, por lo que se entrega el caudal al pozo del sistema de alcantarillado N° 641, la implantación y cortes de la cámara de válvula de desagüe y disipación de energía Vds2, en los planos No. H86, H87, H88.

Válvulas de aire en el Tramo 4

A lo largo del tramo 4 de la línea de transmisión Pueumbo Calderón se han dispuesto 18 válvulas de aire con el objetivo de garantizar la buena operación y perdurabilidad del sistema, la determinación del caudal de flujo de aire se realiza de acuerdo a los criterios expuestos en el acápite 5.6 del presente documento. A continuación, se indica las válvulas necesarias en el tramo 4.

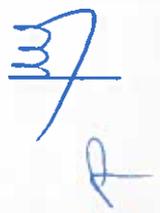


Tabla 28: Válvulas de aire a lo largo de la línea de conducción Puembo Calderón – Tramo 3

No	Tipo	Absc.	Cota		Vol. Máx. de Aire
			m.s.n.m.	m.c.a.	
VA 40	Triple Acción	15+691.8	2659.4	449.49	2.62
VA 41	Triple Acción	16+200.37	2669.3	439.55	5.03
VA 42	Triple Acción	16+510.75	2683.4	425.48	5.03
VA 43	Triple Acción	17+565.6	2728.5	380.41	4.29
VA 44	Triple Acción	18+014.82	2739.1	369.79	2.50
VA 45	Triple Acción	19+306.49	2781.4	327.49	5.63
VA 46	Triple Acción	19+573.54	2798.0	310.92	8.21
VA 47	Triple Acción	20+174.41	2760.3	348.56	7.08
VA 48	Triple Acción	21+035.81	2740.1	368.82	2.60
VA 49	Triple Acción	21+559.77	2742.1	366.81	3.00
VA 50	Triple Acción	22+572.38	2771.7	337.19	3.35
VA 51	Triple Acción	23+281.75	2788.3	320.58	3.62
VA 52	Triple Acción	23+926.85	2819.6	289.26	3.62
VA 53	Triple Acción	24+182.32	2827.2	281.68	16.06
VA 54	Triple Acción	24+198.82	2828.1	280.75	16.06
VA 55	Triple Acción	24+603.47	2840.8	268.10	3.68
VA 56	Triple Acción	25+043.92	2859.4	249.53	3.68
VA 57	Triple Acción	25+391.29	2870.8	238.04	2.92
VA 58	Triple Acción	25+694.63	2878.4	230.49	4.08

Elaboración: INGECONSULT, 2019

En la Figura 15 y en el plano No. H1 se presenta la ubicación de las válvulas de desagüe y de las válvulas de aire en el tramo 4 de la conducción Puembo – Calderón.

6. MODELACIÓN HIDRÁULICA CON FLUJO PERMANENTE DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN PUEMBO-CALDERÓN

El análisis hidráulico bajo régimen permanente de la línea de conducción del ramal Puembo – Calderón, se realizó con la aplicación del software HAMMER V8i (que incluye el análisis de transitorios)¹³. Este es un paquete computacional que realiza simulaciones en condiciones permanente y en período extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en líneas de transmisión y redes de distribución a presión. Las ecuaciones básicas del algoritmo que utiliza este paquete computacional corresponden a la conservación de la masa y del momentum.

El software ofrece algunas ecuaciones para la evaluación de las pérdidas de fricción en la tubería, entre las que se ha seleccionado a la ecuación de Darcy-Weisbach. De igual manera, HAMMER V8i es capaz de evaluar las pérdidas localizadas a lo largo de los tramos de tubería simulados y adicionalmente incluye una base de datos que incorpora valores recomendados para rugosidades absolutas de una gran gama de materiales, así como valores de coeficientes de pérdida local para un gran número de accesorios. De manera particular HAMMER V8i permite modelar diferentes tipos de válvulas de regulación, válvulas de retención, válvulas de aislamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal, considera la posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos, puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente con el nivel de agua en el tanque.

13 HAMMER V8i Bajo Usuario: 1005209434

6.1 Escenarios de Diseño y Operación considerados

Los escenarios de diseño y de operación considerados en el dimensionamiento de la línea de conducción hasta etapa de diseño definitivo corresponden a los seis presentados en el numeral 4.2 del presente documento.

Con el objetivo de conocer las presiones de trabajo a las que estará sometida la tubería tanto durante eventos ordinarios como extraordinarios, se ha realizado la modelación numérica unidimensional del flujo con una serie de caudales que corresponden al escenario de diseño como a los cinco (5) escenarios de operación tanto en régimen permanente como en régimen no permanente. Se ha considerado el diámetro interno de la tubería con el valor definido en la etapa de prefactibilidad que corresponde a 800 mm.

La modelación numérica del flujo en la línea de conducción Puembo – Calderón ha sido realizada considerándola como un elemento del sistema Paluguillo – Bellavista. Se han incluido en la simulación el efecto de los accesorios y válvulas de regulación de caudales con sus respectivos coeficientes de pérdida, de conformidad con el grado de apertura y/o cierre correspondiente. De igual manera, se ha representado las derivaciones hacia las PTAP's de Bellavista y de Puengasí hasta la ubicación de los respectivos elementos de regulación que se han ubicado al inicio de estas derivaciones, como se describe con mayor detalle en el siguiente numeral.

Los resultados de la simulación numérica del flujo con los diferentes escenarios de operación, entre los que se incluye el escenario de interconexión, permitirán obtener los rangos de velocidades y de cargas piezométricas que se esperan en la línea de conducción para las diferentes etapas de operación, considerando siempre que el flujo se desarrolla en régimen permanente, manteniendo los criterios y bases de diseño planteadas en este documento.

6.2 Representación de la Línea de conducción en el modelo numérico

Para la modelación numérica de la línea de conducción Puembo– Calderón, se identifican claramente dos 2 tramos de interés que son L1 y L5 (sin obviar los resultados obtenidos para los tramos L2, L3 y L4) que se presentan gráficamente en la figura a continuación.

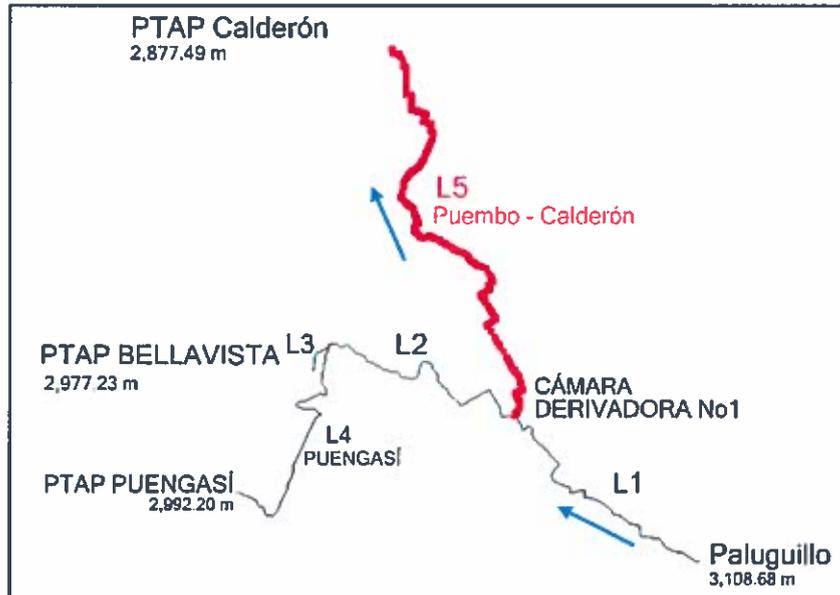


Figura 47. Esquema general del sistema Paluguillo Puembo Calderón
 Elaboración: INGECONSULT, 2019

Adicionalmente en el esquema se incluye la Cámara Derivadora No. 1, que regula el caudal hacia la línea Puembo - Calderón. Para efectos de la simulación se han colocado en estos puntos, los respectivos coeficientes de descarga de las válvulas de regulación previstos para la línea Puembo - Calderón, lo que permite simular adecuadamente los distintos escenarios de operación y de interconexión definidos. La figura anterior corresponde al esquema de la línea de conducción del ramal Puembo Calderón que ha sido representado en el modelo numérico dentro del sistema total Paluguillo - Bellavista.

Para las alternativas analizadas se han denominado los tramos siguiendo la secuencia de diseño. Las características principales del sistema se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 29: Tramos de modelación en LC Paluguillo - Puembo - Calderón - Bellavista - Puengasí

TRAMOS	NOMBRE	ABSCISAS m	Longitud km	Diámetro mm	Qd l/s
L1	Paluguillo - Puembo	0+ 000.00 - 14+617.03	14.6	1400	4300
L2	Puembo - derivadora 2	14+617.03 - 27+906.74	14.7	1300	3000
L3	Derivadora 2 - Bellavista	27+906.74 - 29+542.77	1.6	700	1500
L4	Derivadora 2 - Puengasí	0+ 000.00 - 42+468.28	42.5	1300	1500
L5	Puembo - Calderón	0+ 000.00 - 25+699.98	25.9	800	1300

Elaboración: INGECONSULT, 2019

1. L1 corresponde al tramo entre el tanque de Paluguillo y el punto de derivación hacia la PTAP de Calderón (Der 1) que se ubica en el sector conocido como la Y de Puembo;
2. Ramal Puembo - Calderón L5 corresponde al tramo entre La cámara Derivadora No.1 hacia la PTAP de Calderón.

3. L2 corresponde al tramo entre la cámara derivadora No. 1 y la cámara Derivadora No. 2, en donde la conducción se bifurca, hacia la PTAP de Bellavista (Izq 1) y la PTAP Puengasí (Der 2).
4. L3 corresponde al tramo entre la Cámara Derivadora 2 y el tanque de la PTAP Bellavista;
5. L4 corresponde al tramo entre la Cámara Derivadora 2 y el tanque de almacenamiento de agua cruda de la PTAP Puengasí.

En la presente fase del estudio se ha realizado la simulación incluyendo todos los ramales del sistema Paluguillo – Bellavista de conformidad con los caudales definidos para cada escenario analizado.

6.3 Parámetros de entrada adoptados para la simulación numérica de la línea de conducción

La modelación numérica con HAMMER V8i se realiza en el tramo inicial de la Línea de Transmisión de agua cruda Paluguillo - Bellavista designado con el nombre L1 hasta la cámara de Derivación No. 1 continuando con el ramal Puembo – Calderón L5. Se consideran las cotas de la superficie libre en los tanques de inicio del sistema (Paluguillo) y de llegada en el reservorio de la PTAP en Calderón. Las longitudes de los tramos respectivos, diámetros internos y caudales de diseño se resumen en la Tabla 29. En esta fase de Diseño Definitivo del proyecto se ha actualizado la simulación de flujo permanente del sistema considerando los ajustes en el trazado y la verdadera longitud de la línea, así como la estimación de pérdidas localizadas y nuevos escenarios de operación del sistema en la línea.

Tabla 30: Elevación de los tanques de almacenamiento y de la derivadora No. 1 para el ramal Puembo Calderón

Elevaciones		
Reservorio/Derivación	Conducción	Unidades
Recuperadora Paluguillo	3108,68	msnm
Derivación No. 1	2418,71	msnm
PTAP Calderón	2877,49	msnm

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Para la consideración de las pérdidas por fricción se selecciona la ecuación de Darcy-Weisbach, por ser la que mejor representa el efecto combinado de la viscosidad y de la rugosidad relativa tanto para el flujo turbulento como para el flujo en transición. Se adopta un valor de rugosidad absoluta $e = 0.12 \text{ mm}$ para el tubo de acero con revestimiento interno de conformidad con la normativa vigente para el diseño de conducciones de agua, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31: Coeficientes de rugosidad absoluta (Fórmula de Darcy - Weisbach)¹⁴

Coeficientes de Rugosidad Absoluta- Fórmula de Darcy- Weisbach		
Clase de Tubería Y Revestimiento Interno	Coeficiente e (mm)	
	Factibilidad líneas expresas	Diseño detallado líneas expresas
PVC	0,12	0,06
Polietileno de alta densidad	0,12	0,06
GRP (fibra de vidrio)	0,12	0,06
Acero con revestimiento interno coal-tar, en-amel o epoxi	0,12	0,06
CCP (Concrete cylinder pipe)	0,24	0,12
Hierro dúctil y acero con revestimiento interno en mortero de cemento	0,24	0,12

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Se han estimado los coeficientes de pérdida local en función de las características geométricas y de operación de los accesorios previstos a lo largo del trazado de la línea de conducción Puembo – Calderón; se incluyen cambios de dirección, derivaciones para los tramos donde se instalarán las válvulas de desagüe, válvulas de regulación de caudales considerando los respectivos porcentajes de apertura y/o cierre, válvulas de guardia que operarán totalmente abiertas en condiciones normales, la determinación de dichos coeficientes se presenta en el Anexo 06.c "Memoria de cálculo hidráulico", en el volumen 6 – "Diseño hidráulico"

Los valores de coeficientes de pérdida local adoptados para el escenario de diseño en las cámaras de derivación y regulación de caudales (válvulas de regulación y de guardia totalmente abiertas) se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 32: Coeficientes de pérdida local dentro de la cámara Derivadora No.1 para el ramal Puembo Calderón

Pérdida local		K	Referencias ¹⁵
Coefficiente de Pérdida Local por Bifurcación no Simétrica a 45°	ramal principal derivación hacia PTAP Calderón	1,35	Diagrama 7-15 (I. E. Idelchik)
Coefficiente de Pérdida Local por Reducción	Ramal Puembo Calderón – de 1.4 m a 0.8 m	0,18	Sotelo - Tabla 8.5
Coefficiente de Pérdida Local por Cambio de dirección 30°	Ramal Puembo Calderón – antes de la válvula	0,16	Diagrama 6 -5 (I. E. Idelchik)
Coefficiente de Pérdida Local por Válvula de Mariposa (Guardia)	totalmente abierta	0,2	F. (8 21) pg. 307 Sotelo Ávila
	parcialmente abierta	18,7	Tabla 8.13 pg 306 Sotelo Ávila
Coeficiente de Descarga		Cv	Referencias
Coefficiente de Pérdida Local por Válvula de Aguja/émbolo (regulación)	Totalmente abierta	1,59	Informe : Diseño Definitivo de Transmisión Paluguillo - Bellavista (Etapa 3: Informe Final)

Elaboración: INGECONSULT, 2019

¹⁴ Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EPMAPS, primera edición, Quito 2008

¹⁵ Sotelo A., Gilberto. Hidráulica General Volumen 1 ed. Limusa S.A. 1997

Los resultados de cada simulación se reportan en diferentes puntos de interés dentro del ramal L5, es decir entre la salida de la cámara derivadora 1 y la llegada a la cámara de descarga previa la entrega en el reservorio de la PTAP Calderón, los mismos que se detallan en la siguiente Tabla.

Tabla 33: Puntos de interés en el tramo L5, entre la cámara Derivadora No. 1 y la PTAP Calderón

Punto	Descripción	Abscisa (m)	Cota (msnm)
Derivadora 1	Salida de la cámara	0+000 00	2418.70
VA6	Puembo	1+376.9	2423.89
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7+449.54	2362.53
VD1	Válvula de Desagüe 1	8+106.38	2341.25
VA 21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9+691.12	2376.56
VD-2	Válvula de Desagüe 2	10+072.35	2110.90
C52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10+738.54	2363.83
VD3	Válvula de Desagüe 3	12+608.45	2429.66
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13+492.57	2525.00
VA46	Punto alto en la conducción	19+573.54	2797.96
VD4	Válvula de Desagüe 4	20+547.22	2729.78
VA58	Próximo a la PTAP	25+694.63	2878.39
PTAP Calderón	PTAP	25+699.98	2877.49

Elaboración: INGECONSULT, 2019

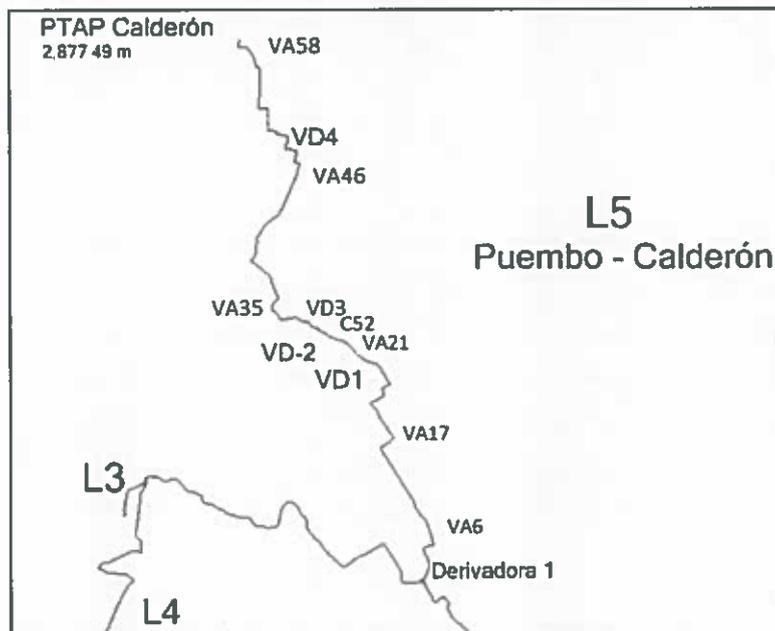


Figura 48. Ubicación en planta de los puntos de interés en el ramal Puembo Calderón
Elaboración: INGECONSULT, 2019



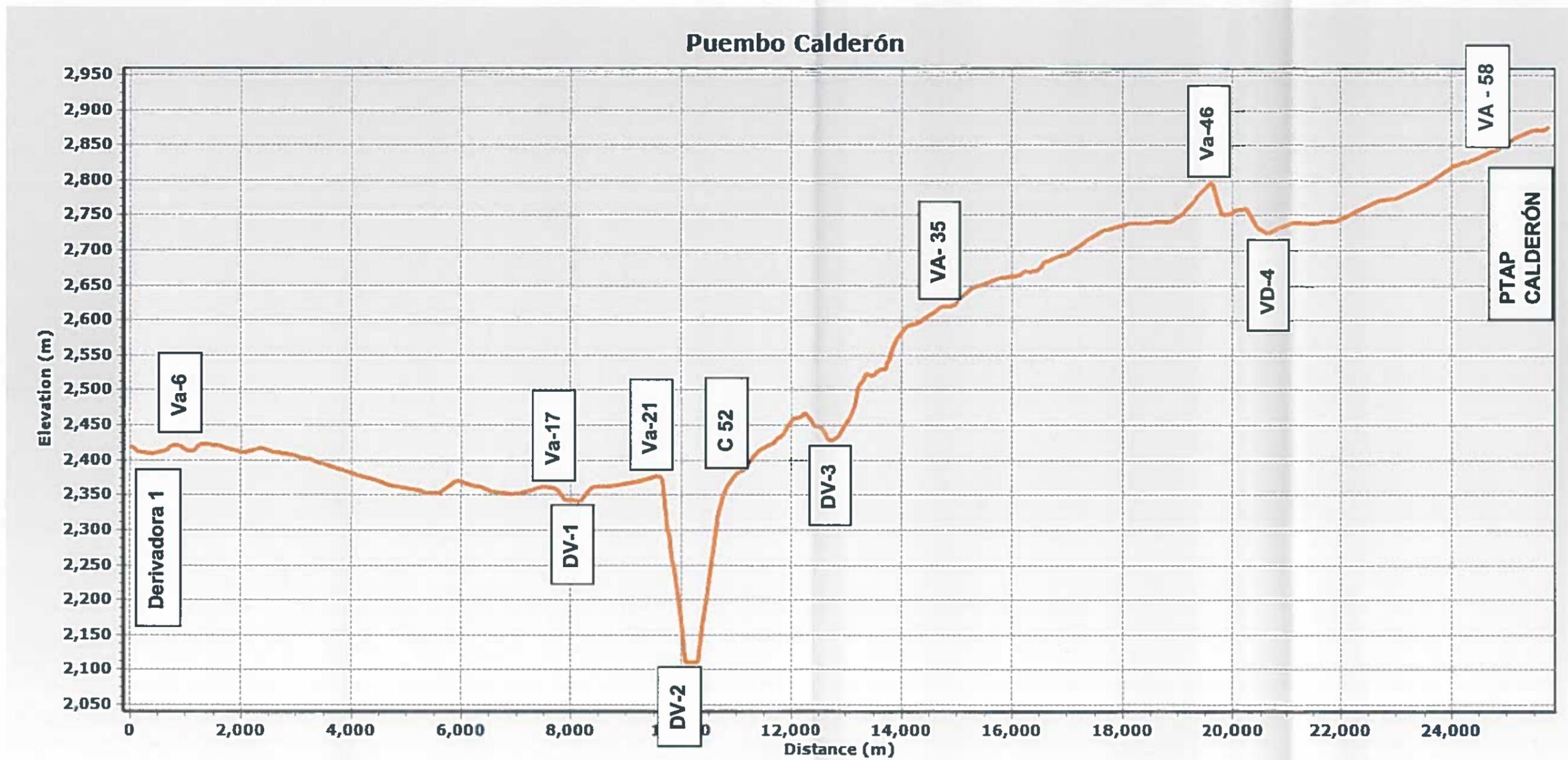


Figura 49. Ubicación en planta de los puntos de interés en el ramal Puembo Calderón

Elaboración: INGECONSULT, 2019



6.4 Resultados de la modelación numérica en flujo permanente

- i. **Escenario No. 1:** Escenario de Operación. El caudal de operación de la línea de conducción es solamente el 50 % del caudal de diseño establecido para la PTAP de Calderón (650 l/s), se conduce a través del Tramo L1 hasta la Derivación 1, y de ahí se continúa por el Ramal Puembo - Calderón hacia la PTAP Calderón.

