



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“ESTUDIO Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS
DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE RIEGO DE LA ZONA
TB 11 DE LAS PARROQUIAS SAN LUIS- MALDONADO-
CUBIJÍES DEL CANTÓN RIOBAMBA”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar para el grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES: IRENE BEATRIZ PLACENCIA SAETAMA

LUIS JAVIER SANI PAGUAY

DIRECTOR: ING. MARCELO CALISPA M.Sc.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Irene Beatriz, Placencia Saetama; & Luis Javier Sani Paguay

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Irene Beatriz Placencia Saetama y Luis Javier Sani Paguay declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de marzo 2021



Irene Beatriz Placencia Saetama

C.I. 140126151-4



Luis Javier Sani Paguay

C.I: 060353116-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, “**ESTUDIO Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE RIEGO DE LA ZONA TB 11 DE LAS PARROQUIAS SAN LUIS – MALDONADO – CUBIJÍES DEL CANTÓN RIOBAMBA**”, realizado por la señorita: **IRENE BEATRIZ PLACENCIA SAETAMA** y el señor: **LUIS JAVIER SANI PAGUAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal del Trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---|--|--------------|
| Ing. Marco Homero Almendariz Puente PRESIDENTE DE TRIBUNAL |  Firmado electrónicamente por: MARCO HOMERO ALMENDARIZ PUENTE | 2021-03-09 |
| Ing. Marcelo Esteban Calispa Aguilar M.Sc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN |  Firmado electrónicamente por: MARCELO ESTEBAN CALISPA AGUILAR | 2021-03-09 |
| Ing. Fernando Mauricio Tello Oquendo Ph.D. MIEMBRO DE TRIBUNAL |  Firmado electrónicamente por: FERNANDO MAURICIO TELLOOQUENDO | 2021-03-09 |

DEDICATORIA

El motor que impulsa mis fuerzas es la confianza que pongo en Dios, el fruto de mis sacrificios es para ustedes con mucho amor, papá, Angel María Placencia Chacha y mamá, Narcisa de Jesús Saetama Illescas, les dedico este trabajo, aunque sé que es muy poco para los grandes esfuerzos que han realizado conjuntamente con mis hermanos y el apoyo incondicional que he recibido de toda mi familia... ¡Los quiero mucho!

Irene

El presente trabajo está dedicado al esfuerzo, sacrificio, y amor de mis padres María Flor Paguay Macas, Luis Alfredo Sani Satán y mi querida hermana Katty Daniela Sani Paguay que me han brindado su apoyo incondicional durante toda mi vida educativa.

Luis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Jehová nuestro Creador por haberme dado tantas bendiciones durante mi corta vida, lo que incluye a mis padres, amigos, profesores y toda persona que he llegado a conocer, porque sin duda, de cada uno de ellos he aprendido muchísimo para mi formación personal y profesional.

Agradezco a las autoridades de la ESPOCH que en su momento aceptaron mi postulación en la prestigiosa institución, lo cual llenó de mucha alegría en mi corazón. Dar gracias también a la institución JURECH por darnos el espacio para realizar nuestro proyecto... ¡Muchísimas gracias a todos!

Irene

Agradezco a mis padres, familiares y amigos que me apoyaron durante todo momento para culminar con éxito mi carrera.

También a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en especial a la Carrera de Ingeniería Industrial por ofrecer un servicio educativo eficiente el cual ahora me hace un profesional comprometido, responsable y honesto. A mis profesores de cátedra quienes compartieron sus conocimientos y experiencias sin limitación alguna y siempre estuvieron prestos a enseñar cuando se los solicitaba y los cuales me sirvieron a desarrollar esta tesis.

Luis

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|-------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xv |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xvii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xviii |
| RESUMEN..... | xix |
| ABSTRACT..... | xx |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|--------------------------------------|---|
| 1. MARCO REFERENCIAL..... | 2 |
| 1.1. Antecedentes..... | 2 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.3. Justificación..... | 4 |
| 1.4. Objetivos..... | 4 |
| 1.4.1. Objetivo General..... | 4 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 4 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 2.1. Riego..... | 6 |
| 2.2. Relación agua – suelo..... | 6 |
| 2.3. Características del suelo..... | 6 |
| 2.4. Características de los cultivos..... | 7 |
| 2.5. Aguas superficiales..... | 7 |
| 2.6. Abastecimiento de agua por gravedad..... | 7 |
| 2.7. Línea de conducción por gravedad..... | 8 |
| 2.8. Distribución por turno o rotación..... | 8 |
| 2.9. Fluido..... | 9 |
| 2.10. Caudal de derivación..... | 9 |
| 2.11. Velocidad horizontal del desarenador..... | 9 |
| 2.11.1. Velocidad de sedimentación de la partícula crítica..... | 10 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.12. | Red de tuberías..... | 10 |
| 2.12.1. | <i>Criterios de selección de tuberías</i> | 11 |
| 2.13. | Red de distribución ramificada..... | 11 |
| 2.14. | Densidad..... | 11 |
| 2.15. | Viscosidad del agua..... | 12 |
| 2.16. | Ecuación de continuidad..... | 12 |
| 2.17. | Ecuación de Bernoulli | 13 |
| 2.18. | Pérdidas de carga..... | 14 |
| 2.18.1. | <i>Cálculo hidráulico por gravedad</i> | 15 |
| 2.18.2. | <i>Pérdidas menores</i> | 15 |
| 2.18.2.1. | <i>Longitud equivalente</i> | 16 |
| 2.18.3. | <i>Pérdidas por fricción (Ecuación de Darcy Weisbach)</i> | 17 |
| 2.18.3.1. | <i>Coefficiente de fricción</i> | 18 |
| 2.18.3.2. | <i>Rugosidad relativa</i> | 18 |
| 2.18.3.3. | <i>Reynolds</i> | 19 |
| 2.19. | Ecuación de Manning | 19 |
| 2.19.1. | <i>Cálculo del caudal a sección llena (Q_0)</i> | 20 |
| 2.19.2. | <i>Velocidad en tuberías</i> | 20 |
| 2.19.3. | <i>Diámetro de diseño</i> | 20 |
| 2.20. | Efecto de Venturi..... | 21 |
| 2.21. | Perfil topográfico..... | 22 |
| 2.22. | Pendiente hidráulica J. | 22 |
| 2.23. | Presión máxima de trabajo | 23 |
| 2.23.1. | <i>Exceso de desnivel</i> | 23 |
| 2.23.2. | <i>Línea de gradiente hidráulica</i> | 24 |
| 2.24. | Componentes básicos | 24 |
| 2.24.1. | <i>Válvula de aire</i> | 24 |
| 2.24.2. | <i>Válvulas de desfogue</i> | 24 |
| 2.24.3. | <i>Protección catódica galvánica</i> | 25 |
| 2.25. | GPS..... | 25 |
| 2.26. | Señalización: Placas rectangulares | 25 |
| 2.26.1. | <i>Señal de precaución</i> | 26 |