Tabla 34: Distribución de caudales para el escenario 1

Escenario No. 1		
Tramo	Caudal (l/s)	Longitud (km)
L1 (Paluguillo – Cámara Derivadora No. 1)	650	14,61
Ramal Puembo – Calderón	650	25,92

Elaboración: INGECONSULT, 2019

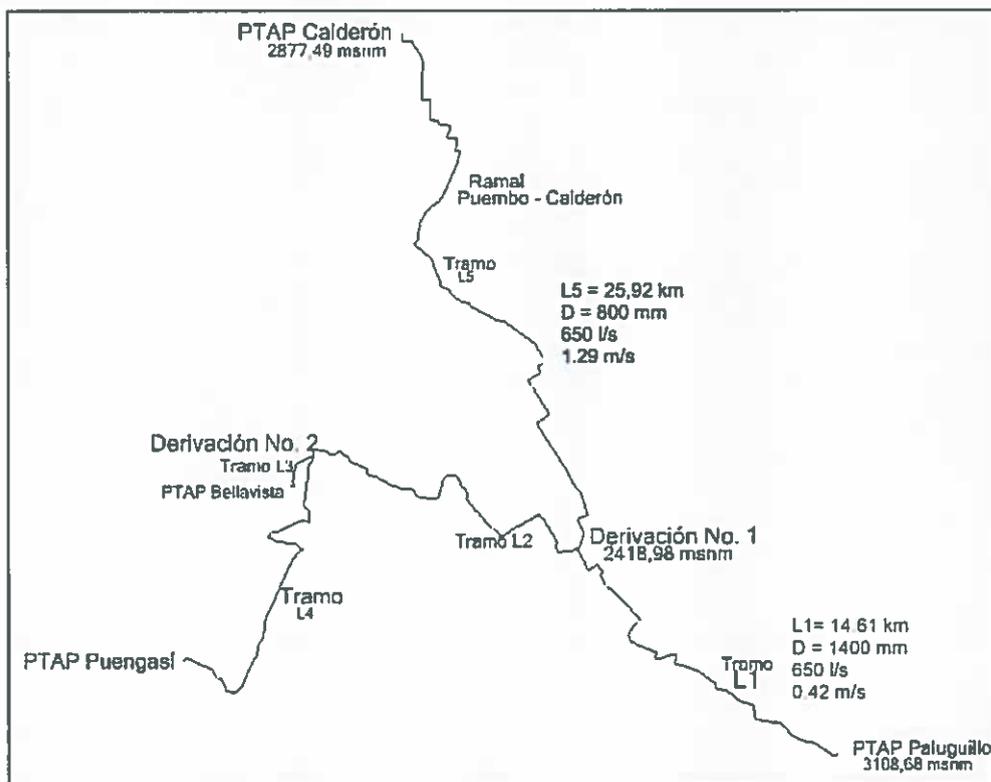


Figura 50. Esquema general de operación para el Escenario 1

Elaboración: INGECONSULT, 2019



Tabla 35: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 1

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	E1	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	501.77	2920.47
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	494.12	2918.01
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	545.87	2908.40
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	565.99	2907.24
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	528.11	2904.67
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	792.94	2903.84
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	538.88	2902.71
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	470.07	2899.73
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	373.26	2898.26
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	90.58	2888.54
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	157.08	2886.86
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.32	2878.71
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39

Elaboración: INGECONSULT, 2019

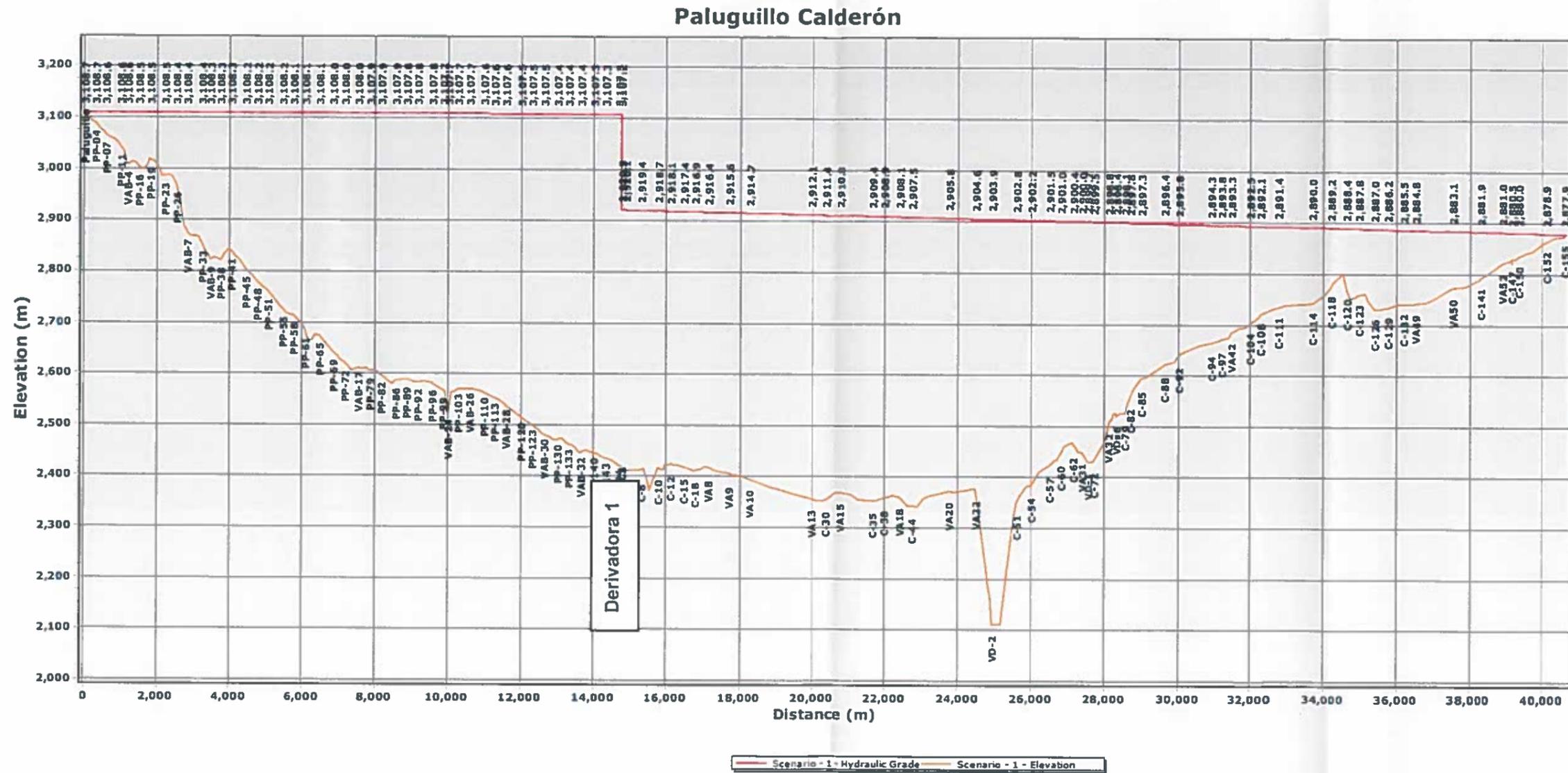
Tabla 36: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 1

Datos Hidráulicos - Válvulas										
Etiqueta	Elevación (msnm)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Coefficiente de descarga 100% abierta	Carga Hidráulica - Entrada (m)	Carga Hidráulica- Salida (m)	Presión de Entrada (mca)	Presión de Salida (mca)	Pérdidas (mca)	
Derv. 1-Calderón	FCV-21	2.418,71	800	650	1,59	3.107,22	2,920.52	688,51	501,81	186.70

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Handwritten signature and initials

Figura 51. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Pueumbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 1



Elaboración: INGECONSULT, 2019



- ii. **Escenario No. 2: Escenario de Operación.** Se considera que adicionalmente al caudal de 50% de la PTAP de Calderón, entra en funcionamiento la ampliación de la PTAP Bellavista con el 50% de su demanda 750 l/s. Los caudales de operación para el escenario II en los tramos de la línea son:

Tabla 37: Distribución de caudales para el escenario 2

Escenario No. 2		
Tramo	Caudal (l/s)	Longitud (km)
L1 (Paluguillo - Cámara Derivadora No. 1)	1400	14.61
Ramal Puenbo - Calderón	650	25.92
L2 Cámara Derivadora 1 - Cámara Derivadora 2	750	14.7
L3 Cámara Derivadora 2 - PTPA Bellavista	750	1.6

Elaboración: INGECONSULT, 2019

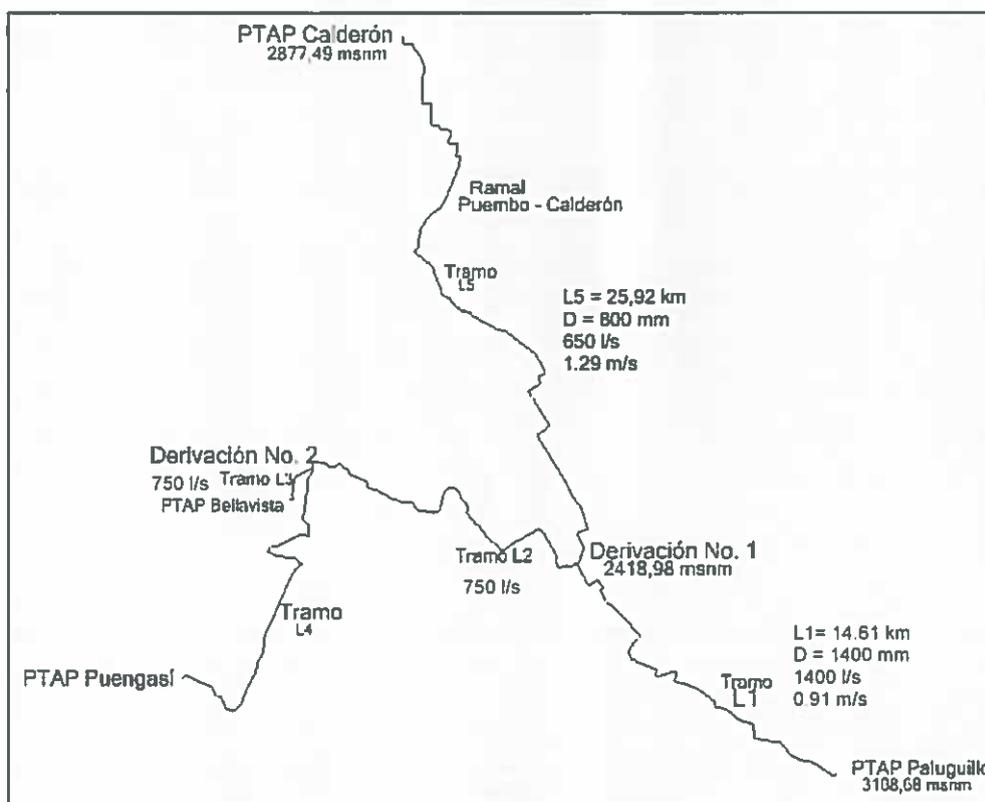


Figura 52. Esquema general de operación para el Escenario 2
 Elaboración: INGECONSULT, 2019




Tabla 38: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 2

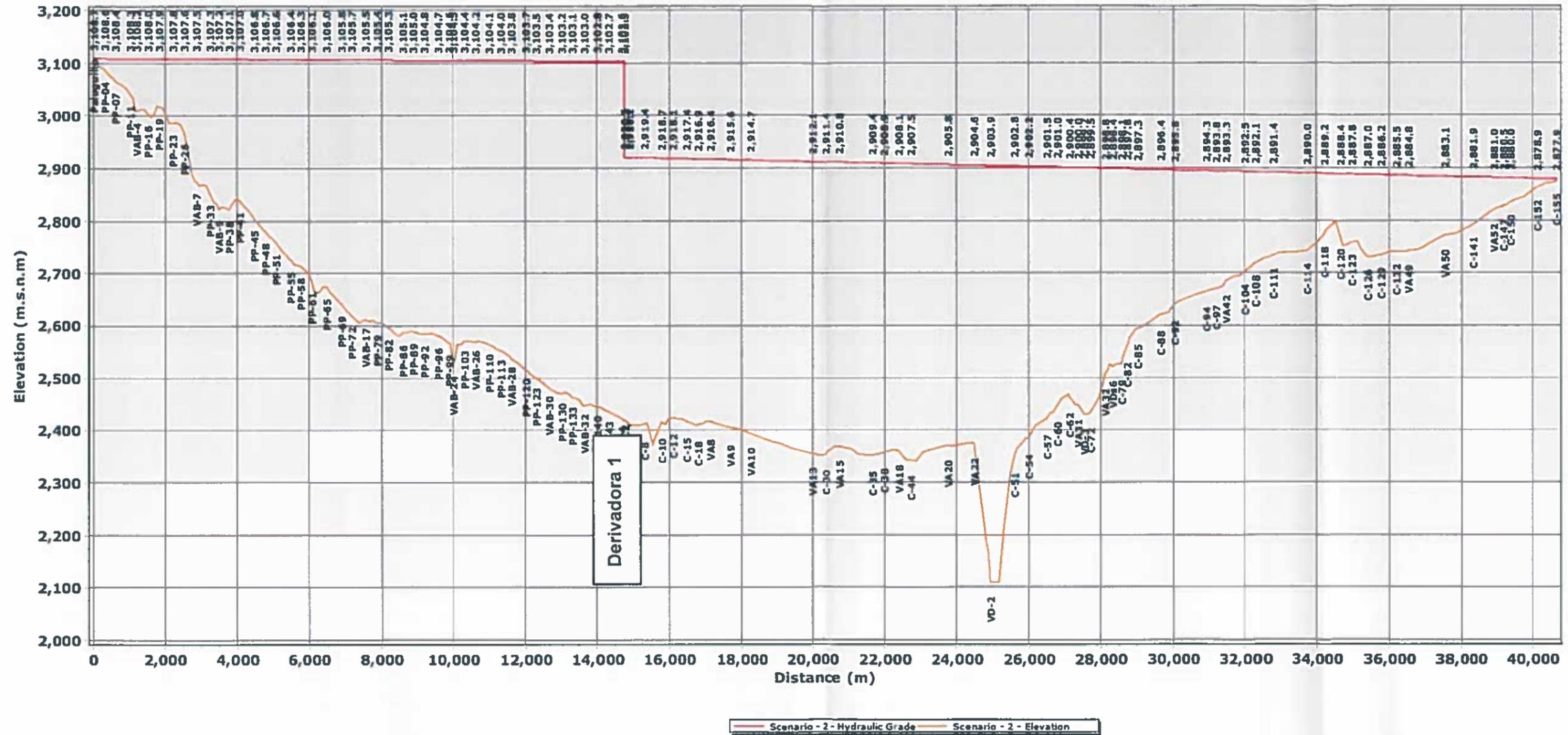
Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	E2	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	501.77	2920.47
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	494.12	2918.01
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	545.87	2908.40
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	565.99	2907.24
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	528.11	2904.67
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	792.94	2903.84
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	538.88	2902.71
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	470.07	2899.73
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	373.26	2898.26
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	90.58	2888.54
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	157.08	2886.86
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.32	2878.71
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Tabla 39: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 2

Datos Hidráulicos - Válvulas										
Etiqueta	Elevación (msnm)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Coefficiente de descarga 100% abierta	Carga Hidráulica - Entrada (m)	Carga Hidráulica - Salida (m)	Presión de Entrada (mca)	Presión de Salida (mca)	Pérdidas (mca)	
Der. 1 - Calderón	FCV-21	2.418,71	800	650	1,59	3.102,49	2.920,52	683,78	501,81	181,97

Figura 53. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Pueumbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 2
Paluguillo Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019



- iii. **Escenario No. 3:** Escenario de Operación. Se espera que la ampliación de la PTAP de Bellavista llegue al 100% del caudal de diseño, es decir 1500 l/s. La ampliación de la PTAP Puengasí aún no se incluye. Los caudales y longitudes de operación para el escenario III en los tramos se presentan a continuación:

Tabla 40: Distribución de caudales para el Escenario 3

Escenario No. 3		
Tramo	Caudal (l/s)	Longitud (km)
L1 (Paluguillo - Cámara Derivadora No. 1)	2150	14.61
Ramal Puembo - Calderón	650	25.92
L2 Cámara Derivadora 1 - Cámara Derivadora 2	1500	14.7
L3 Cámara Derivadora 2 - PTPA Bellavista	1500	1.6

Elaboración: INGECONSULT, 2019

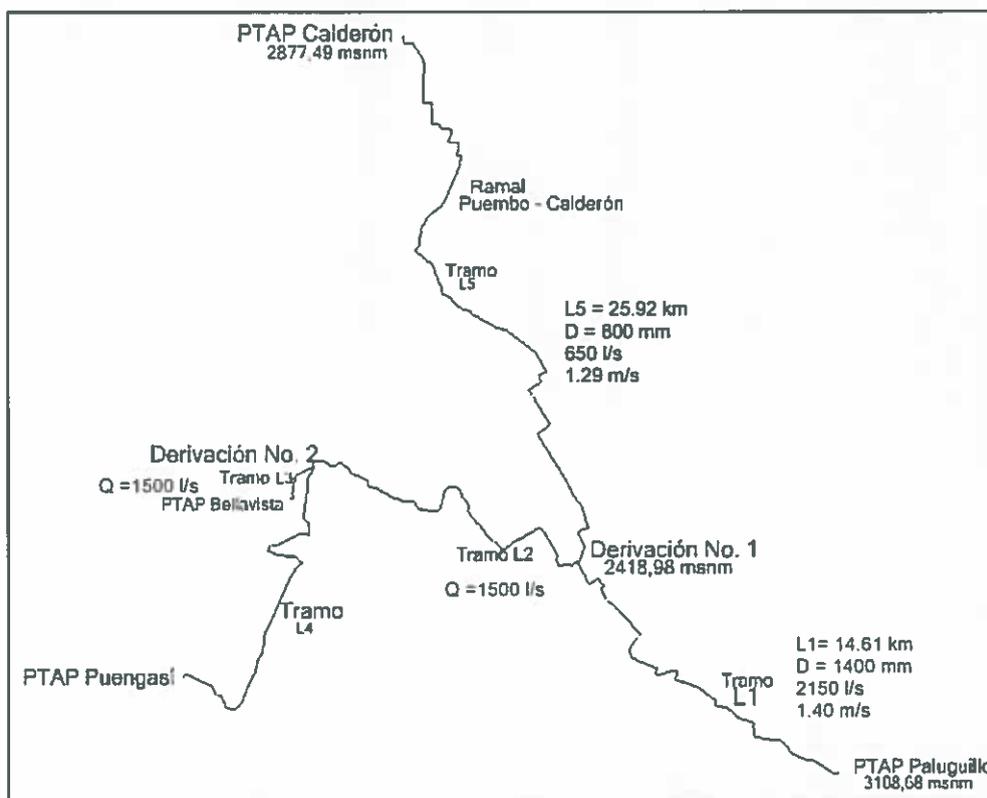


Figura 54. Esquema general de operación para el Escenario 3

Elaboración: INGECONSULT, 2019

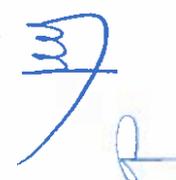


Tabla 41: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 3

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	E3	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	501.77	2920.47
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	494.12	2918.01
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	545.87	2908.40
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	565.99	2907.24
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	528.11	2904.67
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	792.94	2903.84
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	538.88	2902.71
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	470.07	2899.73
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	373.26	2898.26
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	90.58	2888.54
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	157.08	2886.86
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.32	2878.71
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Tabla 42: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 3

Datos Hidráulicos - Válvulas										
Etiqueta	Elevación (msnm)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Coefficiente de descarga 100% abierta	Carga Hidráulica - Entrada (m)	Carga Hidráulica- Salida (m)	Presión de Entrada (mca)	Presión de Salida (mca)	Pérdidas (mca)	
Deriv. 1 – Calderón	FCV-21	2.418,71	800	650	1,59	3,094.54	2,920.52	675.83	501.81	174.3