Capítulo III

| | | |
|------|---|----|
| 3. | SITUACIÓN INICIAL | 27 |
| 3.1. | Descripción del sistema de riego Chambo – Guano | 27 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.1.1. | <i>Ubicación geográfica</i> | 28 |
| 3.1.2. | <i>Zonas del sistema de riego Chambo – Guano</i> | 29 |
| 3.1.3. | <i>Canal principal</i> | 30 |
| 3.2. | Tubería principal TB11 | 31 |
| 3.2.1. | <i>Descripción general</i> | 31 |
| 3.2.2. | <i>Caudal característico</i> | 36 |
| 3.2.3. | <i>Reservorios</i> | 36 |
| 3.2.4. | <i>Zonas que se abastecen de la tubería TB11</i> | 38 |
| 3.3. | Parámetros técnicos de los accesorios de la tubería TB11 | 38 |
| 3.3.1. | <i>Protección catódica</i> | 38 |
| 3.3.2. | <i>Válvula de Desfogue</i> | 39 |
| 3.3.3. | <i>Válvulas de aire</i> | 41 |
| 3.3.4. | <i>Paso hombre</i> | 43 |
| 3.3.5. | <i>Válvula de control</i> | 44 |
| 3.3.6. | <i>Fin de tubería</i> | 45 |
| 3.3.7. | <i>Ramificaciones de la TB11</i> | 46 |
| 3.3.7.1. | <i>Válvula de interconexión</i> | 46 |
| 3.3.7.2. | <i>Válvula de desfogue</i> | 48 |
| 3.3.7.3. | <i>Válvula de aire</i> | 49 |
| 3.3.7.4. | <i>Medidor de Venturi</i> | 49 |
| 3.3.7.5. | <i>Válvula mariposa</i> | 51 |
| 3.4. | Colocación de señalética en subtendido actual | 52 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|----------|--|----|
| 4. | CÁLCULOS DE LA SITUACIÓN INICIAL Y REDISEÑO | 54 |
| 4.1. | Análisis hidráulico de la situación inicial | 54 |
| 4.1.1. | <i>Cálculo de la velocidad horizontal del desarenador.</i> | 54 |
| 4.1.2. | <i>División por tramos Tubería TB11</i> | 55 |
| 4.1.3. | <i>Cálculo de caudales mediante la ecuación de Manning</i> | 57 |
| 4.1.3.1. | <i>Resultado de caudales iniciales</i> | 59 |
| 4.2. | Cálculo de pérdidas de carga por tramo | 59 |
| 4.2.1. | <i>Cálculo de velocidad</i> | 60 |
| 4.2.2. | <i>Número de Reynolds</i> | 60 |
| 4.2.3. | <i>Coefficiente de fricción (f)</i> | 60 |
| 4.2.4. | <i>Pérdidas por fricción (hf)</i> | 60 |
| 4.2.5. | <i>Pérdidas menores</i> | 61 |

| | | |
|----------|---|----|
| 4.2.5.1. | <i>Coeficiente K de resistencia</i> | 61 |
| 4.2.5.2. | <i>Coeficiente K para válvulas mariposa</i> | 61 |
| 4.2.5.3. | <i>Coeficiente K para válvula de compuerta abierta a la mitad</i> | 62 |
| 4.2.6. | <i>Pérdidas totales</i> | 62 |
| 4.3. | Comprobación con el Software EPANET de la situación inicial | 63 |
| 4.3.1. | <i>Resultado del análisis en las líneas de la red de tuberías</i> | 63 |
| 4.4. | Cálculo de la presión en puntos críticos | 65 |
| 4.4.1. | <i>Cálculo Ecuación de Manning</i> | 65 |
| 4.4.2. | <i>Caída de presión en puntos bajos del sistema</i> | 67 |
| 4.4.3. | <i>Comprobación con software EPANET 2.0 del análisis en los nudos de la red de tuberías</i> | 68 |
| 4.5. | Propuesta de trayectoria del sistema TB11 | 70 |
| 4.5.1. | <i>Trayectorias propuestas para ramales</i> | 70 |
| 4.5.1.1. | <i>Ramal reservorio 65</i> | 70 |
| 4.5.1.2. | <i>Ramal reservorio 67B</i> | 73 |
| 4.6. | Rediseño hidráulico de la tubería | 77 |
| 4.6.1. | <i>Cálculo de pendiente por tramos del sistema de tuberías TB11</i> | 77 |
| 4.6.2. | <i>Diámetro de rediseño trayectoria principal crítica</i> | 80 |
| 4.6.3. | <i>Caudal en sección llena</i> | 80 |
| 4.6.4. | <i>Cálculo de pérdidas de carga para trayectoria crítica</i> | 81 |
| 4.6.5. | <i>Cálculo de rediseño de los ramales</i> | 84 |
| 4.6.5.1. | <i>Cálculo de las pérdidas de carga, altura piezométrica y presión para cada uno de los ramales</i> | 86 |
| 4.6.6. | <i>Dimensión de accesorios</i> | 89 |

CAPÍTULO V

| | | |
|--------|--|-----|
| 5. | RESULTADOS | 90 |
| 5.1. | Evaluación del sistema TB11 | 90 |
| 5.1.1. | <i>Tubería principal</i> | 90 |
| 5.1.2. | <i>Ramales</i> | 92 |
| 5.1.3. | <i>Tabla comparativa cantidad total de accesorios en el sistema TB11</i> | 94 |
| 5.2. | Recolección de parámetros técnicos de los accesorios del sistema TB11 | 95 |
| 5.2.1. | <i>Tubería principal</i> | 95 |
| 5.2.2. | <i>Ramales</i> | 97 |
| 5.2.3. | <i>Diagnóstico de los accesorios hidráulicos</i> | 98 |
| 5.3. | Resultados de caudales y velocidades | 102 |
| 5.4. | Trayectorias para ramales | 104 |

| | | |
|-----------------|---|------------|
| 5.5. | Rediseño de tubería TB11 | 105 |
| 5.6. | Mantenimiento del sistema..... | 105 |
| 5.6.1. | <i>Mantenimiento del desarenador</i> | 106 |
| 5.6.2. | <i>Válvulas de desfogue y de interconexión.....</i> | 107 |
| 5.6.3. | <i>Válvulas de aire</i> | 107 |
| 5.6.4. | <i>Protecciones catódicas</i> | 108 |
| 5.6.5. | <i>Protecciones para Tubería PVC.</i> | 108 |
| 5.6.5.1. | <i>Anclajes</i> | 109 |
| 5.6.6. | <i>Válvulas Mariposa de ingreso al reservorio</i> | 110 |
| 5.7. | Comparación de diámetros, pérdidas del sistema actual y rediseño | 110 |
| 5.8. | Análisis de costos | 111 |
| 5.8.1. | Costo de señalización | 112 |
| | CONCLUSIONES..... | 113 |
| | RECOMENDACIONES..... | 114 |
| | GLOSARIO | |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tabla 1-2: | Ventajas y desventajas de la red de distribución ramificada | 11 |
| Tabla 2-2: | Viscosidad del agua a diferentes temperaturas..... | 12 |
| Tabla 3-2: | Coeficiente K de pérdida de cargas para accesorios..... | 15 |
| Tabla 4-2: | Resistencia de las válvulas expresadas en longitud equivalente | 16 |
| Tabla 5-2: | Valores de rugosidad equivalente para tuberías comerciales nuevas. | 18 |
| Tabla 6-2: | Diámetros nominales e interiores | 21 |
| Tabla 7-2: | Dimensiones para rótulos cuadrados y rectangulares | 25 |
| Tabla 1-3: | Coordenada de la compuerta captación para ingreso del agua a la tubería TB11. . | 31 |
| Tabla 2-3: | Coordenadas del paso elevado..... | 34 |
| Tabla 3-3: | Resumen de accesorios del sistema de tuberías TB11..... | 35 |
| Tabla 4-3: | Datos técnicos de reservorios y mini proyectos | 37 |
| Tabla 5-3: | Especificaciones de las protecciones catódicas | 39 |
| Tabla 6-3: | Especificaciones de las válvulas de desfogue presentes en el sistema TB 11 | 41 |
| Tabla 7-3: | Especificaciones de las válvulas de aire (ventosas)..... | 42 |
| Tabla 8-3: | Características de los pasos hombre | 43 |
| Tabla 9-3: | Detalle de válvula de control..... | 44 |
| Tabla 10-3: | Coordenadas del de fin tubería..... | 45 |
| Tabla 11-3: | Detalles de ramificaciones..... | 46 |
| Tabla 12-3: | Detalles válvulas de interconexión..... | 46 |
| Tabla 13-3: | Detalles de válvula de desfogue de las ramificaciones..... | 48 |
| Tabla 14-3: | Detalles de válvulas de aire de ramificaciones | 49 |
| Tabla 15-3: | Especificaciones de medidores de Venturi de las ramificaciones | 50 |
| Tabla 16-3: | Detalles de las válvulas mariposa..... | 51 |
| Tabla 17-3: | Elementos para ubicación de la señalética | 52 |
| Tabla 1-4: | Denominación de los nodos en la red de tubería principal de la TB11 | 55 |
| Tabla 2-4: | Tramos de la red de tubería TB11 | 56 |
| Tabla 3-4: | Datos técnicos de los puntos principales del sistema de tuberías TB11..... | 57 |
| Tabla 4-4: | Resultado de caudales iniciales del sistema de tuberías TB11. | 59 |
| Tabla 5-4: | Datos para el cálculo de las pérdidas de carga. | 59 |
| Tabla 6-4: | Coeficiente K de accesorios de los tramos del sistema de tuberías TB11 | 61 |
| Tabla 7-4: | Coeficiente K para válvulas mariposa. | 62 |
| Tabla 8-4: | Cálculo de pérdidas totales de carga para los tramos en la situación inicial. | 63 |
| Tabla 9-4: | Tabla de red - Líneas | 63 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 10-4: Datos para cálculo de la caída de presión en puntos críticos..... | 65 |
| Tabla 11-4: Pérdidas totales en los puntos más bajos del sistema de los tramos IT- VD1, IT-VD3 | 67 |
| Tabla 12-4: Tabla de red – Nudos EPANET | 68 |
| Tabla 13-4: Comparación de resultados de presiones..... | 70 |
| Tabla 14-4: Especificaciones técnicas trayectoria actual y propuestas del ramal R65 | 71 |
| Tabla 15-4: Análisis de las propuestas 1 y 2..... | 73 |
| Tabla 16-4: Datos de las propuestas 1 y 2 para ramal R65..... | 73 |
| Tabla 17-4: Pérdidas totales de propuestas 1 y 2 para ramal R65..... | 73 |
| Tabla 18-4: Especificaciones técnicas trayectoria actual y propuestas del ramal R67B..... | 74 |
| Tabla 19-4: Datos para trayectorias propuestas 1 y 2 del ramal 67B..... | 76 |
| Tabla 20-4: Datos técnicos de las propuestas 1 y 2 del reservorio R67B. | 76 |
| Tabla 21-4: Pérdidas totales de propuestas 1 y 2 para ramal R67B..... | 77 |
| Tabla 22-4: Datos de los tramos para rediseño. | 78 |
| Tabla 23-4: Resultados de la pendiente hidráulica J para el rediseño..... | 79 |
| Tabla 24-4: Diámetros de rediseño de la trayectoria crítica | 80 |
| Tabla 25-4: Caudales de rediseño en sección llena para los tramos. | 81 |
| Tabla 26-4: Datos para el rediseño de tubería PVC..... | 83 |
| Tabla 27-4: Pérdidas de carga y altura piezométrica de los tramos de la tubería principal crítica. | 84 |