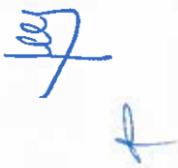
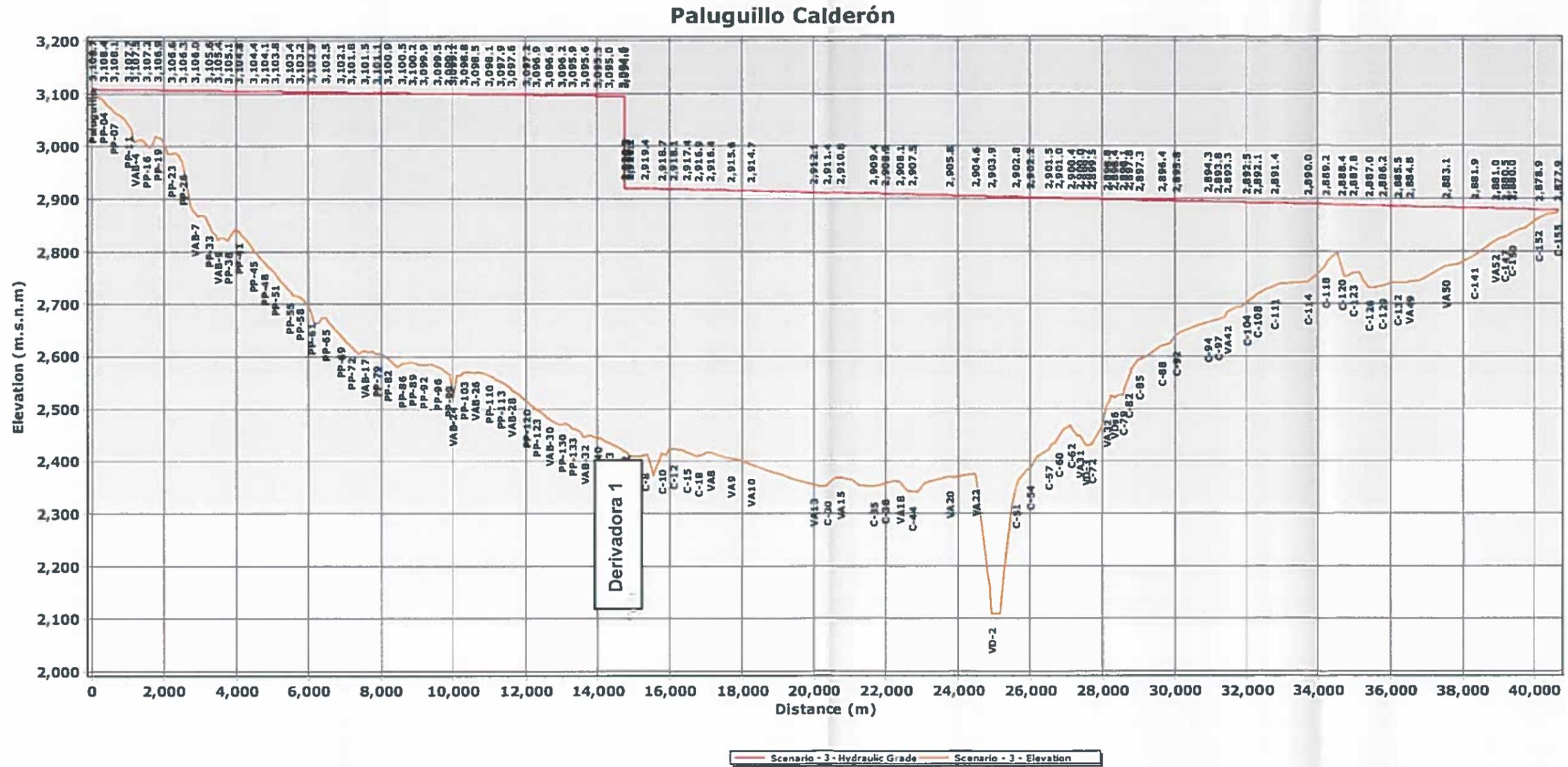


Figura 55. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puebo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 3



Elaboración: INGECONSULT, 2019

Handwritten signature and initials

- iv. **Escenario No. 4:** Escenario de Operación. Se espera que la implementación de la PTAP de Calderón se complete, es decir se conduce 1300 l/s. Las PTAPs Puengasí y Bellavista aún no empiezan operaciones. Los caudales y longitudes de operación para el escenario IV en los tramos se presentan a continuación:

Tabla 43: Distribución de caudales para el Escenario 4

Escenario No. 4		
Tramo	Caudal (l/s)	Longitud (km)
L1 (Paluguillo - Cámara Derivadora No. 1)	1300	14.61
Ramal Puembo - Calderón	1300	25.92

Elaboración: INGECONSULT, 2019

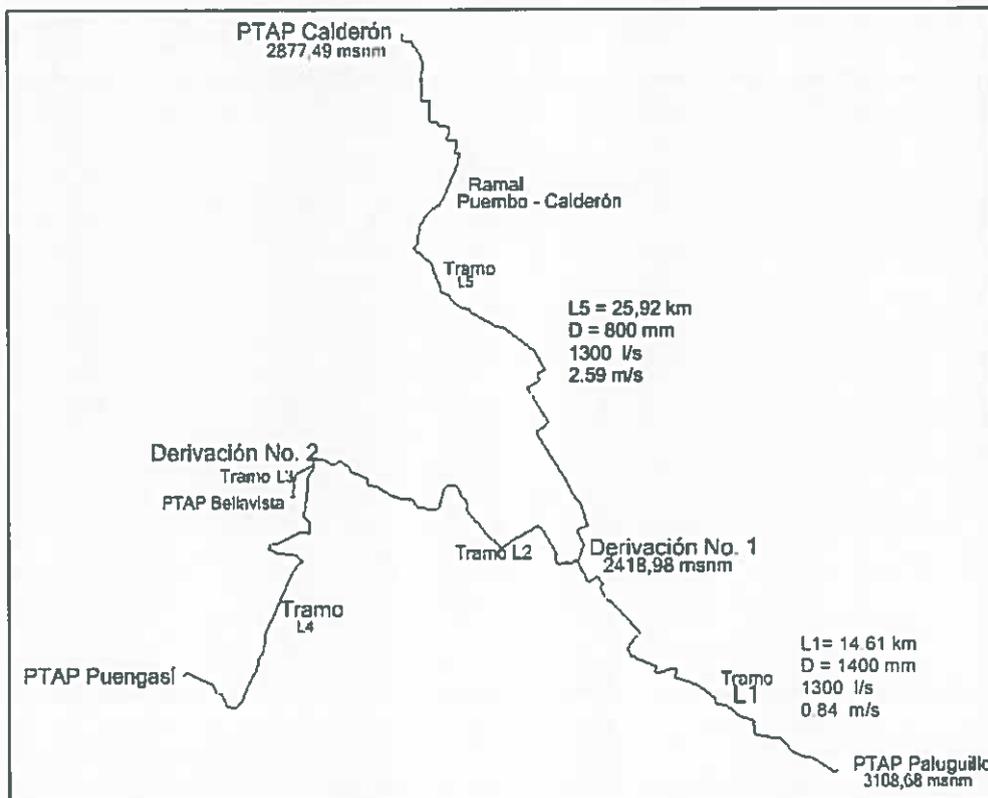


Figura 56. Esquema general de operación para el Escenario 4

Elaboración: INGECONSULT, 2019



Tabla 44: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 4.

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	E4	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	624.20	3042.90
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	609.45	3033.34
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	633.66	2996.19
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	650.50	2991.75
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	605.21	2981.77
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	867.71	2978.61
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	610.41	2974.24
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	533.06	2962.72
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	432.00	2957.00
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	121.48	2919.44
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	183.16	2912.94
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.38	2878.77
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39

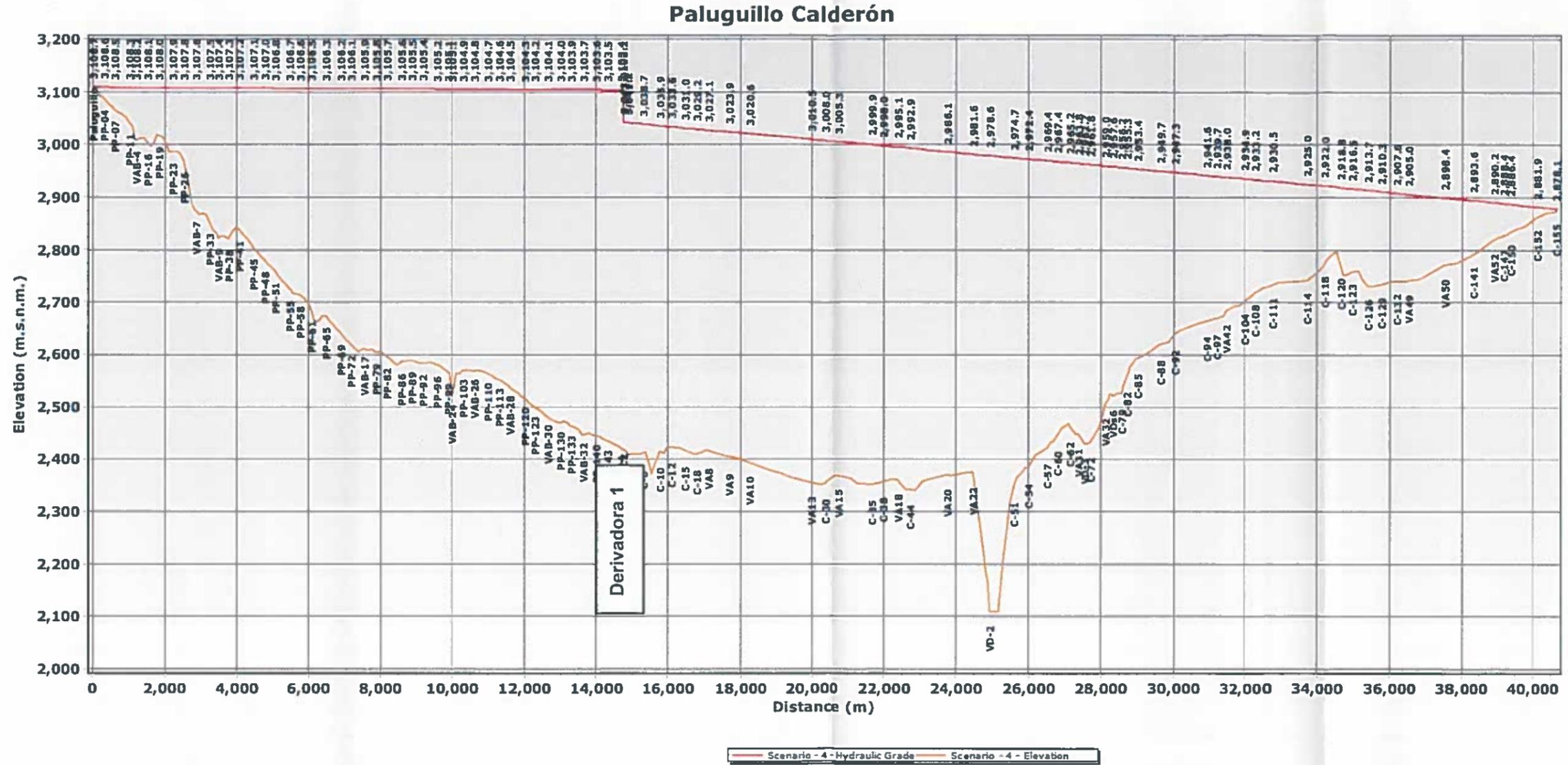
Elaboración: INGECONSULT, 2019

Tabla 45: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 4

Datos Hidráulicos - Válvulas										
Etiqueta		Elevación (msnm)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Coefficiente de descarga 100% abierta	Carga Hidráulica - Entrada (m)	Carga Hidráulica - Salida (m)	Presión de Entrada (mca)	Presión de Salida (mca)	Pérdidas (mca)
Derv. 1 - Calderón	FCV-21	2.418,71	800	1300	1,59	3,103.21	3,043.07	684.50	624.36	60.13

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Figura 57. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puembo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 4



- v. **Escenario No. 5:** Escenario de interconexión. Se plantea en función de que en una primera etapa se construye el ramal Paluguiño y Puembo Calderón, al realizar la interconexión con el sistema Papallacta se puede conducir el caudal de 3000 l/s mediante la interconexión hacia dicho sistema, y el tramo Puembo Calderón empezaría a funcionar con los 650 l/s; es decir el tramo L1 (Paluguiño – Puembo operará con 3650 l/s).

Tabla 46: Distribución de caudales para el escenario 5

Escenario No. 5		
Tramo	Q operación (l/s)	Longitud (km)
L1 (Paluguiño - Cámara Derivadora No. 1)	3650	14,61
Ramal Puembo – Calderón	650	25,92

Elaboración: INGECONSULT, 2019

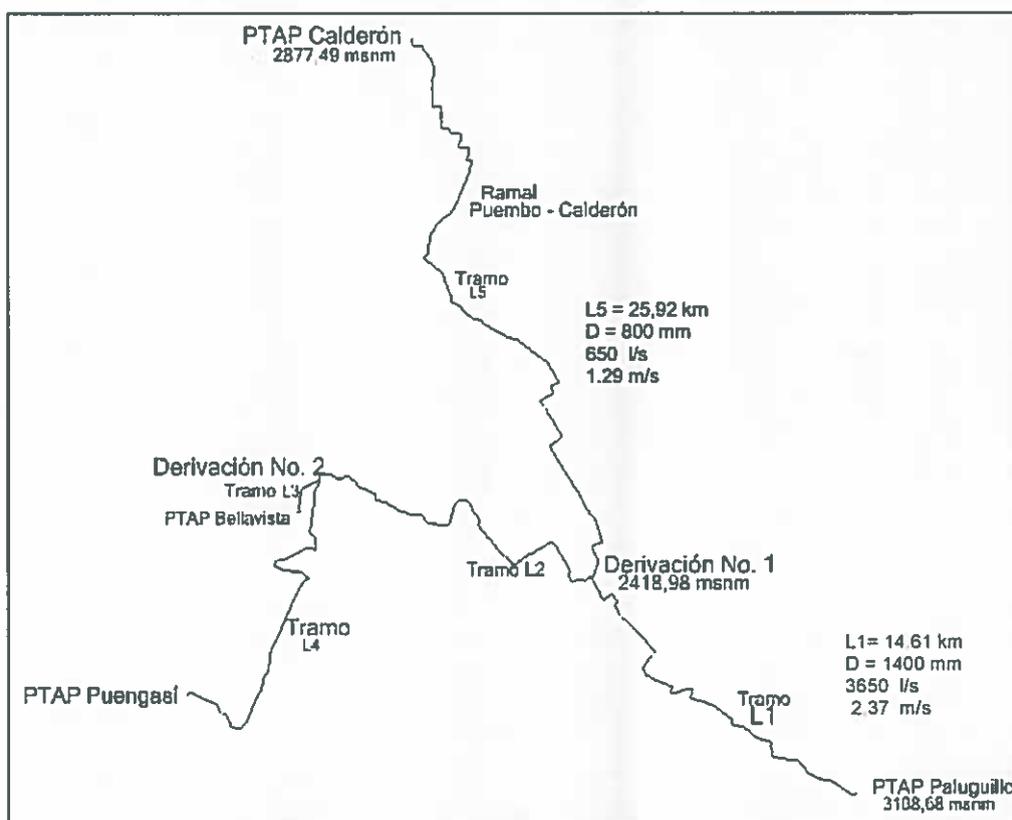


Figura 58. Esquema general de operación para el Escenario 5

Elaboración: INGECONSULT, 2019



Tabla 47: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario 5

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	E5	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	501.77	2920.47
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	494.12	2918.01
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	545.87	2908.40
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	565.99	2907.24
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	528.11	2904.67
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	792.94	2903.84
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	538.88	2902.71
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	470.07	2899.73
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	373.26	2898.26
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	90.58	2888.54
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	157.08	2886.86
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.32	2878.71
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39

Elaboración: INGECONSULT, 2019

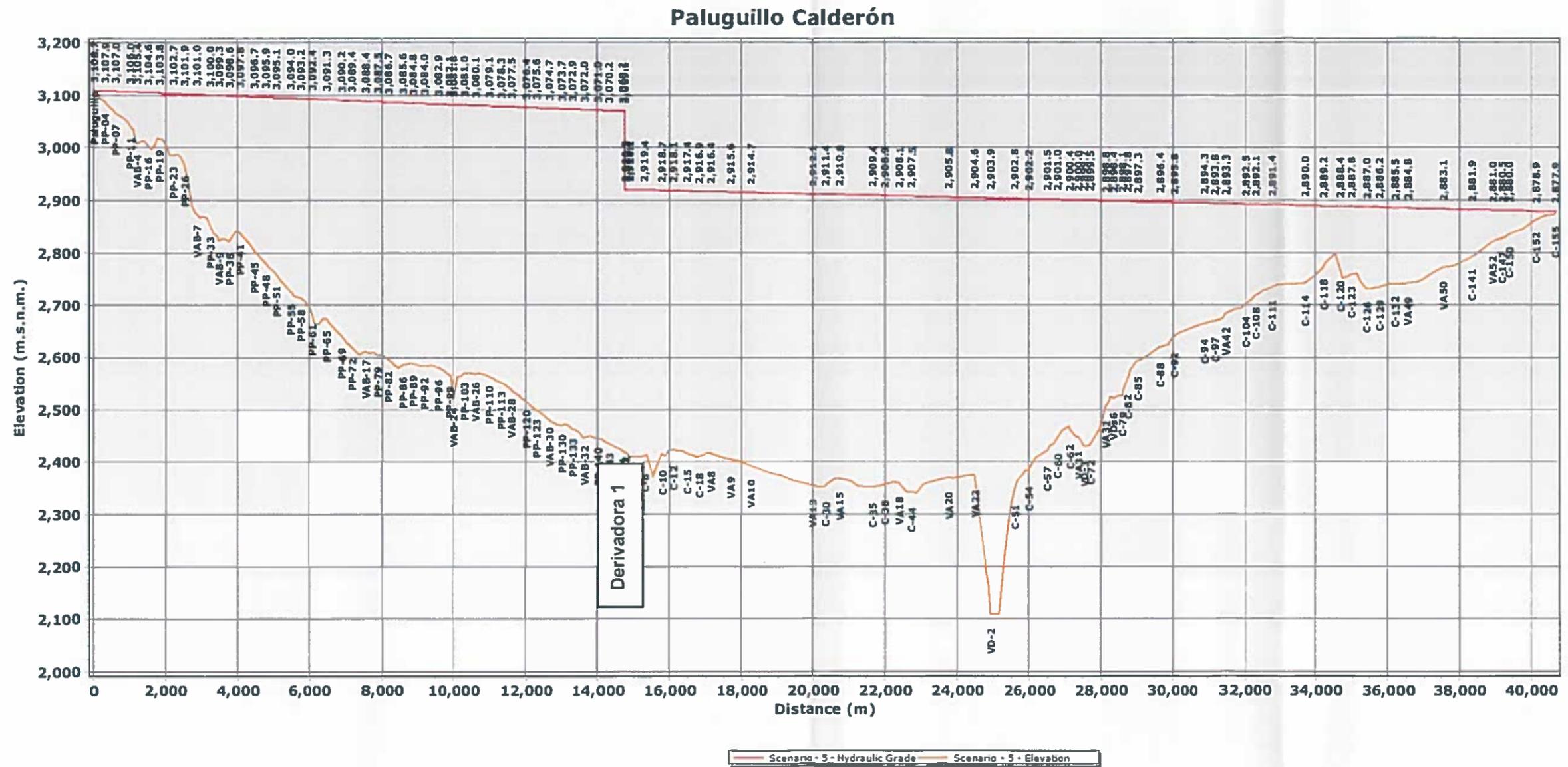
Tabla 48: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario 5

Datos Hidráulicos - Válvulas										
Etiqueta	Elevación (msnm)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Coefficiente de descarga 100% abierta	Carga Hidráulica - Entrada (m)	Carga Hidráulica- Salida (m)	Presión de Entrada (mca)	Presión de Salida (mca)	Pérdidas (mca)	
Derv. 1 – Calderón	FCV-21	2.418,71	800	650	1,59	3,069.05	2,920.52	650.34	501.81	148.53

Elaboración: INGECONSULT, 2019



Figura 59. Perfil de la línea de conducción Paluguillo – Puebo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario 5



Elaboración: INGECONSULT, 2019



- vi. **Escenario No. 6:** Escenario de Diseño. Para la etapa final del período de diseño de la conducción se plantea que la ampliación de PTAP de Puengasí entre en operación con el caudal total correspondiente a 1500 l/s. Por lo tanto, se tendrá en circulación el caudal total que ha sido considerado para el diseño de la línea de transmisión de agua cruda Paluguillo – Bellavista y las derivaciones hacia la PTAP de Calderón, así como la derivación hacia la PTAP de Puengasí.