| Tabla 28-4: Datos para el rediseño de los ramales..... | 84 |
| Tabla 29-4: Resultados y datos para el rediseño de los ramales 51, 64, 65, 66, 67B..... | 86 |
| Tabla 30-4: Pérdidas de carga en el rediseño para ramales 51, 64, 65, 66, 67B..... | 88 |
| Tabla 31-4: Lista de accesorios para el rediseño. | 89 |
| Tabla 1-5: Distancias de tuberías de 800 mm y 600 mm..... | 90 |
| Tabla 2-5: Resumen de accesorios en funcionamiento según su tipo, presentes en la tubería principal. | 91 |
| Tabla 3-5: Caudal suministrado a los reservorios | 92 |
| Tabla 4-5: Cantidad de accesorios existentes y en buenas condiciones de los ramales..... | 94 |
| Tabla 5-5: Accesorios en el sistema TB11..... | 95 |
| Tabla 6-5: Especificaciones técnicas de los accesorios presentes en la tubería principal..... | 95 |
| Tabla 7-5: Especificaciones técnicas de accesorios en ramales | 97 |
| Tabla 8-5: Listado de inconvenientes de la tubería TB11..... | 99 |
| Tabla 9-5: Resultados del caudal, velocidad y las pérdidas de carga en la situación inicial | 103 |
| Tabla 10-5: Resumen del rediseño para las tuberías TB11 | 105 |
| Tabla 11-5: Anchura mínima de zanja..... | 108 |
| Tabla 12-5: Valores de coeficiente K | 110 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 13-5: Resumen comparativo de diámetros y pérdidas del sistema actual y rediseño .. | 110 |
| Tabla 14-5: Descripción de costos aproximados de tubería, válvulas, instalación y excavación | 111 |
| Tabla 15-5: Descripción de costos de señalización..... | 112 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 1-2. | Abastecimiento de agua por gravedad..... | 8 |
| Figura 2-2. | Distribución de agua por gravedad..... | 8 |
| Figura 3-2. | Esquema de la ecuación de continuidad..... | 13 |
| Figura 4-2. | Esquema de la ecuación de Bernoulli..... | 14 |
| Figura 5-2. | Perfil topográfico..... | 22 |
| Figura 6-2. | Pendiente hidráulica..... | 23 |
| Figura 7-2. | Válvula de desfogue o compuerta..... | 24 |
| Figura 8-2. | Requerimientos de diseño para señal de precaución..... | 26 |
| Figura 1-3. | Ubicación geográfica del..... | 29 |
| Figura 2-3. | Esquema general del sistema de riego Chambo- Guano..... | 30 |
| Figura 3-3. | Desviación e ingreso del caudal de 600 l/s hacia la TB11..... | 31 |
| Figura 4-3. | Desarenador..... | 32 |
| Figura 5-3. | Inicio de la tubería TB11..... | 32 |
| Figura 6-3. | Caudal de ingreso a la tubería TB11..... | 33 |
| Figura 7-3. | Paso elevado tubería TB11, quebrada de Guaslán..... | 33 |
| Figura 8-3. | Fin del paso elevado..... | 34 |
| Figura 9-3. | Erosión del suelo sobre tubería..... | 35 |
| Figura 10-3. | Protección catódica 2, obra civil en mal estado..... | 38 |
| Figura 11-3. | Válvula de desfogue 5 con adecuación para mini proyectos..... | 40 |
| Figura 12-3. | Cámara de válvula de desfogue 16 cubiertas de tierra (San Clemente)..... | 40 |
| Figura 13-3. | Válvula de aire 2 junto a vivienda, comunidad San Antonio..... | 42 |
| Figura 14-3. | Válvula de aire 16 comprimida (San Clemente)...... | 42 |
| Figura 15-3. | Paso hombre..... | 44 |
| Figura 16-3. | Válvula de control..... | 45 |
| Figura 17-3. | Fin de la tubería TB11 referencia protección catódica 8..... | 46 |
| Figura 18-3. | Válvula de interconexión..... | 47 |
| Figura 19-3. | Válvula de desfogue del ramal hacia el reservorio 51..... | 48 |
| Figura 20-3. | Medidor de Venturi R65..... | 49 |
| Figura 21-3. | Placa de datos técnicos de un medidor de Venturi..... | 50 |
| Figura 22-3. | Válvula mariposa..... | 52 |
| Figura 23-3. | Señalética para accesorios de la TB11..... | 53 |
| Figura 1-4. | Tramos de la red ramificada inicial TB11..... | 56 |
| Figura 2-4. | Trayectorias actuales y propuestas del ramal hacia el reservorio 65..... | 71 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Figura 3-4. | Trayectoria actual y propuesta para ramal reservorio 67B..... | 74 |
| Figura 4-4. | Esquema de la trayectoria principal crítica para rediseño. | 79 |
| Figura 1-5. | Malas condiciones de los accesorios por falta de mantenimiento..... | 92 |
| Figura 2-5. | Válvula de aire 1 reservorio 67B en el interior de una propiedad..... | 93 |
| Figura 3-5. | Tubería expuesta antes del medidor de Venturi del reservorio 64 | 93 |
| Figura 4-5. | Esquema de conjunto de trayectorias de desarenador. | 106 |
| Figura 5-5. | Anclaje de dirección..... | 109 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gráfico 1-3. | Organigrama estructural de la JURECH..... | 28 |
| Gráfico 1-4. | Perfil topográfico de las válvulas de interconexión y reservorios | 57 |
| Gráfico 1-5. | Accesorios en buenas condiciones de la línea principal | 91 |
| Gráfico 2-5. | Accesorios existentes y en buenas condiciones de los ramales. | 94 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MEDIDOR DE VENTURI
- ANEXO B.** TRAYECTORIA SISTEMA DE TUBERÍAS TB11
- ANEXO C.** DISTANCIA DE LÍNEA PRINCIPAL DE LA TUBERÍA
- ANEXO D.** DISTANCIA DE LOS RAMALES
- ANEXO E.** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ACCESORIOS DE LA TUBERÍA TB11
- ANEXO F.** COEFICIENTES DE RESISTENCIA K DE LOS ACCESORIOS DE LA TUBERÍA TB11
- ANEXO G.** TRAYECTORIA ACTUAL Y PROPUESTA DEL RAMAL 65
- ANEXO H.** TRAYECTORIA ACTUAL Y PROPUESTA DEL RAMAL 67B
- ANEXO I.** COLOCACIÓN DE SEÑALIZACIÓN

RESUMEN

El trabajo realizado tuvo como objetivo estudiar y rediseñar el sistema de tuberías de distribución de agua de riego de la zona TB11 de las parroquias San Luis – Maldonado – Cubijíes, del Cantón Riobamba. Se evaluó el sistema de riego TB11 por observación directa y recopiló información del estado actual y datos técnicos de todos los componentes, para establecer la situación hidráulica inicial por medio de la ecuación de Manning. Dentro de los cálculos hidráulicos se obtuvo valores de caudal, velocidad y, por último, las pérdidas de carga que fueron de 99,44 m.c.a., se propuso trayectorias para los ramales de los reservorios 65 y 67B considerando dos alternativas en las cuales se evaluó aspectos cualitativos (longitud de tubería y posibilidad de construcción de viviendas) e hidráulicos (pérdidas de carga). Además, se colocó y realizó la señalética bajo la norma INEN 878:2013 para 11 lugares seleccionados del trayecto de la tubería. Posteriormente, se rediseñó la tubería en base a la ecuación de Manning donde se consiguió los nuevos diámetros y caudales con los cuales el sistema cumplirá el abastecimiento de forma correcta a cada reservorio. Se realizó además un listado de mantenimiento con acciones correctivas inmediatas e inspecciones visuales para el buen funcionamiento de las válvulas de desfogue, válvulas de aire, válvulas de interconexión y válvulas mariposa. Por último, se realizó una estimación del presupuesto para la implementación del nuevo sistema de tuberías TB11 que resultó de \$ 3' 650 808, 00 dólares americanos.

Palabras clave: <SELECCIÓN DE TUBERÍAS>, <TUBERÍAS TB11>, <SISTEMA DE RIEGO CHAMBO - GUANO>, <TUBERÍA ENTERRADA>, <ECUACIÓN DE MANNING>



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



15-04-2021

1019-DBRAI-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this work was to study and redesign the irrigation water distribution piping system of the TB11 zone of the San Luis - Maldonado - Cubijfes parishes, in Riobamba canton. The TB11 irrigation system was evaluated by direct observation and information was collected on the current status and technical data of all components to establish the initial hydraulic situation through Manning's equation. The hydraulic calculations included flow and velocity values and, finally, head losses of 99.44 m.c.a., and proposed trajectories for the branches of reservoirs 65 and 67B, considering two alternatives in which qualitative (length of pipe and possibility of building houses) and hydraulic (head losses) aspects were evaluated. Also, signage was placed and made under the INEN 878:2013 standard for 11 selected locations along the pipeline route. Subsequently, the pipeline was redesigned based on Manning's equation where the new diameters and flow rates with which the system will correctly supply each reservoir were obtained. A maintenance list was also prepared with immediate corrective actions and visual inspections for the proper functioning of the release valves, air valves, interconnection valves, and butterfly valves. Finally, a budget estimate was made for the implementation of the new TB11 piping system which resulted in \$ 3' 650 808, 00 US dollars.

Key words: <PIPE SELECTION>, <TB11 PIPES>, <CHAMBO - GUANO IRRIGATION SYSTEM>, <BURIED PIPE>, <MANNING EQUATION>.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrenta la humanidad en la actualidad es la falta de alimentos para la población mundial, por lo que la Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de su organismo mundial para la alimentación, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), viene realizando esfuerzos para que a nivel mundial la producción de alimentos satisfaga las necesidades de todos los habitantes. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2020)

Por otro lado, visto que el agua es un recurso natural que no está distribuido uniformemente en el planeta, se hace indispensable que su utilización sea aprovechada óptimamente en las actividades primarias como “consumo humano y agricultura”. En este sentido la aplicación de la ciencia y tecnología como es la ingeniería industrial se torna vital para optimizar este recurso natural a fin de obtener los mejores resultados en la agricultura de acuerdo con las recomendaciones actuales de la ONU a través de la FAO.

Los sistemas de riego son indispensables para las zonas áridas del Ecuador, ya que sin la presencia de éstos la producción agrícola sería muy baja. Por ello los ingenieros industriales podemos dar solución a este problema a través de la mecánica de fluidos.