Los caudales de operación una vez que se haya completado la entrada en operación de las ampliaciones de las PTAP de Bellavista, Calderón y Puengasí será el que corresponde al escenario de diseño que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 49: Distribución de caudales para el Escenario de Diseño.

Escenario No. 6		
Tramo	Q operación (l/s)	Longitud (km)
L1 (Paluguillo - Cámara Derivadora No. 1)	4300	14,61
Ramal Puembo – Calderón	1300	25,92
L2 Cámara Derivadora 1 – Cámara Derivadora 2	3000	14,7
L3 Cámara Derivadora 2 – PTPA Bellavista	1500	1,6
L4 Cámara Derivadora 2 – PTAP Puengasí	1500	42,5

Elaboración: INGECONSULT, 2019

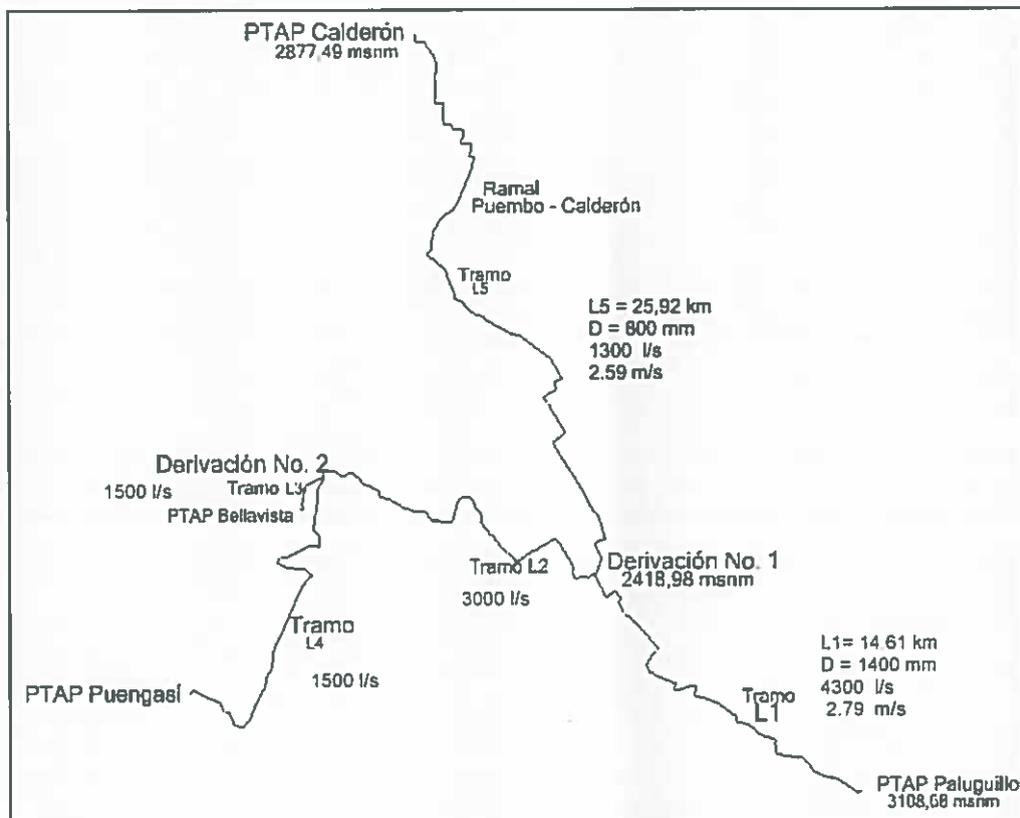


Figura 60. Esquema general de operación para el Escenario de Diseño

Handwritten signature and initials in blue ink.

Tabla 50: Resultados de la simulación numérica en flujo permanente en diferentes puntos de interés en el tramo Puembo Calderón. Escenario de Diseño

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	ESCENARIO DE DISEÑO	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	624.20	3042.90
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	609.45	3033.34
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	633.66	2996.19
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	650.50	2991.75
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	605.21	2981.77
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	867.71	2978.61
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	610.41	2974.24
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	533.06	2962.72
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	432.00	2957.00
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	121.48	2919.44
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	183.16	2912.94
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.38	2878.77
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39

Elaboración: INGECONSULT, 2019

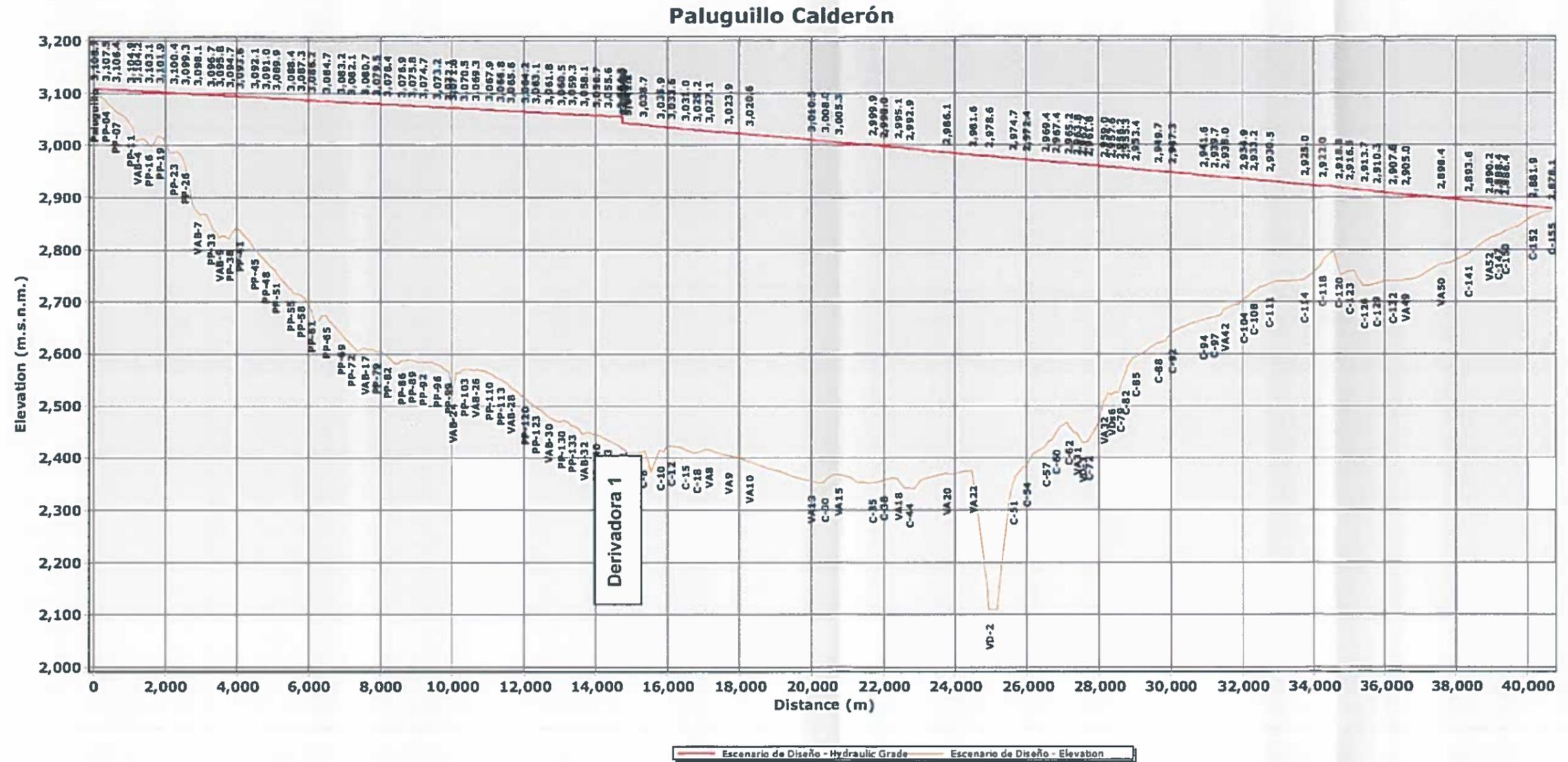
Tabla 51: Resultados de la simulación numérica en la válvula de regulación FCV- PC1. Escenario de Diseño.

Datos Hidráulicos - Válvulas										
Etiqueta		Elevación (msnm)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Coefficiente de descarga 100% abierta	Carga Hidráulica - Entrada (m)	Carga Hidráulica- Salida (m)	Presión de Entrada (mca)	Presión de Salida (mca)	Pérdidas (mca)
Derv. 1 – Calderón	FCV-21	2.418,71	800	1300	1,59	3,053.95	3,043.07	635.24	624.36	10.87

Elaboración: INGECONSULT, 2019

[Handwritten signature]

Figura 61. Perfil de la línea de conducción Paluguiño – Pueumbo – Calderón y evolución de la línea piezométrica en condiciones de flujo permanente para el Escenario de Diseño



Elaboración: INGECONSULT, 2019



6.5 Resumen de Resultados de la simulación con flujo permanente

Los resultados de la simulación numérica en flujo permanente para la línea de transmisión Puembo Calderón se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 52: Resumen de los resultados de la simulación con flujo permanente en la conducción Puembo Calderón para todos los escenarios – Variación de presión en la válvula FCV-PC1.

Escenario	Caudal a Calderón (l/s)	Velocidad (m/s)	Presión Derivadora 1 mca	Δ Presión mca
E1	650	1,29	688,51	186,70
			501,81	
E2	650	1,29	683,78	181,97
			501,81	
E3	650	1,29	675,83	174,03
			501,81	
E4	1300	2,59	684,50	60,13
			624,36	
E.I	650	1,59	650,34	148,54
			501,81	
E D	1300	2,59	635,24	10,87
			624,36	

Elaboración: INGECONSULT, 2019

6.6 Conclusiones de la modelación de la línea Puembo Calderón en flujo permanente:

- El trazado de la línea Puembo Calderón desarrollado en la etapa de diseño definitivo parte del análisis realizado en las etapas de pre factibilidad y factibilidad en las cuales se evaluaron varias alternativas, especialmente de cruce sobre el río Guayllabamba, en donde se analizó parámetros, técnicos, económicos, financieros, sociales, etc, para obtener la alternativa óptima, se ha adoptado que todo el trazado se desarrolle con una sola tubería como se demostró en la etapa de pre factibilidad, el estudio antes mencionado.
- La autolimpieza de la tubería a lo largo de todo el tramo Puembo – Calderón se garantiza por el rango de caudales comprendido entre 650 l/s y 1300 l/s, con velocidades desde 1.29 m/s hasta 2.59 m/s.
- La derivación y regulación de los caudales que se conducen en la línea de transmisión hacia Bellavista / Puengasí y Calderón se realiza al interior de las cámaras de regulación Derivadora 1. La regulación hacia Bellavista / Puengasí se realiza mediante una trifurcación de la línea, de las cuales dos estarán operativas y una es redundante; en el caso de la derivación hacia Calderón existe una bifurcación de las cuales una estará operativa y otra será redundante; las válvulas de regulación son de embolo de 800 mm en todos los casos.
- El rango de caídas de presión para todos los escenarios analizados se muestra en la Tabla 52, teniendo como valor máximo 186.70 m.c.a correspondiente a la condición de que a través del sistema circule únicamente 650 l/s desde la pileta de la central recuperadora de Paluguillo hasta la PTAP Calderón, la gran carga hidráulica que sería necesario disipar, es correspondiente a la baja velocidad de flujo en el ramal Paluguillo Puembo (0.46 m/s), lo que implica una pérdida de carga de apenas 1.46 m.c.a en dicho tramo. Bajo estas condiciones el ramal Paluguillo – Puembo estaría sub utilizado por lo que surge la idea de definir un




escenario de interconexión con el sistema existente Papallacta, de tal forma que se pueda transportar por dicho tramo el caudal actual de dicho sistema (3000 l/s) más el caudal mínimo hacia la PTAP Calderón (650 l/s), en cuyo caso la caída de presión en la válvula sería de 148.53 m.c.a que representa una reducción del 20.5% respecto al primer escenario. Cabe también indicar que la caída de presión para el escenario de diseño es de 10.87 m.c.a.

7. MODELACIÓN HIDRÁULICA CON FLUJO NO PERMANENTE DEL RAMAL PUEMBO – CALDERÓN

El análisis con flujo no permanente, o transitorio, permite definir el comportamiento de la línea de transmisión en presencia de cambios violentos o bruscos de las características del flujo en el tiempo. Estos cambios pueden ser generados por la operación de los equipos de regulación o por eventos no previstos o catastróficos como roturas de la tubería.

El comportamiento de flujo con variaciones relativamente lentas en el tiempo de parámetros hidráulicos provoca ondas de presión que normalmente no representan una amenaza para la línea de conducción en acero soldado; sin embargo, cuando los cambios se producen en tiempos cortos o tienden a ser instantáneos, se generan ondas violentas de presión que ponen en peligro la estabilidad de la tubería ya sea por el incremento o decremento brusco de la presión.

El análisis de transitorios en la conducción del ramal Puembo – Calderón con el trazado a nivel de Diseño definitivo permitirá conocer fundamentalmente si los tiempos de cierre o apertura de válvulas, así como los espesores definidos para la línea en función de la normativa vigente cubren los requerimientos de diseño, además toma en cuenta las variaciones geométricas en el trazado respecto a las etapas anteriores de diseño.

Para el análisis del comportamiento de la línea de transmisión en los escenarios de flujo no permanente, tanto normales como emergentes, se ha considerado los diámetros internos definidos en base al análisis del flujo permanente, así como de espesores de la tubería que ha sido definida en el diseño mecánico de la línea. En la siguiente tabla se resume la información de la línea Puembo – Calderón que se utiliza para el análisis de transitorios.

Tabla 53: Espesores de la tubería a lo largo de la línea de transmisión Paluguillo – Puembo – Calderón – Bellavista - Puengasí.

TRAMOS	ABSCISA INICIAL (m)	ABSCISA FINAL (m)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	Q _{DISEÑO} (m ³ /s)	ESPESOR ¹⁶ NORMALIZADO (mm)
Tramo L1	0	2+567,02	1400	4.3	9.53
	2+567,02	3+301,03			12.7
	3+301,03	7+313,00			19.05
	7+313,00	13+511,88			25.40
	13+511,88	14+617,03			31,75
Tramo L2	14+617,03	25+486,73	1300	3.0	31.75

¹⁶ Tomado del Informe de Diseño Mecánico, Volumen No. 11 "Cálculos Mecánicos de las Conducciones"

TRAMOS	ABSCISA INICIAL (m)	ABSCISA FINAL (m)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	Q _{DISEÑO} (m ³ /s)	ESPESOR ¹⁶ NORMALIZADO (mm)
	25+486,73	25+891,09			25.40
	25+891,09	27+579,84			19.05
	27+579,84	27+976,02			12.70
Tramo L3	27+976,02	28+162,78	700	1.5	9.53
	28+162,78	29+542,77			7.93
Tramo L5	0	9+715.37	800	1300	14.27
	9+715.37	10+578.19			19.05
	10+578.19	11+746.3			14.27
	11+746.3	13+253.46			12,70
	13+253.46	16+496.2			11,13
	16+496.20	25+699.98			8.74

Elaboración: INGECONSULT, 2019

7.1 ESCENARIOS ADOPTADOS PARA LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN PUEMBO CALDERÓN CON FLUJO NO PERMANENTE.

Dentro del presente estudio de flujo no permanente, se analizan escenarios de flujo transitorio en condiciones de operación normal y también casos de transitorios emergentes.

Dentro de los escenarios de régimen no permanente previstos dentro de la operación normal se incluye las operaciones normales de la válvula FCV – PC1 que es la encargada de regular el flujo en la cámara de Derivación No. 1 hacia la PTAP Calderón, así como la operación prevista de las cuatro válvulas de desagüe principales.

Dentro de los escenarios de operación emergente se incluye la operación extraordinaria se analiza la rotura de la línea en el punto de máxima carga ubicado en el inicio del cruce aéreo sobre el río Guayllabamba.

A continuación, se describen los escenarios de transitorios en operación normal para la apertura del sistema Puembo Calderón:

- Escenario 1 de apertura. - es la operación de apertura de la válvula FCV – PC1, bajo la condición de que el ramal Puembo –Bellavista/Puengasí esté cerrado, es decir solo exista flujo desde Paluguillo hacia Calderón con sólo de 650 l/s. Se trata de la primera etapa de operación de la PTAP Calderón
- Escenario 2 de apertura. - es la operación de apertura de la válvula FCV – PC1 para la regulación de 1300 l/s (máxima capacidad), bajo la condición de que el ramal Puembo – Bellavista / Puengasí esté cerrado, es decir al igual que en el escenario 1 sólo exista flujo desde Paluguillo hacia Calderón.

En estos dos escenarios (1 y 2) la onda de golpe de ariete no se refleja hacia el ramal Puembo – Bellavista.

- Escenario 3 de apertura. - es la operación de apertura de la válvula FCV – PC1 para la regulación de un caudal de 650 l/s, bajo la condición inicial de que el

37
f

ramal Puembo – Bellavista / Puengasí esté trabajando a su máxima capacidad (3000 l/s), entonces flujo total en el sistema pasa de 3000 l/s a 3650 l/s. En este escenario es de importancia conocer como se refleja la onda hacia los tramos L2, L3 y L4.

- Escenario 4 de apertura. - es la operación de apertura de la válvula FCV – PC1 para la regulación de 1300 l/s, bajo la condición inicial de que el ramal Puembo Bellavista / Puengasí esté trabajando a su máxima capacidad (3000 l/s), entonces el flujo total en el sistema pasa de 3000 l/s a 4300 l/s, al igual que en el caso anterior es de importancia conocer como se refleja la onda hacia los tramos L2, L3 y L4.

Tabla 54: Resumen de escenarios de operación normal para la apertura del sistema Puembo calderón, análisis de flujo no permanente.

Escenario	Apertura			Condición Inicial. Puembo / Bellavista - Puengasí
	Derivadora 1 Puembo Calderón FCV- PC1	Derivadora 1 Bellavista – Puengasí FCV- PB1 y FCV- PB3	Condición Inicial.	
	Q inicial l/s	Q final l/s	Q Constante l/s	
E 1	0	650	0	Cerrado
E 2	0	1300	0	Cerrado
E 3	0	650	3000	Abierto 100%
E 4	0	1300	3000	Abierto 100%

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Los mismos escenarios se plantean para el cierre de la válvula FCV-PC1, en donde se ha planteado definir los escenarios en función de cuantas PTAP están operando y el caudal que fluye hacia ellas, de la siguiente manera:

- Escenario 1 de cierre. - es la operación de cierre de la válvula FCV – PC1, bajo la condición inicial de que el ramal Puembo –Bellavista / Puengasí se mantenga cerrado, y el ramal Puembo Calderón este abierto trabajando al 50% de la capacidad total, es decir 650 l/s, para simular el cierre total de dicho tramo. Se trata de la primera etapa de operación de la PTAP Calderón
- Escenario 2 de cierre. - es la operación de cierre de la válvula FCV – PC1, bajo la condición inicial de que el ramal Puembo –Bellavista / Puengasí se mantenga cerrado, y el ramal Puembo Calderón este abierto al 100% de la capacidad total, es decir 1300 l/s, para simular el cierre total de dicho tramo.

En estos dos escenarios de cierre (1 y 2) la onda de golpe de ariete no se refleja hacia el ramal Puembo – Bellavista.

- Escenario 3 de cierre. - es la operación de cierre de la válvula FCV – PC1, bajo la condición inicial de que el ramal Puembo – Bellavista / Puengasí se mantenga abierto al 100% (3000 l/s), y el ramal Puembo – calderón esté trabajando con 650 l/s es decir al 50% de su capacidad, para operar la válvula y cerrarlo completamente (0 l/s), en este escenario es de importancia conocer como se refleja la onda hacia los tramos L2, L3 y L4.
- Escenario 4 de Cierre. - es la operación de cierre de la válvula FCV – PC1, bajo la condición inicial de que el ramal Puembo – Bellavista / Puengasí se mantenga abierto al 100% (3000 l/s), y el ramal Puembo – Calderón esté trabajando con

1300 l/s es decir al 100% de su capacidad, para operar la válvula y cerrarlo completamente (0 l/s), en este escenario es de importancia conocer como se refleja la onda hacia los tramos L2, L3 y L4. Se han definido tres escenarios emergentes.

Tabla 55: Resumen de escenarios de operación normal para el cierre del sistema Puembo Calderón, análisis de flujo no permanente.

Cierre				
Escenario	Derivadora 1 Puembo Calderón FCV- PC1		Derivadora 1 Bellavista – Puengasí FCV- PB1 y FCV- PB3	Condición Inicial.
	Q inicial l/s	Q final l/s	Q Constante l/s	Puembo / Bellavista - Puengasí
E 1	650	0	0	Cerrado
E 2	1300	0	0	Cerrado
E 3	650	0	3000	Abierto 100%
E 4	1300	0	3000	Abierto 100%

Elaboración: INGECONSULT, 2019

- Escenario de Desagüe. - en este escenario se simula la apertura controlada de las válvulas de desagüe, siguiendo la regla de operación para el vaciado de la línea Puembo – Calderón, cabe indicar que en este caso se aísla el tramo cerrando la válvula FCV – PC1; la operación de las válvulas de desagüe se describe en la siguiente tabla:

Tabla 56: Regla de operación de las válvulas principales para el vaciado de la línea Puembo Calderón, análisis de flujo no permanente.

Orden de operación	Válvula	Volumen m ³	Caudal l/s	Tiempo de apertura s	Tiempo de Operación h
1	VD4	2830	200	60	6.4
2	VD3	3663	200	60	4.9
3	VD1	3208	100	60	5.8
4	VD2	606	200	60	2.7

Elaboración: INGECONSULT, 2019

Se plantean dos escenarios emergentes: El primero es la rotura de la línea en el punto de más alta carga, es decir en el sifón de cruce del río Guayllabamba, y el segundo es una operación de apertura la de válvula de desagüe de más alta carga (VD2) ubicada en el mismo punto de rotura del escenario anterior.

- Escenario de rotura. en este escenario se simula la rotura de la conducción en el punto más bajo, en este caso el paso elevado sobre el río Guayllabamba. El escenario se completa mencionado que como condición inicial, cuando ocurre el siniestro el caudal total en el sistema es de 4300 l/s es decir todas las PTAP se encuentran en funcionamiento.
- Escenario apertura VD-2.- El escenario de apertura de la válvula de desagüe VD-2 se lo puede considerar crítico en el sentido que es la válvula con mayor carga hidráulica, pero en este caso el caudal de descarga será controlado. Al igual que en el caso anterior la condición inicial es que el caudal total en el sistema es de 4300 l/s



7.2 PARÁMETROS DE ENTRADA ADOPTADOS PARA LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL SISTEMA CON FLUJO NO PERMANENTE

Bentley HAMMER V8i es un paquete computacional avanzado que permite analizar el flujo no permanente. El algoritmo utilizado en el paquete computacional Bentley HAMMER V8i se fundamenta en la solución de las ecuaciones diferenciales parciales de continuidad y de momentum, considerando movimiento unidimensional con la aplicación del método de las características.

Para la simulación numérica del flujo no permanente se ha considerado en los escenarios antes descritos los siguientes aspectos:

1. Se adopta un patrón de comportamiento de cierre y de apertura de las válvulas de regulación y de las válvulas de desagüe principal previstos en la línea Puembo Calderón, con un tiempo suficiente para reducir los valores máximos y mínimos del transiente.
2. Se ha considerado el efecto de la operación de las válvulas de aire a lo largo de la conducción.
3. Para la simulación de la rotura de la tubería se adopta un tiempo de rotura de 4s y un área de rotura de 0.031 m² que es igual al área de la tubería de derivación para la válvula de desagüe VD2 de diámetro 200 mm.

Las condiciones geométricas de los tramos de interés para la simulación corresponden a los descritos en la Tabla 29. Los parámetros del fluido y del material de las conducciones se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 57: Parámetros del fluido y del material de la tubería adoptados para la simulación del flujo no permanente en la línea de transmisión Puembo Calderón.

PARÁMETROS PARA EL CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ONDA		
<i>Líquido: Agua a 20°C</i>		
Módulo de Elasticidad	22312.69	kg/cm ²
Gravedad específica	0.998	-
<i>Material: Acero API 5L X60</i>		
Módulo de Young	2 110 812.12	kg/cm ²
Relación de Poisson	0.3	-
Espesor máx:	19.05	mm

Elaboración: INGECONSULT, 2019

7.3 Válvulas de regulación de caudal¹⁷

La regulación de los caudales en la Línea de Transmisión Puembo Calderón así como en los ramales de Derivación hacia la PTAP de Bellavista y Puengasí, se realiza con la operación de Válvulas de control de flujo (FCV) que se han previsto en la Cámara de Válvulas de Derivación y Regulación de Caudales No. 1, que se ubican al final del tramo L1 e inicio de los tramos L2 de la línea principal Paluguillo – Puembo y L5 o ramal Puembo – Calderón, de conformidad con el estudio de "DISEÑO DEFINITIVO LÍNEA DE TRANSMISIÓN PALUGUILLO BELLAVISTA" de septiembre de 201

¹⁷ Volumen No. 13 "Equipos Electromecánicos y Eléctricos", anexo al Informe Principal

De igual manera, el mismo estudio de Diseño Definitivo previó la regulación de flujo hacia la PTAP de Bellavista y hacia la PTAP de Puengasí en la cámara derivadora No 2. (Diseño definitivo de la Línea de Transmisión Palaguillo Bellavista presentaso por Ingeconsult el año 2017).

Para la regulación de los caudales que se derivan hacia la PTAP de Calderón, se han seleccionado válvulas tipo émbolo o aguja, en las que la regulación del flujo es preciso, mediante un estrangulamiento de la abertura dentro de la válvula. Se fabrican para las presiones nominales que se requieren en el Proyecto, tienen un accionamiento simple, por lo que se requiere de poca instrumentación garantizando alta confiabilidad operacional.

La siguiente tabla presenta los parámetros de las válvulas de derivación y regulación de caudales que han sido consideradas para fines de la simulación numérica en la cámara Derivadora No. 1.

Tabla 58: Válvulas de regulación de caudales diseñadas para la cámara Derivadora No. 1¹⁸.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Presión nominal	bar	63,00
Clase de la Válvula		600,00
Diámetro nominal	mm	800,00
Número de válvulas		2,00
Caudal mínimo (0% apertura)	l/s	0,00
Caudal máximo (100% apertura)	l/s	1430,00
Tipo de válvula	Válvula de émbolo aguja	
Accionamiento	Manual/Automático	

Elaboración: INGECONSULT, 2019

En la siguiente figura se presentan los coeficientes de flujo de las válvulas de control o regulación de flujo para los ramales Puembo – Calderón (PC) y Puembo Bellavista/Puengasí (PB), FCV-PC1 y FCV-PB1 y FCV-PB2, de conformidad con lo definido en el diseño Mecánico.

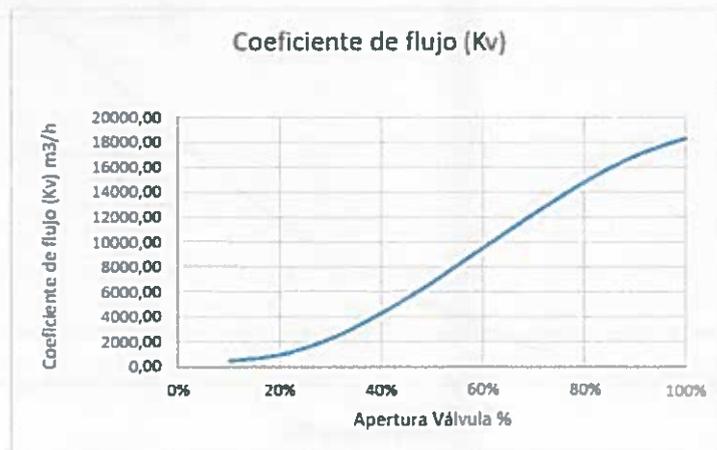
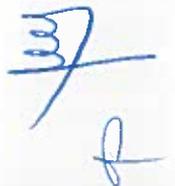


Figura 62. Coeficiente de descarga (Kv) para las válvulas FCV-PC1, FCV-PB1 y FCV-PB2
Elaboración: INGECONSULT, 2019

¹⁸ Volumen No. 13 "Equipos Electromecánicos y Eléctricos", anexo al Informe Principal



Se ha definido 4 válvulas de desagüe principales VD1, VD2, VD3 y VD4 y adicionalmente 7 válvulas de desagüe secundarias Vds1, Vds2, Vds3, Vds4, Vds5, Vds6 y Vds7 ubicadas en los puntos bajos en el trazado de la Línea de Conducción Puembo Calderón, la mayor carga de estas válvulas está alrededor de 1000 m de altura hidrostática, sin embargo, se debe considerar que, a medida que se desagua el sistema, la carga piezométrica disminuye. Se ha estimado también, que el acople disipador de energía implica una carga a la salida de la válvula de 300 m.

Las características de las válvulas de desagüe se definen en el Volumen 08 correspondiente al "Diseño mecánico y eléctrico" y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 59: Válvulas multichorro para el desagüe de la línea Puembo Calderón¹⁹

VÁLVULAS MULTICHORRO ACODADAS PARA LOS DESAGÜES					
NOMBRE	CANTIDAD	DN	PN	CLASE	ACCIONAMIENTO
		mm	bar		
VD1, VD2, VD3, Vds1, Vds2, Vds3, Vds4 y Vds5	8	200	100	600	Automatico/Manual emergencia
VD4, Vds6 y Vds7	3	200	63	400	Automatico/Manual emergencia
TOTAL VÁLVULAS:	11				

Elaboración: INGECONSULT, 2019

En la siguiente figura se presentan los coeficientes de flujo de las válvulas de desagüe el ramal Puembo – Calderón (PC), de conformidad con lo definido en el diseño Mecánico

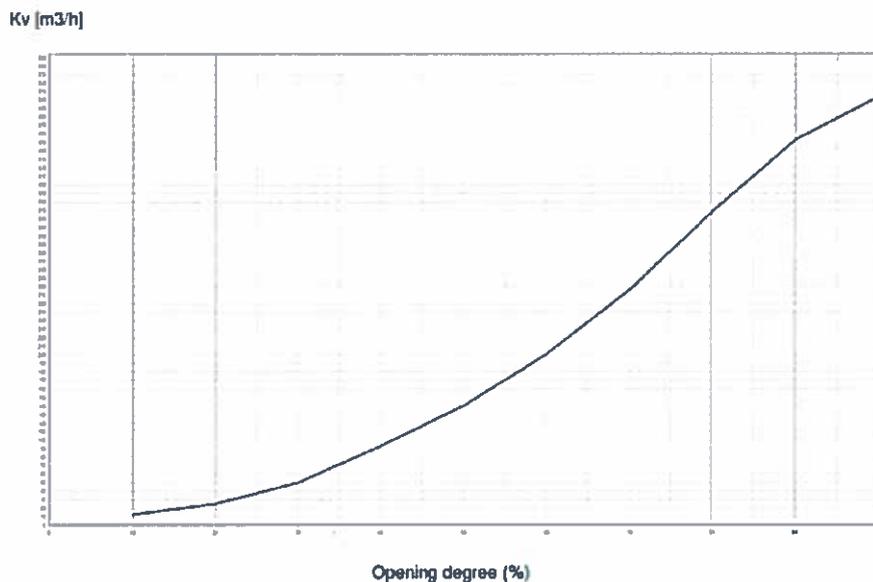


Figura 63 Coeficiente de Flujo (Kv) de las válvulas multichorro
Elaboración: INGECONSULT, 2019

¹⁹ Volumen No. 8 - Diseño mecánico y eléctrico, estudio de "Diseño Definitivo de la línea de conducción Puembo Calderón"

7.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CON EL FLUJO NO PERMANENTE

7.4.1 Apertura: Escenario 1

El escenario normal No. 1 simula los fenómenos transitorios que ocurren debido a la apertura de la válvula de regulación en la Cámara Derivadora No. 1, en el ramal Puembo Calderón en la válvula FCV –PC1, cuando el caudal de regulación pasa de 0 a 650 l/s. No existe derivación de caudal hacia las PTAP de Bellavista y Puengasí, es decir las válvulas de regulación FCV –PB están cerradas durante todo el proceso.

Patrón de Apertura de la válvula FCV – PC1

Después de analizar varios patrones y tiempos de apertura de la válvula FCV – PC1, se determina que la operación de apertura no debe ser menor a los 120 segundos.

Figura 64. Patrón de apertura de la válvula FCV-PC1 en el escenario 1



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)

Tabla 60: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la apertura en el escenario 1.

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Escenario 1 Apertura P - C en 2 min Q = 650 l/s			
				Presión Máx		Presión Min	
				Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	556.43	2975.13	443.12	2861.82
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	548.73	2972.62	438.66	2862.55
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	598.58	2961.11	503.45	2865.98
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	618.44	2959.69	525.16	2866.41
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	579.87	2956.43	490.84	2867.40
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	844.55	2955.45	756.78	2867.68
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	590.35	2954.18	504.36	2868.19
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	519.30	2948.96	439.70	2869.36
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	421.05	2946.05	344.85	2869.85
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	119.52	2917.48	75.53	2873.49
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	181.80	2911.58	144.27	2874.05
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	0.00	2878.39	-1.61	2876.78
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	0.00	2878.39	0.00	2878.39

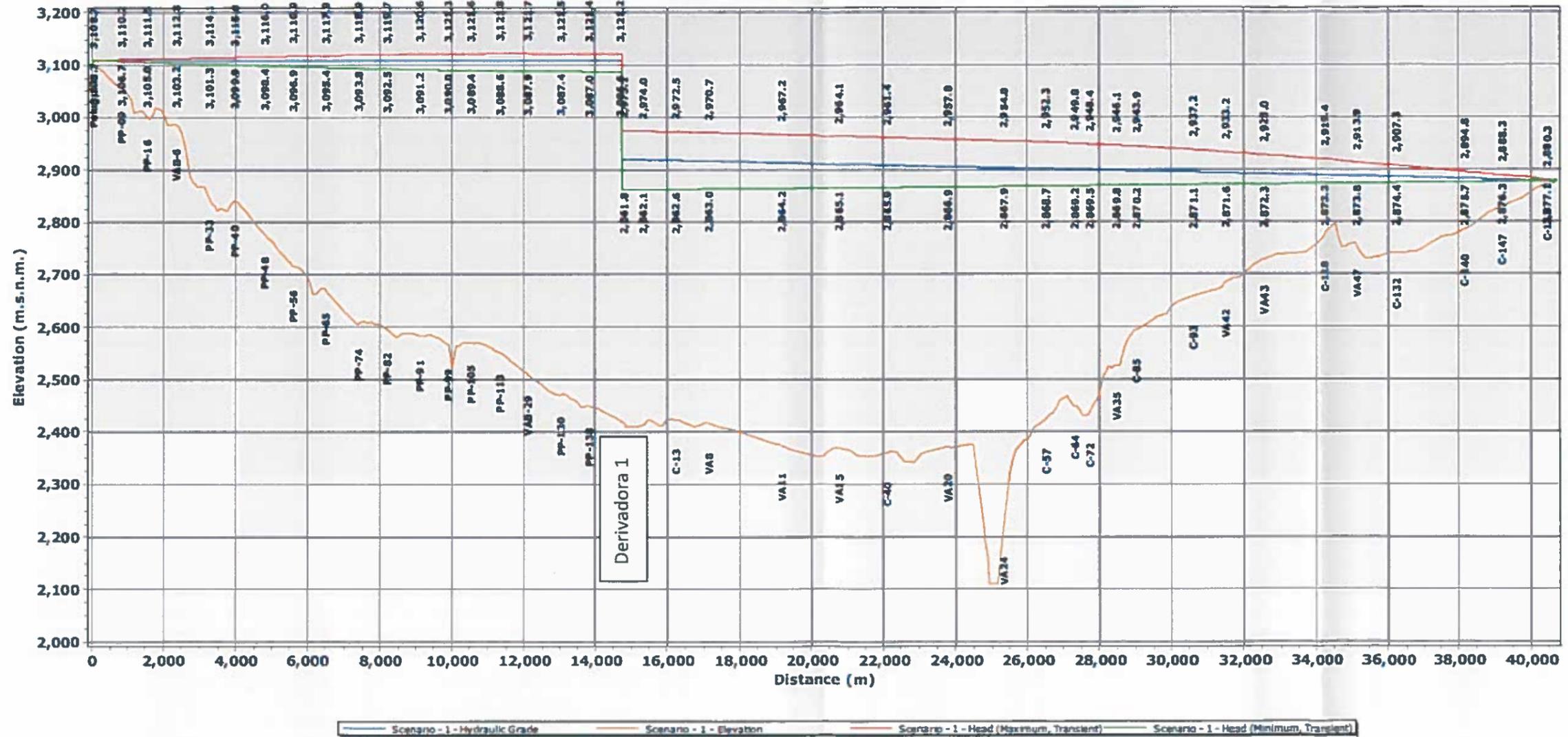
Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo – Calderón




Envoltentes de presión

Figura 65. Envoltente de presiones para el escenario de apertura No. 1 a lo largo del perfil Paluguillo - Puembo - Calderón
Paluguillo Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019

7.4.2 Apertura: Escenario 2

El escenario No. 2 simula los fenómenos transitorios que ocurren debido a la apertura de la válvula de regulación en la Cámara Derivadora No. 1, en el ramal Puenbo Calderón en la válvula FCV –PC1, cuando el caudal de regulación pasa de 0 a 1300 l/s. Una condición adicional es que no existe derivación de caudal hacia las PTAP de Bellavista y Puengasí, es decir las válvulas de regulación FCV –PB están cerradas durante todo el proceso.

Patrón de Apertura de la válvula FCV – PC1

Después de analizar varios patrones y tiempos de apertura de la válvula FCV – PC1, se determina que la operación de apertura no debe ser menor a los 240 segundos.

Figura 66. Patrón de apertura de la válvula FCV-PC1 en el escenario 2



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puenbo Calderón)



Tabla 61: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la apertura en el escenario 2.

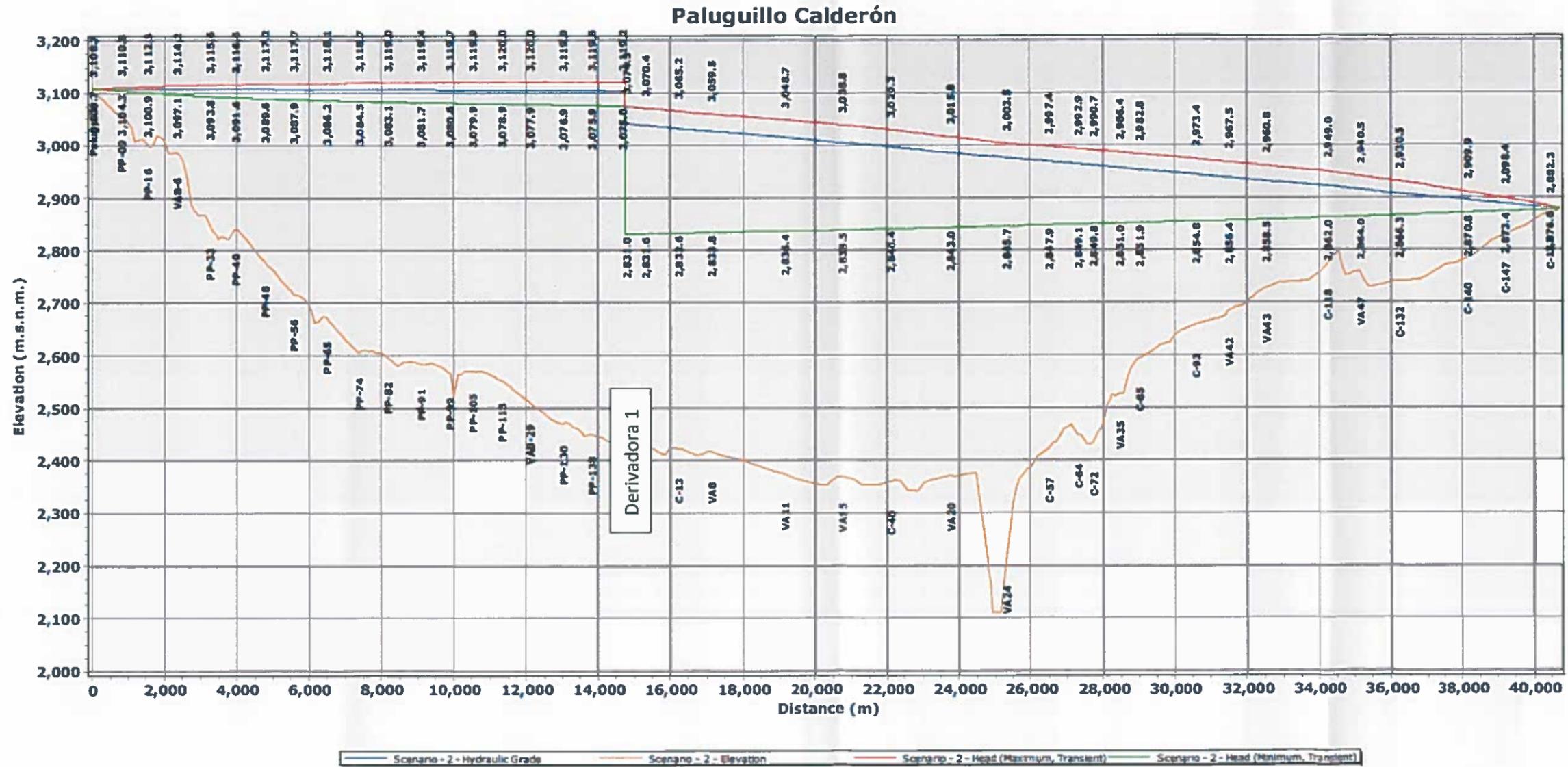
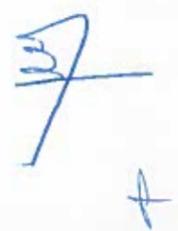
Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Escenario 2 Apertura P - C en 2 min Q = 1300 l/s			
				Presión Máx		Presión Min	
				Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	655.55	3074.25	412.24	2830.94
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	641.73	3065.62	408.66	2832.55
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	665.86	3028.39	478.10	2840.63
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	681.81	3023.06	500.36	2841.61
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	633.54	3010.10	467.67	2844.23
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	895.33	3006.23	734.16	2845.06
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	637.53	3001.36	482.56	2846.39
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	561.86	2991.52	419.93	2849.59
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	461.40	2986.40	325.98	2850.98
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	148.13	2946.09	64.70	2862.66
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	207.37	2937.15	135.02	2864.80
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	0.00	2878.39	-1.39	2877.00
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	0.00	2878.39	0.00	2878.39

Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón

Envolventes de presión

Figura 67. Envolvente de presiones para el escenario de apertura No. 2 a lo largo del perfil Paluguillo - Puebo - Calderón

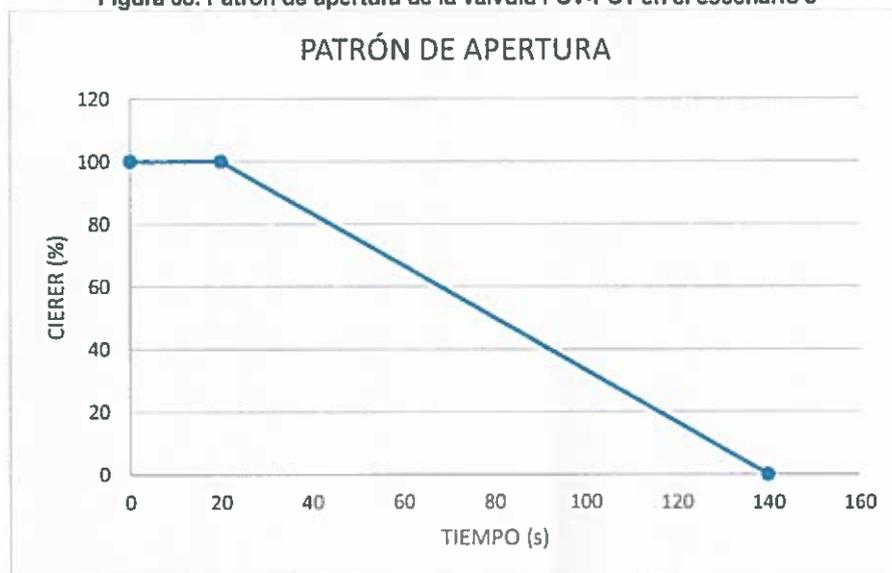
7.4.3 Apertura: Escenario 3

El escenario No. 3 simula los fenómenos transitorios que ocurren debido a la apertura de la válvula de regulación en la Cámara Derivadora No. 1, en el ramal Puembo Calderón en la válvula FCV –PC1, cuando el caudal de regulación pasa de 0 a 650 l/s en dicho ramal, pero fluyen 3000 l/s hacia las PTAP Bellavista y Puengasí, por lo que el transitorio puede reflejarse hacia dichos tramos.

Patrón de Apertura de la válvula FCV – PC1

Después de analizar varios patrones y tiempos de apertura de la válvula FCV – PC1, se determina que la operación de apertura no debe ser menor a los 120 segundos.

Figura 68. Patrón de apertura de la válvula FCV-PC1 en el escenario 3



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)

Tabla 62: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la apertura en el escenario 3.

				Escenario 3 Apertura P - C en 2 min Q = 650 l/s Qt=3650 l/s			
				Presión Máx		Presión Min	
Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	550.19	2968.89	442.72	2861.42
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	542.97	2966.86	438.19	2862.08
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	595.60	2958.13	503.05	2865.58
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	615.88	2957.13	524.73	2865.98
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	578.05	2954.61	490.50	2867.06
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	842.91	2953.81	756.48	2867.38
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	588.94	2952.77	504.02	2867.85
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	518.33	2947.99	439.37	2869.03
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	420.25	2945.25	344.56	2869.56
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	119.67	2917.63	75.34	2873.30
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	182.02	2911.80	144.11	2873.89
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	0.00	2878.39	-1.61	2876.78
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	0.00	2878.39	0.00	2878.39

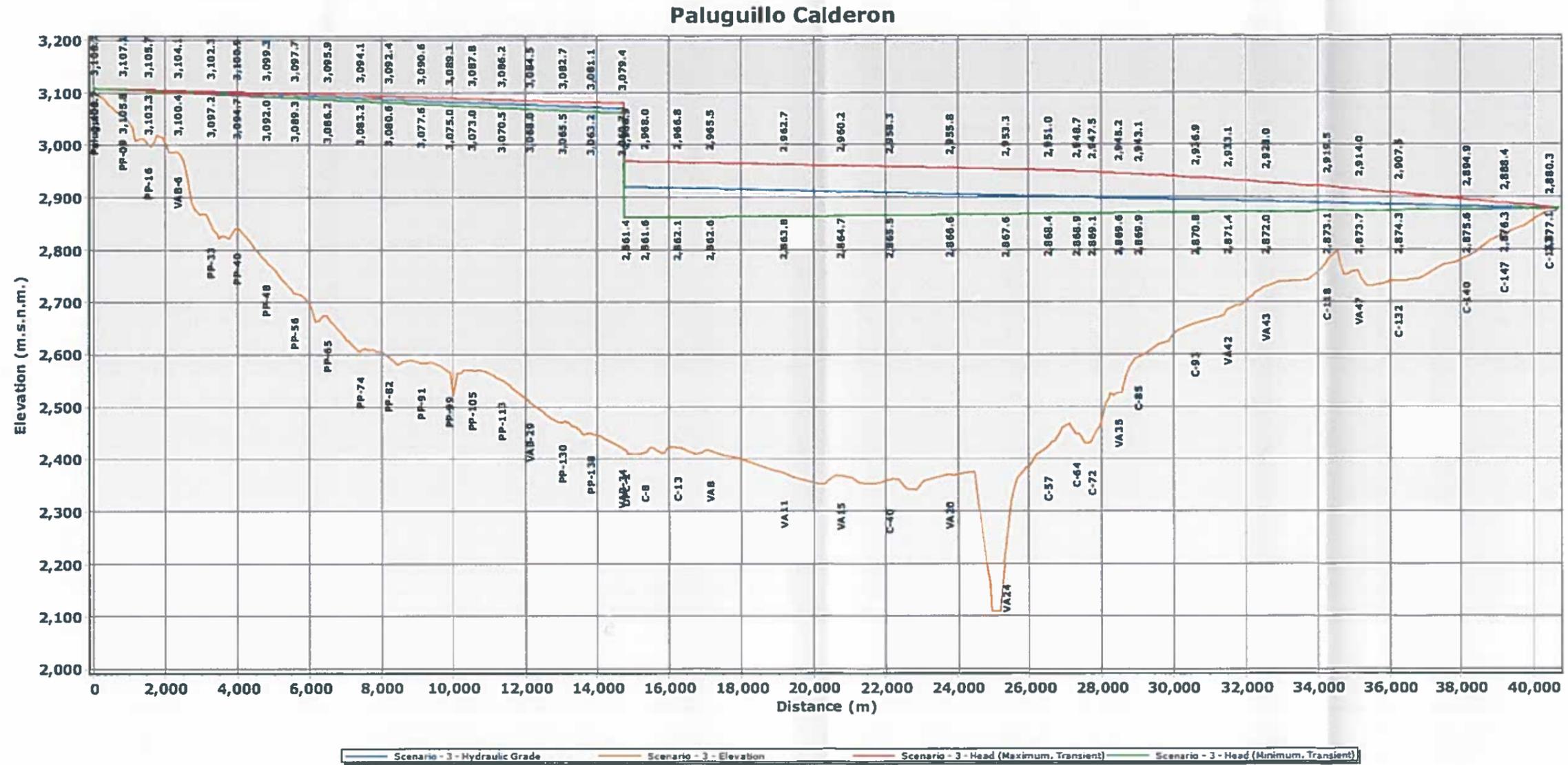
Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón



Envoltentes de presión

Figura 69. Envoltente de presiones para el escenario de apertura No. 3 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019

[Handwritten signature]

7.4.4 Apertura: Escenario 4

El escenario No. 4 simula los fenómenos transitorios que ocurren debido a la apertura de la válvula de regulación en la Cámara Derivadora No. 1, en el ramal Puembo Calderón en la válvula FCV –PC1, cuando el caudal de regulación pasa de 0 a 1300 l/s en dicho ramal, pero fluyen 3000 l/s hacia las PTAP Bellavista y Puengasí, por lo que el transitorio puede reflejarse hacia dichos tramos.

Patrón de Apertura de la válvula FCV – PC1

Después de analizar varios patrones y tiempos de apertura de la válvula FCV – PC1, se determina que la operación de apertura no debe ser menor a los 240 segundos.

Figura 70. Patrón de apertura de la válvula FCV-PC1 en el escenario 4



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)



Tabla 63: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la apertura en el escenario 4.

				Escenario 4 Apertura P - C en 2 min Q = 1300 l/s Qt=4300 l/s			
				Presión Máx		Presión Min	
Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	630.00	3048.70	391.91	2810.61
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	616.91	3040.80	388.12	2812.01
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	645.55	3008.08	459.16	2821.69
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	662.82	3004.07	481.97	2823.22
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	618.05	2994.61	450.74	2827.30
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	881.17	2992.07	717.74	2828.64
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	624.45	2988.28	467.01	2830.84
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	548.39	2978.05	406.43	2836.09
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	448.21	2973.21	312.94	2837.94
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	141.34	2939.30	56.69	2854.65
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	203.14	2932.92	128.10	2857.88
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	0.00	2878.39	-1.39	2877.00
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	0.00	2878.39	0.00	2878.39

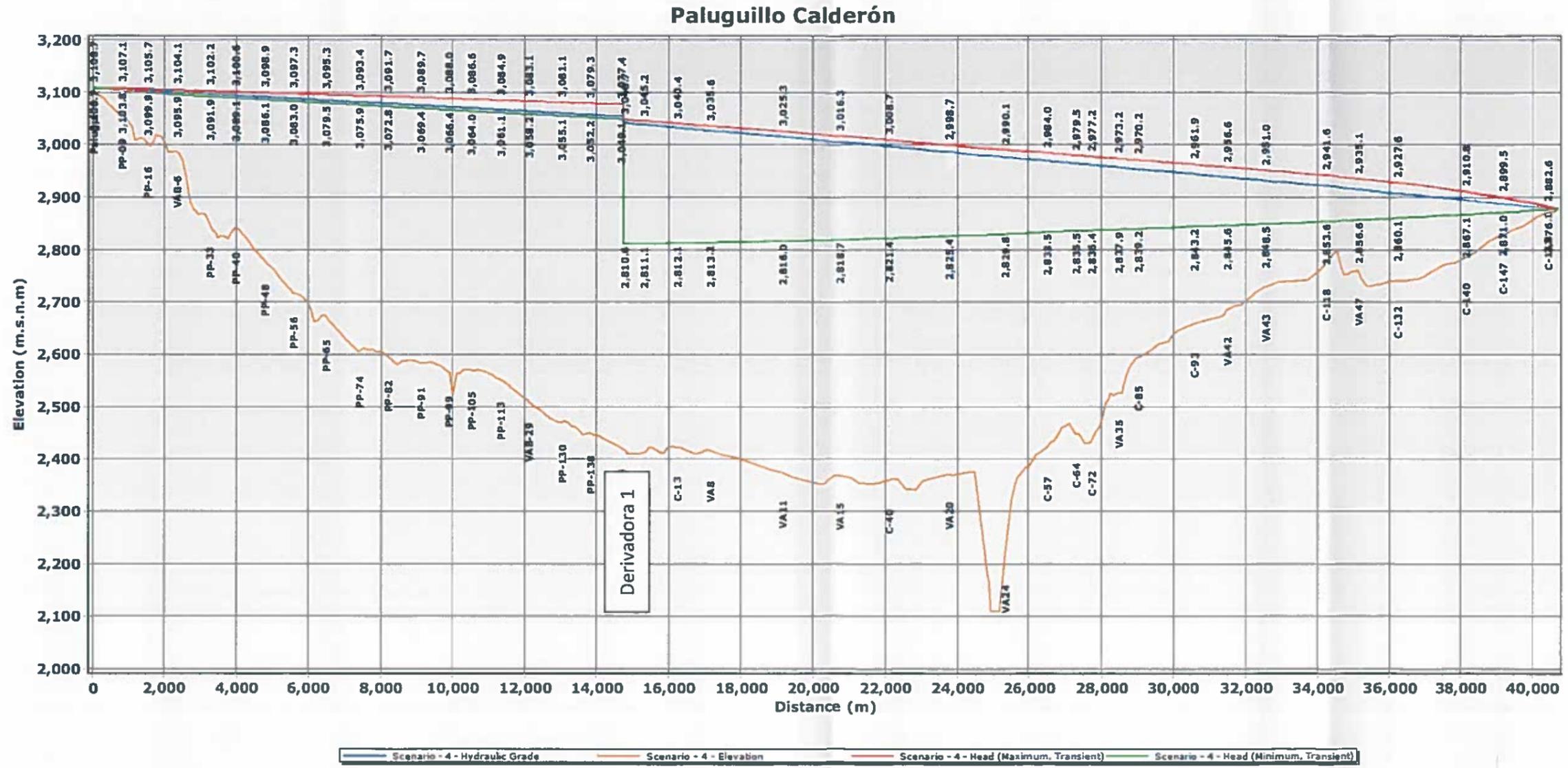
Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón




Envoltorios de presión

Figura 71. Envoltorio de presiones para el escenario de apertura No. 4 a lo largo del perfil Paluguillo - Puembo - Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019



7.4.5 Cierre: Escenario 1

El escenario No. 1 de cierre, simula los fenómenos transitorios que ocurren debido al cierre de la válvula de regulación en la Cámara Derivadora No. 1, en el ramal Puembo Calderón de la válvula FCV –PC1, cuando el caudal de regulación pasa de 650 l/s a 0 l/s. Una condición adicional es que no existe derivación de caudal hacia las PTAP de Bellavista y Puengasí, es decir las válvulas de regulación FCV –PB están cerradas durante todo el proceso.

Patrón de Apertura de la válvula FCV – PC1

Después de analizar varios patrones y tiempos de Cierre de la válvula FCV – PC1, se determina que la operación no debe ejecutarse en tiempos menores a 120 segundos.

Figura 72. Patrón de Cierre de la válvula FCV-PC1 en el escenario 1



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)




Tabla 64: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de cierre para el Escenario 1.

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Escenario 1 Cierre P - C en 2 min. Q = 650 l/s			
				Presión Máx		Presión Min	
				Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	522.28	2940.98	373.24	2791.94
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	516.46	2940.35	369.67	2793.56
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	571.65	2934.18	442.47	2805.00
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	591.96	2933.21	465.34	2806.59
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	553.99	2930.55	434.31	2810.87
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	818.64	2929.54	701.36	2812.26
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	564.02	2927.85	450.77	2814.60
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	493.03	2922.69	391.22	2820.88
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	395.28	2920.28	299.16	2824.16
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	103.21	2901.17	50.19	2848.15
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	167.91	2897.69	122.72	2852.50
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	0.00	2878.39	-1.61	2876.78
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	0.00	2878.39	0.00	2878.39

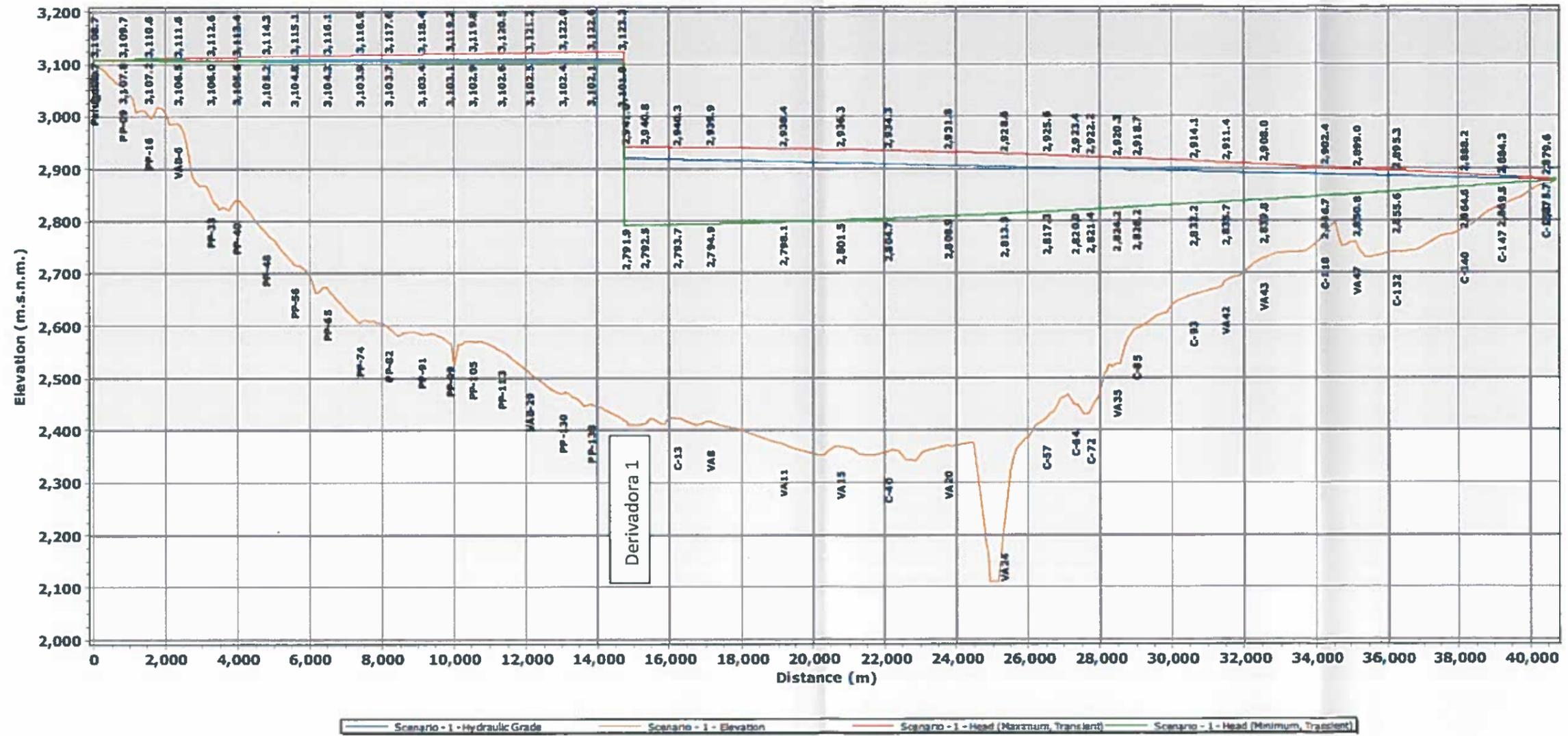
Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón




Envolventes de presión

Figura 73. Envolvente de presiones para el escenario de Cierre No. 1 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón
Paluguillo Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019



7.4.6 Cierre: Escenario 2

El escenario No. 2 simula los fenómenos transitorios que ocurren debido a la operación de cierre de la válvula de regulación en la Cámara Derivadora No. 1, en el ramal Puembo Calderón en la válvula FCV –PC1, cuando el caudal de regulación pasa de 1300l/s a 0 l/s. Una condición adicional es que no existe derivación de caudal hacia las PTAP de Bellavista y Puengasí, es decir las válvulas de regulación FCV –PB están cerradas durante todo el proceso.

Patrón de Apertura de la válvula FCV – PC1

Después de analizar varios patrones y tiempos de operación de la válvula FCV – PC1, se determina que el cierre no debe realizarse en un tiempo menor a 240 segundos.

Figura 74. Patrón de Cierre de la válvula FCV-PC1 en el escenario 2



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)



Tabla 65: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de cierre para el Escenario 2.