En la provincia de Chimborazo se encuentra el Sistema de Riego Chambo – Guano administrado por el GADP de Chimborazo y la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Chambo – Guano – Los Chingazos (JURECH). El sistema de riego cuenta con un caudal concesionado de 5898 l/s, mismo que fluye a través de canales, túneles y tuberías; dentro de este sistema se encuentra la tubería principal de 11,104 km denominada tubería TB 11, la cual beneficia a las zonas 5 y 6. Su tiempo de vida útil está próxima a cumplirse, por ello es necesario realizar el estudio y rediseño del sistema de tuberías de distribución del agua de riego para este sector que se dedica a la agricultura.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Se ha recolectado información que ayuda a entender el problema en estudio:

En el proyecto técnico de Tello (2016, p.2), “Análisis y optimización del sistema de riego por aspersión de la Junta Modular Archiliguango, parroquia Panzaleo, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, perteneciente al Sistema de riego Biprovincial Latacunga-Salcedo-Ambato.”, menciona que existen causas principales como cumplimiento de vida útil que afectan al sistema de riego y esto conlleva a la reducción del diámetro de la tubería de una forma progresiva por la presencia de sedimentos y minerales que se adhieren a las paredes de las tuberías, reduciendo el caudal e impidiendo el abastecimiento adecuado de agua de riego.

Además, menciona que un factor importante a considerar dentro del sistema de tuberías es la velocidad de circulación del fluido, que debe ser mínimo de 0.25 m/s para evitar la sedimentación y debe estar comprendida dentro del rango 2.0 – 2.5 m/s para que no genere problemas de desgaste por fricción (Tello, 2016, p.46).

En el trabajo de Bolaños, et al. (2017, p.92) “Rediseño del canal de riego la victoria ubicado en las parroquias San Roque, Atuntaqui, Chaltura, Natabuela e Imbaya del cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura” indica que para el manejo de conductos cerrados parcialmente llenos, el agua a ser transportada por tuberías de sección circular debe funcionar parcialmente llena, debido a que, con el cumplimiento de la profundidad hidráulica que comprende entre 70 y 85 % del diámetro de la tubería, se asegura que el agua circule por gravedad y no por efecto de la presión.

Las tuberías P.V.C. poseen características geométricas y mecánicas que ayudan a una mejor manipulación, transporte e instalación. Los aspectos más importantes que aportan para la inclinación por este sistema es que tienen un tiempo de vida útil mayor de 50 años cumpliendo las condiciones adecuadas, la resistencia química es otro de los factores importantes que ayudan a tener una máxima resistencia a la acción corrosiva. La norma INEN, que contiene las especificaciones técnicas de la tubería PVC es la 2059-2015 (Bolaños, et al., 2017, p.95).

En la tesis de Caiza (2017, p.3) “Diseño de un sistema de riego por aspersión, incorporando estructuras de tratamiento preventivo, con un manual de operación y mantenimiento, en la

comunidad “El Galpón”, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi.”, se encuentra que el cálculo hidráulico de las tuberías se basa en el diseño y selección de las tuberías y accesorios que se emplean para obtener el caudal necesario a cierta presión para las áreas que requieren del hídrico. La topografía del lugar ayuda a conocer si existen pendientes pronunciadas o no, lo cual ayuda a identificar los puntos en los cuales se debe utilizar válvulas (de presión, de aire, de control, de desfogue) que acorde a la necesidad y seguridad se deban considerar.

La información de Villafuerte (2010, p.54) que se encuentra en “Diseño de captación, conducción principal, reservorio y redes secundarias del Proyecto de Riego Cariacu – Romerillos”, nos respalda que se requiere conocer la topografía del lugar o terreno donde se encuentra la conducción, además de tener en cuenta el caudal de diseño, la gradiente mínima, las pérdidas mínimas y el diámetro calculado de la tubería. También indica que para cada ramal según el caudal entregado a la salida y la longitud de este se podrá calcular el diámetro de la tubería para el respectivo ramal.

Tomando en cuenta la revisión bibliográfica descrita podemos inferir que las investigaciones en temas de distribución de agua de riego en tuberías son escasas, por lo que la aplicación del presente trabajo tiene una amplia perspectiva y la posibilidad de ser utilizada en los campos ecuatorianos con similar topografía y condiciones agrícolas.

1.2. Planteamiento del problema

El sistema de riego Chambo – Guano inició su funcionamiento en el año 1995, por medio del canal y tubería principal, de longitudes: 63,5 Km y 11,104 km respectivamente; el sistema tiene zonas numeradas zona 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 (en estudio) sobre las cuales se distribuye el agua de riego mediante canales secundarios, terciarios y válvulas, beneficiando a 12 514 usuarios (familias) y un área de riego 4 697 hectáreas.

La JURECH ha observado que la tubería TB11 tiene problemas de funcionamiento debido a las siguientes causas:

- Ñ Presencia de partículas abrasivas que arrastra el agua como arena, piedras o basura. Estos residuos y sedimentos se acumulan en los reservorios enumerados como 51, 64, 65, 66, 67A y 67B que generan 2 400 m³ de arena al año.
- Ñ Poco mantenimiento y limpieza de los componentes hidráulicos, (válvula de aire, válvulas de desfogue, medidor de Venturi, válvula de interconexión, válvulas mariposa).
- Ñ Inactividad de válvulas de desfogue
- Ñ Daños ocasionados por la imprudencia o falta de conocimiento de las personas que viven en zonas aledañas a la tubería.