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Escenario 2 Cierre P - C en 2 min. Q = 1300 l/s			
				Presión Máx		Presión Min	
				Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	624.00	3042.70	316.49	2735.19
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	609.23	3033.12	313.37	2737.26
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	634.11	2996.64	392.81	2755.34
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	650.97	2992.22	416.86	2758.11
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	605.69	2982.25	388.49	2765.05
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	868.22	2979.12	656.20	2767.10
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	610.92	2974.75	406.47	2770.30
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	533.56	2963.22	349.04	2778.70
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	432.54	2957.54	257.90	2782.90
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	125.09	2923.05	17.84	2815.80
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	188.10	2917.88	93.62	2823.40
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	0.00	2878.39	-1.39	2877.00
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	0.00	2878.39	0.00	2878.39

Elaboración: INGECONSULT, 2019

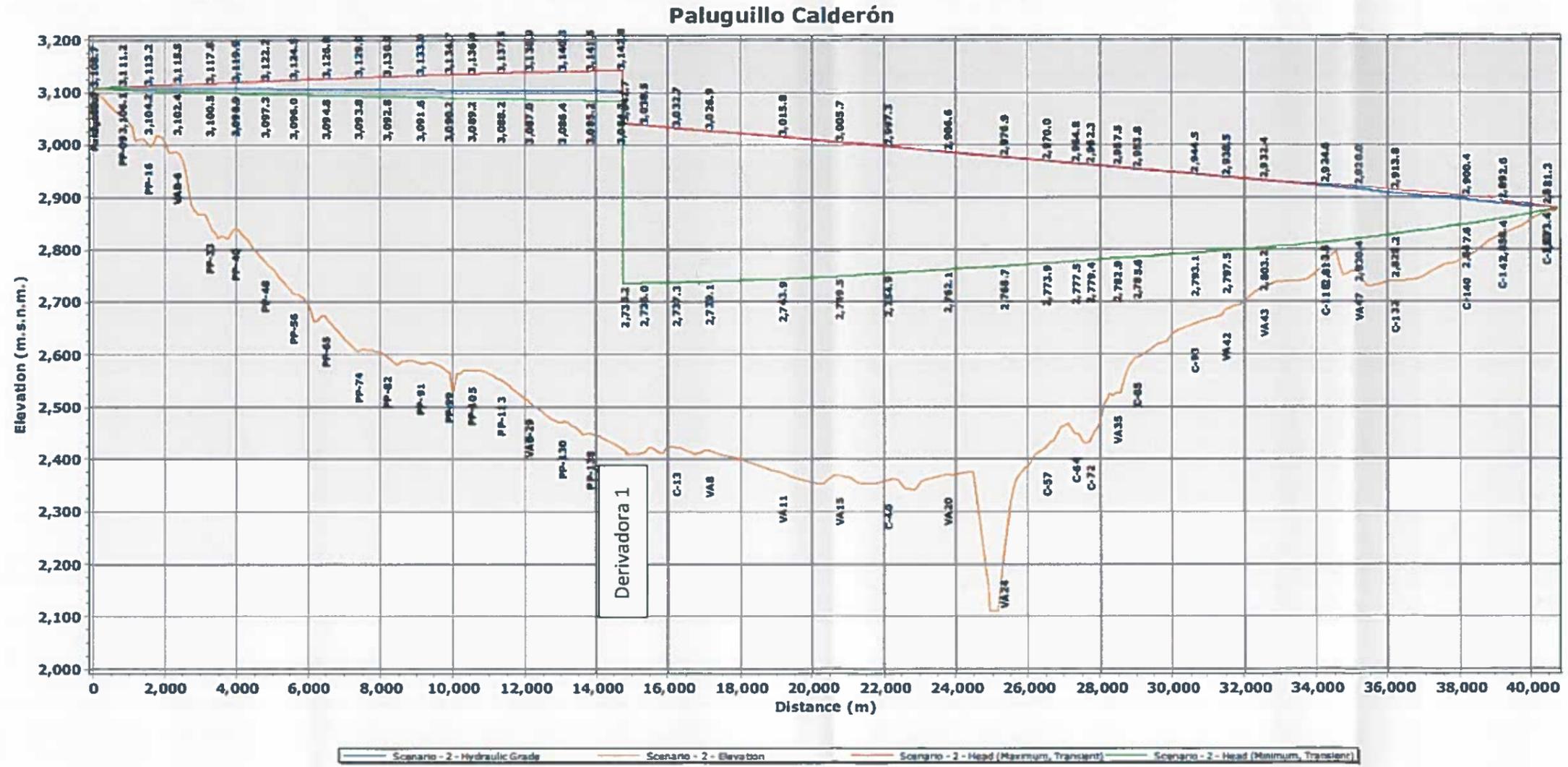
A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón

37

f

Envoltentes de presión

Figura 75. Envoltente de presiones para el escenario de Cierre No. 2 a lo largo del perfil Paluguillo - Puembo - Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019



7.4.7 Cierre: Escenario 3

El escenario No. 3 simula los fenómenos transitorios que ocurren debido a la operación de cierre de la válvula de regulación en la Cámara Derivadora No. 1, en el ramal Puembo Calderón en la válvula FCV – PC1, cuando el caudal de regulación pasa de 650 l/s a 0 l/s en dicho ramal, pero fluyen 3000 l/s hacia las PTAP Bellavista y Puengasí, por lo que el transitorio puede reflejarse hacia dichos tramos.

Patrón de Apertura de la válvula FCV – PC1

Después de analizar varios patrones y tiempos de operación de la válvula FCV – PC1, se determina que el cierre de la misma no debe realizarse en un tiempo menor a 120 segundos.

Figura 76. Patrón de Cierre de la válvula FCV-PC1 en el escenario 3



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)



Tabla 66: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de cierre para el Escenario 3.

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Escenario 3 Cierre P - C en 2 min. Q = 360 l/s Qt= 3650 l/s			
				Presión Máx		Presión Min	
				Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	520.52	2939.22	374.33	2793.03
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	514.86	2938.75	370.69	2794.58
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	570.81	2933.34	443.05	2805.58
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	591.18	2932.43	465.87	2807.12
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	553.35	2929.91	434.68	2811.24
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	818.03	2928.93	701.76	2812.66
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	563.45	2927.28	451.02	2814.85
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	492.67	2922.33	391.33	2820.99
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	394.75	2919.75	299.10	2824.10
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	102.97	2900.93	50.37	2848.33
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	167.78	2897.56	122.83	2852.61
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	0.00	2878.39	-1.61	2876.78
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	0.00	2878.39	0.00	2878.39

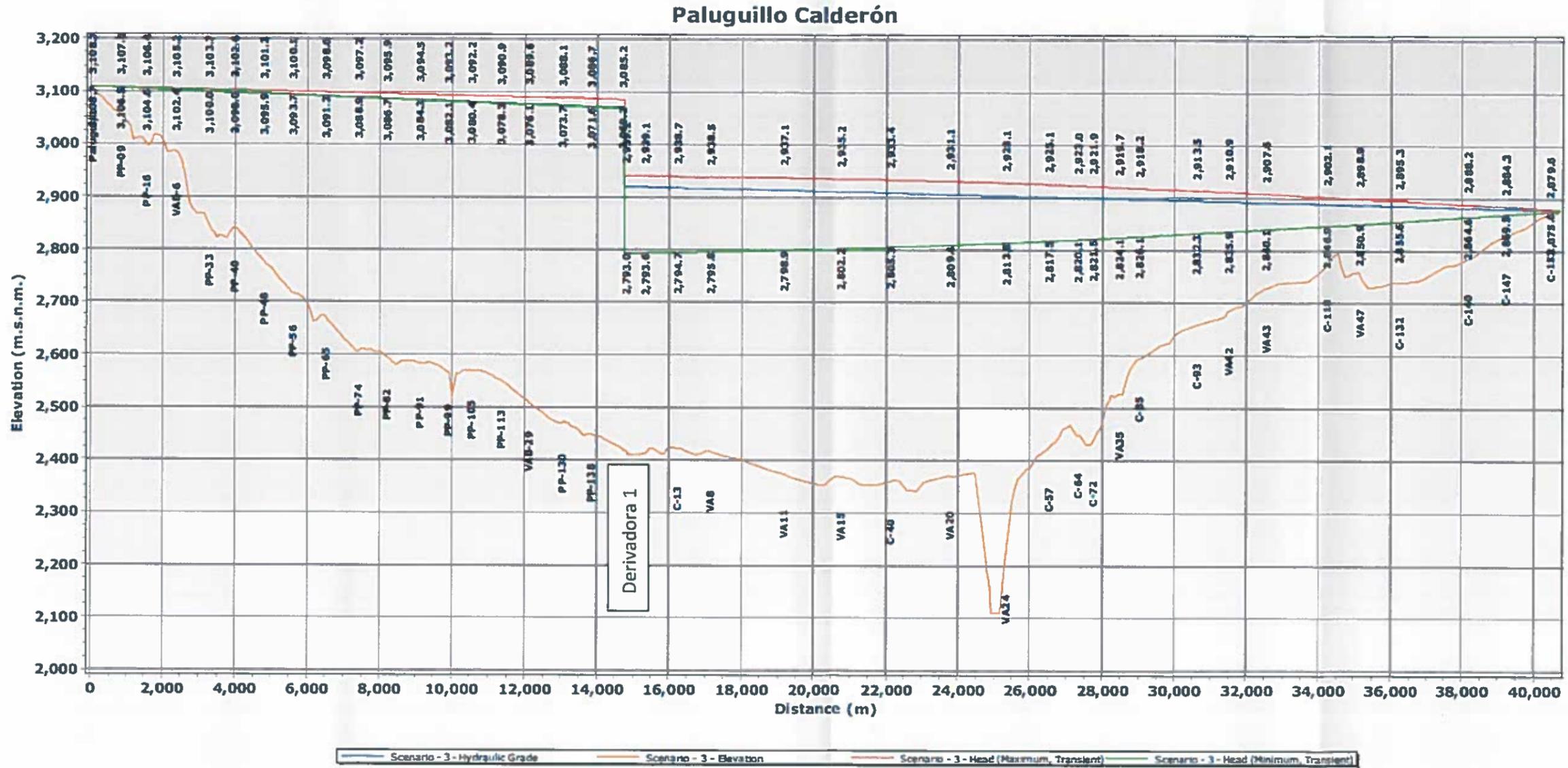
Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón

Handwritten signature and initials in blue ink.

Envoltentes de presión

Figura 77. Envoltente de presiones para el escenario de Cierre No. 3 a lo largo del perfil Paluguillo - Puembo - Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019

Handwritten signature and mark

7.4.8 Cierre: Escenario 4

El escenario No. 4 simula los fenómenos transitorios que ocurren debido a la operación de la válvula de regulación en la Cámara Derivadora No. 1, en el ramal Puembo Calderón en la válvula FCV –PC1, cuando el caudal de regulación pasa de 1300 a 0 l/s en dicho ramal, pero fluyen 3000 l/s hacia las PTAP Bellavista y Puengasí, por lo que el transitorio puede reflejarse hacia dichos tramos.

Patrón de Cierre de la válvula FCV – PC1

Después de analizar varios patrones y tiempos de operación de la válvula FCV – PC1, se determina que el cierre no debe realizarse en un tiempo menor a 240 segundos.

Figura 78. Patrón de Cierre de la válvula FCV-PC1 en el escenario 4



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)



Tabla 67: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de cierre para el Escenario 4

				Escenario 4 Cierre P - C en 2 min. Q = 1300 l/s Qt= 4300 l/s			
				Presión Máx		Presión Min	
Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	624.00	3042.70	325.85	2744.55
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	609.23	3033.12	323.77	2747.66
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	634.10	2996.63	404.91	2767.44
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	650.95	2992.20	428.93	2770.18
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	605.68	2982.24	399.30	2775.86
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	868.23	2979.13	666.68	2777.58
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	610.87	2974.70	416.73	2780.56
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	533.55	2963.21	359.76	2789.42
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	432.52	2957.52	269.64	2794.64
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	122.14	2920.10	37.22	2835.18
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	183.86	2913.64	109.61	2839.39
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	0.00	2878.39	-1.39	2877.00
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	0.00	2878.39	0.00	2878.39

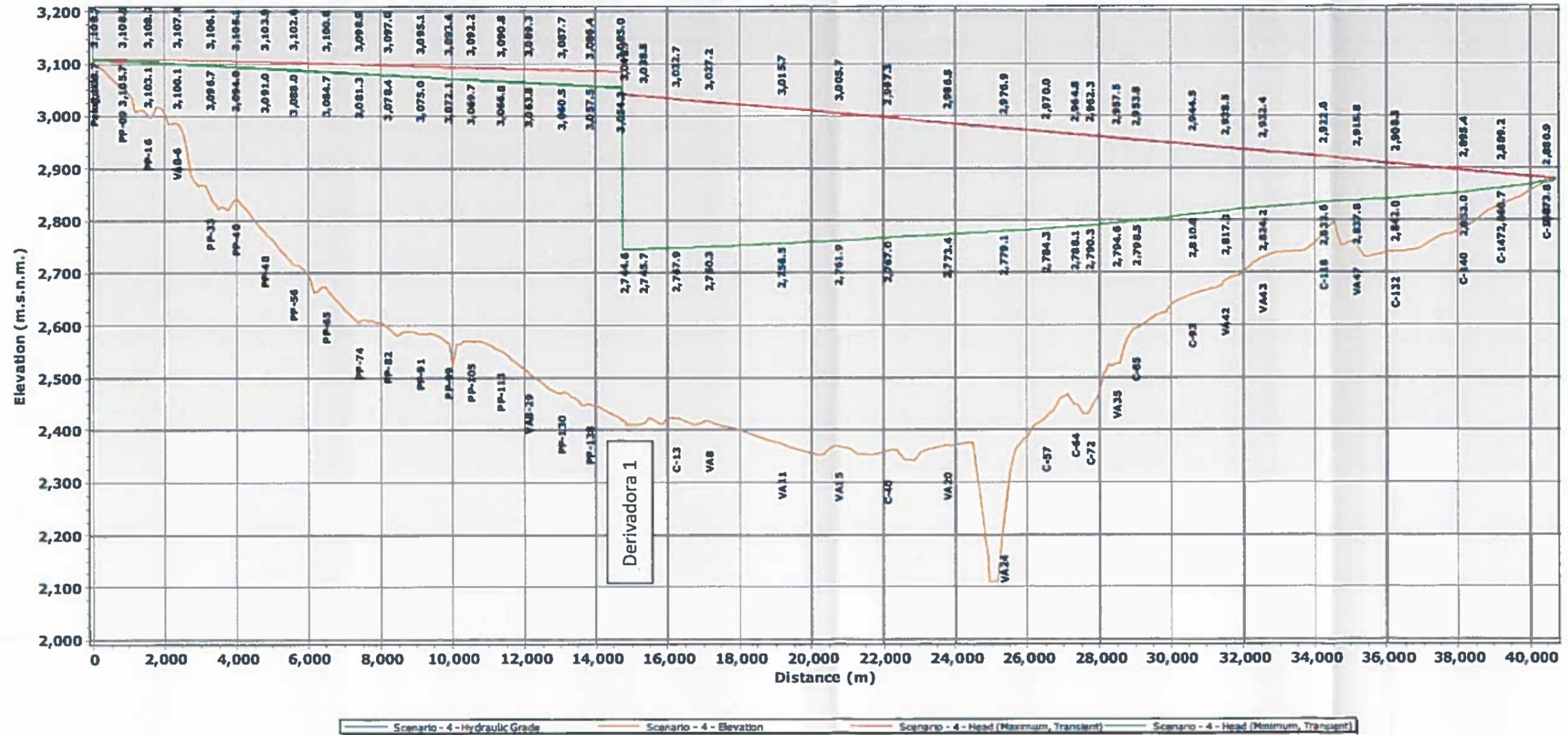
Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón



Envoltorios de presión

Figura 79. Envoltorio de presiones para el escenario de Cierre No. 4 a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón
Paluguillo Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019



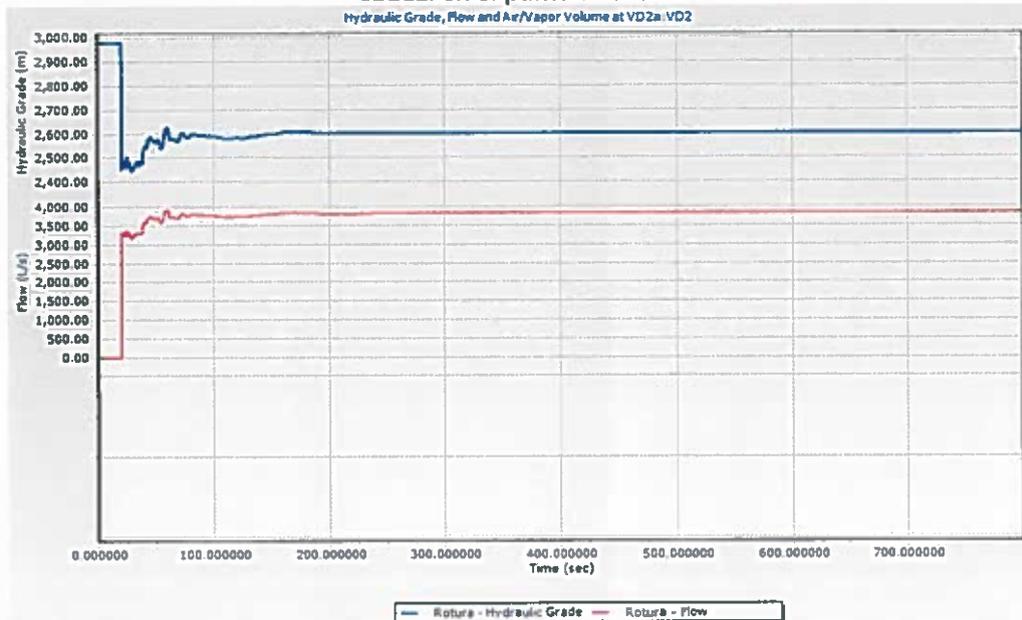

7.4.9 Escenario de Rotura

El escenario de rotura, como su nombre lo indica, simula el fenómeno de rotura de la tubería, para esto se asume que el incidente ocurre en la derivación hacia la válvula de desagüe VD-2 ubicada en el paso elevado del cruce del río Guayllabamba, que valga la pena mencionar es el punto de máxima carga hidráulica del sistema.

Dentro del esquema de la modelación se previó que la rotura de la tubería se produzca en el segundo 20, lo que se verifica en la figura siguiente, en la cual la variación de caudal es casi instantánea (línea roja), y al mismo tiempo se produce la correspondiente caída de presión (línea azul):

La variación de caudal es máxima en este punto y casi instantánea como se muestra en la siguiente figura:

Figura 80. Transitorio hidráulico producido por la rotura de la tubería, evolución del caudal en el punto de rotura



Elaboración: INGECONSULT, 2019

La línea roja en la figura anterior muestra la variación de caudal respecto al tiempo de simulación, ahí se puede notar como el caudal pasa de 0 l/s a aproximadamente 3500 l/s instantáneamente, el cual es el objetivo de la simulación de rotura.