El estudio y rediseño de la tubería se fundamenta en las causas ya mencionadas, por lo tanto, se pretende seleccionar los elementos necesarios para evitar el deterioro de la tubería bajo los conceptos de mecánica de fluidos, analizando los parámetros como diámetro, material de la tubería, caudal, presión, tipo de flujo y tomando en cuenta aspectos legales como la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua. (Secretaría del Agua, 2014, p.70-72)

1.3. Justificación

La tubería TB11 tiene un área agrícola de 1 478 hectáreas con 3 100 usuarios cabezas de familia que cuenta con agua de riego distribuido por la tubería principal de acero comercial revestido externamente y canales secundarios que se ha construido hace 25 años; la JURECH cuenta con usuarios que se dedican a la agricultura produciendo cultivos de “tomate riñón y árbol, pepino, pimiento, cebolla roja, papa, maíz, legumbres como col, lechuga, brócoli, y frutas como fresa y mora” (UNIDOS POR LA VIDA, 2018 p.24).

Con la finalidad de mantener la producción agrícola de las 1 478 hectáreas de la zona TB11 y que el sistema continúe mejorando su operación y brinde el servicio de abastecer el agua de riego en concordancia con lo establecido en el artículo 284 de la Constitución de la República del Ecuador literal 3 que manifiesta “Asegurar la soberanía alimentaria y energética” (Asamblea Nacional de Ecuador, 2008, p.92) y con el objetivo 6 del Plan Nacional de Desarrollo 2017- 2021 Toda Una Vida que indica “asegurar la soberanía alimentaria, lo que implica incentivar, en condiciones equitativas la producción convencional, los sistemas agrícolas de subsistencia y la producción agroecológica de la Agricultura Familiar Campesina” (Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017, p.84) se propone realizar el “Estudio y rediseño del sistema de tuberías de distribución del agua de riego de la zona TB 11 de las parroquias San Luis – Maldonado – Cubijíes del cantón Riobamba”

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

“Estudiar y rediseñar el sistema de tuberías de distribución del agua de riego de la zona TB 11 de las parroquias San Luis – Maldonado – Cubijíes del cantón Riobamba”.

1.4.2. Objetivos específicos

- Ñ Evaluar las condiciones actuales en las que se encuentra el sistema de riego en la zona TB 11.
- Ñ Recolectar información sobre los parámetros del sistema de riego para la selección de la tubería.

- Ñ Determinar medidas de aprovechamiento y mantenimiento del sistema de tuberías para que perdure en el tiempo.
- Ñ Determinar la trayectoria adecuada de la tubería para evadir las viviendas actuales.
- Ñ Colocar la señalética del trayecto subtendido actual para evitar la destrucción del sistema.
- Ñ Seleccionar la tubería en base a los parámetros del sistema de riego para la distribución del agua hacia los terrenos de los beneficiados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Riego

El riego es una destreza que se ha desarrollado desde la antigüedad buscando optimizar lo suficiente la aplicación de agua, se enfoca a proporcionar la cantidad adecuada para las necesidades que tiene el cultivo para su desarrollo y a su vez para aprovechar para el lavado; para lograr todo esto se requiere tomar asunto en reducir las pérdidas por escorrentía, percolación profunda, las pérdidas por evaporación, además, se complementa con un sistema diseñado de una forma correcta. (Montero, 2000, p.34)

El agua es un recurso importante para los agricultores con la que se producen alimentos sanos y nutritivos para el consumo de la sociedad, según el Banco Mundial “La agricultura ocupa el 70% del agua que se extrae en el mundo” (Banco Mundial, 2020), en consecuencia, el área de ingeniería debe diseñar sistemas de conducción de agua eficientes.

2.2. Relación agua – suelo

La relación del agua con el suelo es vital para que un cultivo pueda desarrollarse completamente, pues el suelo retiene el agua como una especie de reservorio razón por la cual, se debe comprender a cabalidad toda la mecánica del cómo y en qué forma se moviliza el agua en el suelo; qué influencia ejercen las diferentes características del suelo en este fenómeno. (Leitón, 1985, p. 36)

2.3. Características del suelo

En concreto las características que influyen en la capacidad de retención de agua por parte del suelo: como la textura (dada por el tamaño de las partículas del suelo), la estructura (como se agregan las partículas en el suelo) y el contenido en materia orgánica. (Martínez, 2014, p.18)

La textura del suelo determina la velocidad a la que el agua se drena a través de un suelo saturado; el agua se mueve más libremente a través de suelos arenosos que a través de suelos arcillosos. Una vez que se alcanza la capacidad del campo, la textura del suelo también influye en la cantidad de agua disponible para la planta; los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad de retención de agua que los suelos arenosos.

Además, los suelos bien drenados suelen tener buena aireación del suelo, lo que significa que el suelo contiene aire que es similar al aire atmosférico, lo que conduce al crecimiento saludable de las raíces y, por lo tanto, a un cultivo saludable. (Universidad Internacional de Riego, 2019)

2.4. Características de los cultivos

Los principales factores que pueden afectar a esta evapotranspiración son la demanda evaporativa de la atmósfera, estrechamente relacionada con las condiciones meteorológicas que se dan en cada momento; la disponibilidad de agua en el suelo, que variará a su vez dependiendo de las aportaciones procedentes de lluvias, riego y capas profundas; las características del propio cultivo, como son el desarrollo foliar y radicular; y las características hidráulicas del suelo, como la capacidad de almacenamiento de agua. (Innovatione AgroFood Design, 2019)

2.5. Aguas superficiales

Según Gómez (2016, p.56) Las aguas superficiales provienen de manantiales o ríos, que están sometidas a acción de la luz o la temperatura y pueden ser contaminados con basura orgánica, inorgánica e incluso con material peligroso.

2.6. Abastecimiento de agua por gravedad

Este sistema ocupa el peso del agua, desde un punto de captación elevado hasta la entrega del consumidor en un punto más bajo, esto genera energía hidrostática que se utiliza para el desplazamiento de caudal debido a la variación de altura (Arnalich, 2008, p.2). Este sistema tiene varias ventajas como:

- Ñ No hay gasto de bombeo.
- Ñ El mantenimiento es pequeño porque apenas tiene partes móviles.
- Ñ La presión del sistema se controla con mayor facilidad.
- Ñ Robustez y fiabilidad.