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)



Tabla 68: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para las condiciones de rotura de la válvula VD-2. Escenario de rotura

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	Escenario Rotura en VD2			
					Presión Máx		Presión Min	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	624.38	3043.08	497.75	2916.45
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	609.89	3033.78	319.85	2743.74
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	634.10	2996.63	248.22	2610.75
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	650.96	2992.21	253.86	2595.11
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	605.68	2982.24	183.00	2559.56
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	868.21	2979.11	434.44	2545.34
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	610.88	2974.71	176.87	2540.70
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	533.58	2963.24	141.58	2571.24
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	432.52	2957.52	36.63	2561.63
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	122.13	2920.09	-7.72	2790.24
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	183.86	2913.64	33.52	2763.30
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.00	2878.39	-2.20	2876.19
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39	0.00	2878.39

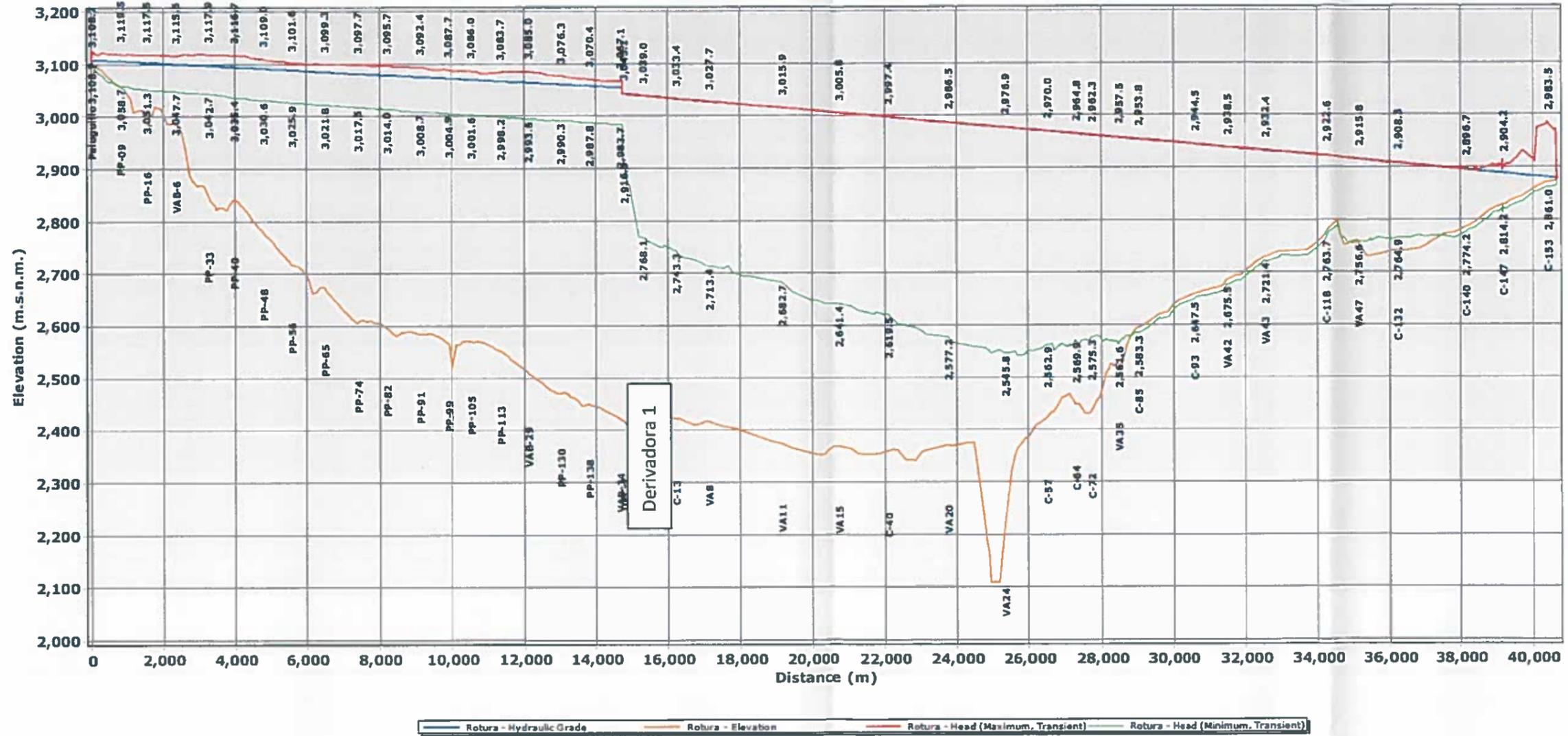
Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón




Envolventes de presión

Figura 81. Envoltente de presiones para el escenario de rotura de la tubería a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón
Paluguillo Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019



7.4.10 Escenario de apertura de la válvula de desagüe VD-2.

Este escenario simula la apertura controlada de la válvula de desagüe VD-2, con un caudal de descarga de 100 l/s.

Patrón de Apertura de la válvula VD-2

Después de analizar varios patrones y tiempos de apertura de la válvula VD-2, se determina que la operación no debe realizarse en tiempos menores a 60 segundos.

Figura 82. Patrón de Apertura de la válvula FCV-PC1 para la válvula de desagüe VD-2



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)

Tabla 69: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de apertura de la válvula de desagüe VD-2.

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	Escenario Apertura VD2 Q=200 l/s			
					Presión Máx		Presión Min	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	603.96	3022.66	592.99	3011.69
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	590.83	3014.72	577.81	3001.70
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	620.99	2983.52	600.23	2962.76
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	638.47	2979.72	616.85	2958.10
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	594.79	2971.35	571.15	2947.71
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	857.70	2968.60	833.55	2944.45
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	600.91	2964.74	577.62	2941.45
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	524.84	2954.50	504.01	2933.67
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	424.43	2949.43	404.77	2929.77
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	117.87	2915.83	106.82	2904.78
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	180.20	2909.98	170.71	2900.49
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.00	2878.39	-1.48	2876.91
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39	0.00	2878.39

Elaboración: INGECONSULT, 2019

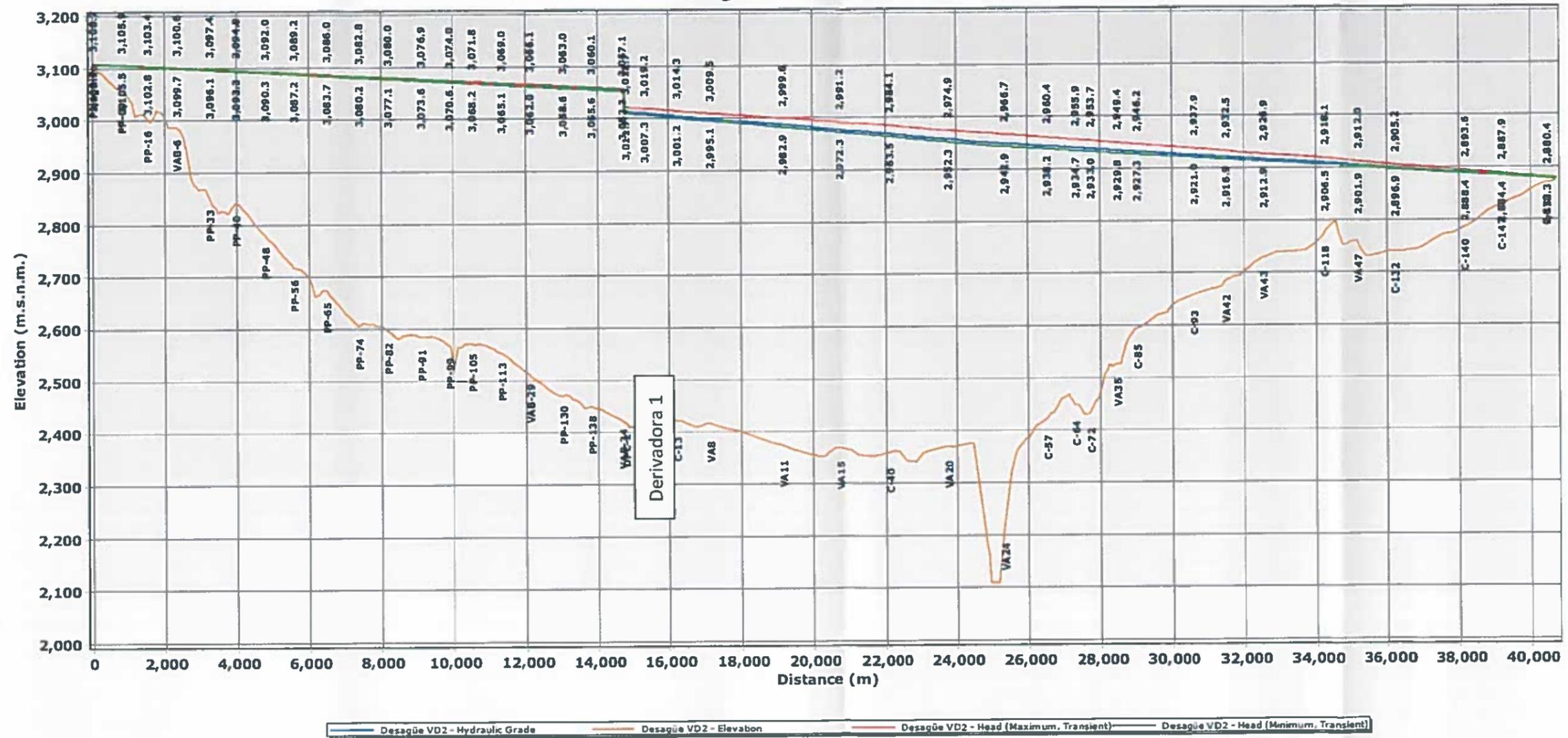
A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón



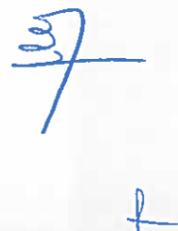
Handwritten signature and initials in blue ink.

Envoltorios de presión

Figura 83. Envoltorio de presiones para el escenario de apertura controlada de la válvula VD-2 a lo largo del perfil Paluguillo - Puembo - Calderón
Paluguillo Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019



7.4.11 Escenario de desagüe controlado o vaciado de la línea de conducción

Este escenario simula el vaciado controlado de la línea de conducción. El proceso empieza con el cierre total de la línea mediante la operación de la válvula de regulación FCV-PC1, esta operación fue representada en los escenarios de cierre 1, 2, 3 y 4 y ase determinó que dicha operación de cierre debe realizarse en un tiempo no menos a 120 s. Posteriormente se inicia el vaciado con la operación de las válvulas de desagüe principales, empezando con la válvula VD-4, se ha estimado la operación de apertura de esta válvula en un tiempo de 1 min, y el de operación de 6.4 h, durante el cual se vacía el tramo de influencia de dicha válvula *Tabla 56*), una vez terminada la operación de la válvula VD4 se procede a abrir la válvula VD-3 en un tiempo igual de 60s, el tiempo de operación de esta válvula es de 4.9 horas, una vez terminada la operación e la válvula VD3, se deberá abrir la válvula VD-1 en igual tiempo a las anteriores, el vaciado del tramo de influencia de la válvula VD-1 se vaciará en un tiempo de 5.8h, para finalmente abrir la válvula VD-2 en el cruce del río Guayllabamba en 1 min, el vaciado del tramo final a través de esta válvula se produce en 2.7 h, La secuencia de operación y apertura de las válvulas constituyen la regla de vaciado de la conducción, con este procedimiento se logra que todas las válvulas trabajen con la menor carga hidráulica posible, reduciendo la magnitud del transiente hidráulico que pueden ocasionar y evitando daños en las obras de disipación de energía construidas aguas debajo de la descarga en cada cámara, la operación para el vaciado de la línea Puembo Calderón se resume en la *Tabla 56*.

La operación de vaciado de la tubería debe realizarse **exclusivamente con las válvulas de desagüe principal** y siempre de acuerdo a la regla de operación para el vaciado de la conducción descrita en la *Tabla 56* La operación de las válvulas secundarias se realizará sólo después de haber vaciado la conducción a través de las válvulas principales.

Patrón de Apertura de las válvulas de desagüe VD-4, VD-3, VD1 y VD-2

Después de analizar varios patrones y tiempos de apertura de la válvula VD-2, se determina que la operación no debe realizarse en tiempos menores a 60 segundos.

Figura 84. Patrón de apertura de las válvulas de desagüe para la operación de vaciado de la conducción



Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se reportan los valores de la envolvente de presiones para los puntos de interés del tramo L5 (Puembo Calderón)




Tabla 70: Valores de la envolvente de presiones (presiones máximas y mínimas) para la operación de vaciado programado de la conducción Puembo Calderón.

Nudo	Descripción	ABSCISA	Cota	Longitud Total m	Escenario Apertura controlada de desagües			
					Presión Máx		Presión Min	
					Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.	Carga Hidráulica mca	Nivel Piezométrica m.s.n.m.
1	Salida de la cámara Derivación 1	0	2418.7	0	491.51	2910.21	396.65	2815.35
VA6	Puembo	1376.90	2423.89	1380.36	485.87	2909.76	391.76	2815.65
VA17	Punto alto en zona consolidada Puembo	7449.54	2362.53	7454.85	542.59	2905.12	458.20	2820.73
VD1	Válvula de Desagüe 1	8106.38	2341.25	8112.46	563.24	2904.49	480.39	2821.64
VA21	Entrada al sifón del R. Guayllabamba	9691.12	2376.56	9698.17	526.49	2903.05	447.78	2824.34
VD2	Válvula de Desagüe 2	10072.35	2110.90	10174.74	791.74	2902.64	714.25	2825.15
52	Salida del sifón del R. Guayllabamba	10738.54	2363.83	10919.04	538.06	2901.89	462.93	2826.76
VD3	Válvula de Desagüe 3	12608.45	2429.66	12795.60	470.06	2899.72	401.52	2831.18
VA35	Inicio Paso Elevado Q. Tamauco	13492.57	2525.00	13689.84	373.72	2898.72	309.39	2834.39
VA46	Punto alto en la conducción	19573.54	2797.96	19782.92	92.92	2890.88	59.04	2857.00
VD4	Válvula de Desagüe 4	20547.22	2729.78	20764.91	159.89	2889.67	130.86	2860.64
VA58	Próximo a la PTAP	25694.63	2878.39	25909.17	0.00	2878.39	-1.68	2876.71
PTAP	PTAP	25699.98	2878.39	25923.47	0.00	2878.39	0.00	2878.39

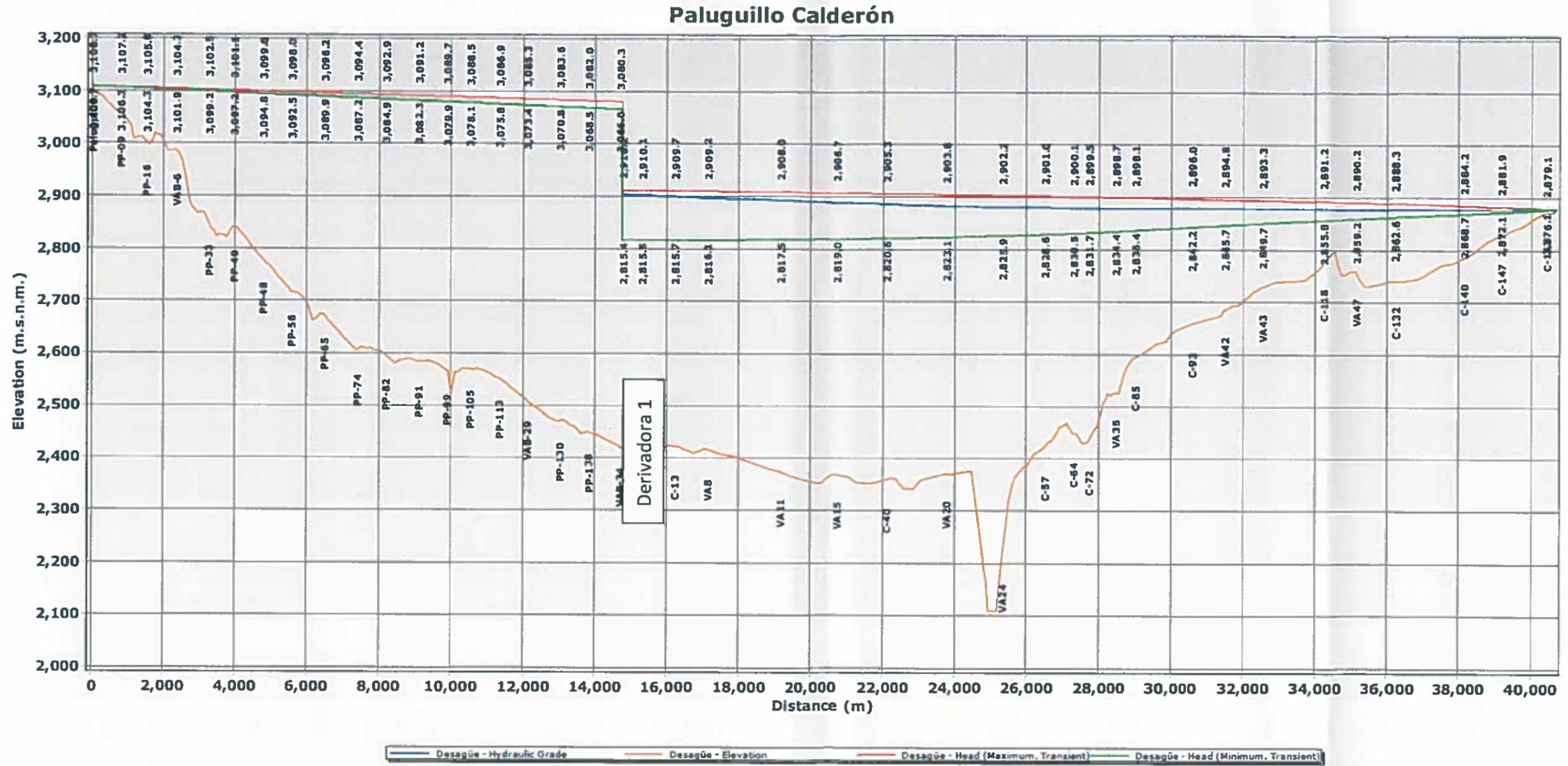
Elaboración: INGECONSULT, 2019

A continuación, se muestra la envolvente de presiones en el perfil de la conducción Paluguillo – Puembo - Calderón




Envoltentes de presión

Figura 85. Envoltente de presiones para la operación de vaciado programado de la conducción, a lo largo del perfil Paluguillo – Puembo – Calderón



Elaboración: INGECONSULT, 2019

145

F

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Los valores calculados de presión bajo condiciones de flujo permanente ratifican el diseño definido en la etapa de prefactibilidad y factibilidad.
- El rango de velocidades representativas a lo largo del ramal Puembo - Calderón, considerando tanto el escenario de diseño como los escenarios de operación planteados en el presente estudio, varía desde 1.29 m/s hasta 2,59 m/s. En consecuencia, se garantiza en todos los casos auto limpieza para las velocidades mínimas. Las velocidades máximas alcanzan un valor relativamente bajo, que no pone en riesgo a la estabilidad del recubrimiento interno.
- Las altas cargas de presión con las que opera el ramal Puembo Calderón justifica que el mismo sea construido en acero soldado, garantizando así la seguridad de esta línea.
- Se han definido cuatro cámaras de desagüe principales las cuales permiten el vaciado del tramo aproximadamente en un 75%, el 25 % restante deberá ser evacuado a través de válvulas de desagüe secundarias, las mismas que operan con cargas reducidas menores a 20 mca.
- El análisis de flujo no permanente determina que para operaciones de apertura y cierre la maniobra en las válvulas de control de flujo instaladas en la cámara Derivadora 1 no debe durar menos de 2 min.
- Se determina la regla de operación para el vaciado de la conducción de tal forma que se produzca la menor sobrepresión por golpe de ariete debido a la operación de las válvulas de desagüe principales. Cada válvula se deberá abrir en un tiempo no menor a 60 segundos, una vez vaciado el tramo de influencia de cada válvula se deberá continuar con la siguiente. El orden de operación de las válvulas de desagüe principales es VD4; VD3; VD2 y finalmente VD1.
- Por ningún motivo se deberá intentar el vaciado de la conducción por medio de las válvulas de desagüe secundarias, estas están ubicadas de tal forma que influyen en tramos pequeños de tuberías que por cuestión topográfica no pueden ser vaciados a través de la operación de las válvulas principales, las cargas de operación de las válvulas secundarias no superan los 21 m.c.a.
- La rotura de la tubería en la zona de alta carga, (paso elevado cruce del río Guayllabamba), no produce sobrepresiones de gran magnitud, la presión por golpe de ariete apenas supera a la presión dinámica normal o presión por flujo permanente, lo que si se produce es un drástico descenso en lo que se refiere a presiones mínimas, sin que lleguen a valores negativos en las dos terceras partes de la conducción, el último tercio de la conducción la línea piezométrica desciende hasta valores negativos por lo que las válvulas de aire entran en acción evitando que dichas presiones lleguen a alcanzar valores cercanos a la presión de colapso

37

f

de la tubería por lo que se tiene garantizada su integridad física incluso durante este escenario crítico.

- Durante la operación de desagüe controlado, la regla de operación (la secuencia de apertura de válvulas de desagüe) y los tiempos de ejecución de la apertura propiamente dicha producen un transiente hidráulico con sobrepresión de apenas el 3% respecto a la presión dinámica y un descenso o presión mínima del 7% respecto a la presión dinámica, sin que se produzcan presiones negativas a lo largo de toda la conducción.
- El transiente producido por la operación de los dispositivos de regulación de caudal en el ramal Puembo Calderón, se transmite al ramal Paluguillo Bellavista Puengasí.
- El diseño hidráulico a nivel de Diseño definitivo ratifica la viabilidad hidráulica de la línea para continuar con el diseño definitivo.

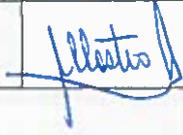
"DISEÑO DEFINITIVO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN PUEMBO – CALDERÓN"

INFORME FINAL DEFINITIVO

DICIEMBRE, 2019



VOLUMEN 05a- MODELOS HIDRÁULICOS PARA FLUJO PERMANENTE Y NO PERMANENTE DE LA LC PUEMBO CALDERÓN (ARCHIVO DIGITAL)

REV.	FECHA	ELABORACIÓN		REVISIÓN	
		NOMBRE	FIRMA	NOMBRE	FIRMA
A	2019-12-04	Ing. Ximena Hidalgo, M.Sc. Ing. Gustavo Angulo, M.Sc. Ing. Carmen López		Dr. Marco Castro.	
<ul style="list-style-type: none"> A: Emisión Inicial, 2019-12-04 					