En la siguiente figura se puede observar el abastecimiento de agua por gravedad donde la captación se encuentra en una cota mayor y la tubería desciende debido a su pendiente natural y por ende obtiene la suficiente energía para llegar al reservorio de almacenamiento.

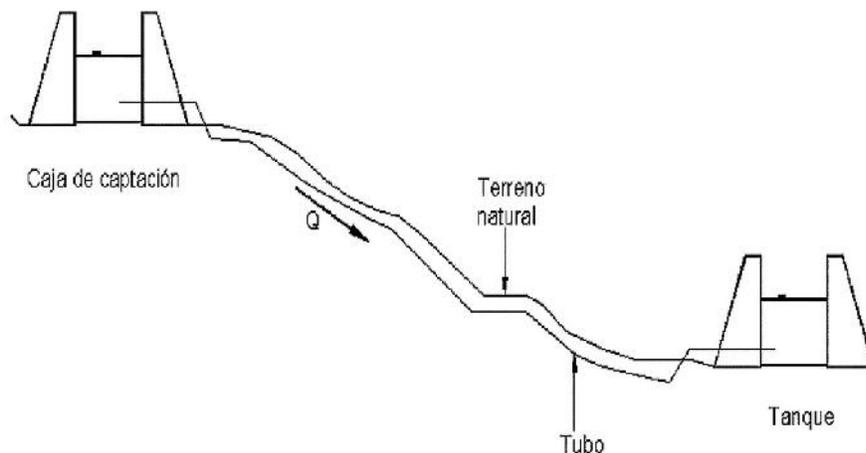


Figura 1-2. Abastecimiento de agua por gravedad.

Fuente: Perez, 2018

2.7. Línea de conducción por gravedad

Este tipo de conducción debe aprovechar al máximo la energía disponible, para obtener la carga deseada, entonces se deberá escoger los menores costos de la línea de conducción. Según Gómez (2016, p.59), se deben tomar en cuenta criterios como “capacidad a transportar, carga disponible, selección del diámetro capaz de soportar la presión hidrostática, clase de tubería en función del material, estructuras complementarias”. En la siguiente figura se puede apreciar una conducción por gravedad.

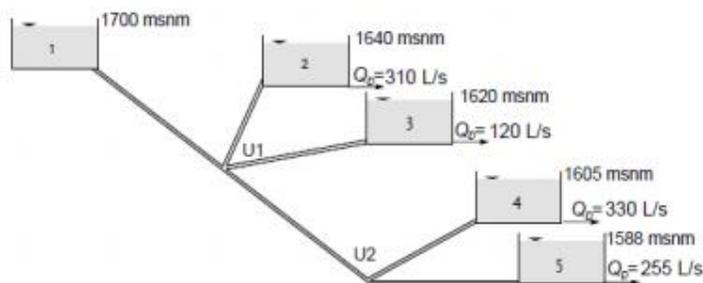


Figura 2-2. Distribución de agua por gravedad

Fuente: Saldarriaga et al., 2017

2.8. Distribución por turno o rotación

Es posiblemente el método más utilizado tradicionalmente en las regiones donde las explotaciones son muy pequeñas. Cada explotación recibe a intervalos determinados un caudal igual al módulo,

que por definición y elección es un caudal manejable. Además, como éste es constante, en lugar de controlar caudales o volúmenes basta con controlar tiempos que siempre es más cómodo.

La distribución por turno o rotación presenta unos inconvenientes, que pueden calificarse como suficientemente importantes para no ser recomendado en la actualidad. En efecto, el turno de riegos supone el establecimiento, al comienzo de la época de riegos, de un calendario de funcionamiento de las tomas (bocas de riego), de forma que quedan fijados los días (y en algunos casos las horas) que cada explotación podrá disponer de agua. (Pascual, y Pascual, 2020, p.111)

2.9. Fluido

Según Gonzales (2014 p.2) Es una sustancia que carece de forma propia, por lo general adopta la del recipiente que lo contiene, los elementos de un fluido homogéneo pueden reordenarse libremente sin afectar a las propiedades macroscópicas, existen tres tipos de fluidos, el que abarca este estudio es líquido de tal manera que tiene una compresibilidad baja.

2.10. Caudal de derivación

Un caudal de derivación hace mención a una parte de caudal desviado desde un río, lago, etc., mismo que es destinado para el uso en sistemas de riego que satisfacen las necesidades de riego para los cultivos. Este valor resulta importante al momento de conducir el agua de un punto hasta la zona a regar ya que según el medio a emplear para el transporte determina el cálculo de las conducciones.

El caudal de derivación sería:

$$Q = S * q \quad (1)$$

Donde:

Q : Caudal de derivación constante (l/s^1)

S : Superficie que abarca la red de riego (ha)

q : Caudal característico ($l/s/ha$) (Pascual, y Pascual, 2020, p.93)

2.11. Velocidad horizontal del desarenador

La velocidad horizontal del desarenador está dada por la siguiente ecuación:

$$Vh = \frac{L_D * V_o}{H} \quad (2)$$

Donde:

V_h : Velocidad horizontal (m/s)

V_o : Velocidad de sedimentación de la partícula crítica (m/s)

L_D : Largo del tanque desarenador (m)

H : Altura del tanque sedimentador (m) (Tello, 2016, p.63).

2.11.1. Velocidad de sedimentación de la partícula crítica

La velocidad de sedimentación de la partícula está dada en la siguiente ecuación:

$$V_o = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/s)

A : Área superficial del desarenador (m) (Tello, 2016, p.63).

Para un sistema de acueducto las velocidades de decantación de la partícula son de arcillas: 0,081 m/s, arena fina 0,16 m/s y arena gruesa de 0,216 m/s. (Narvaéz, 2011, p.10)

2.12. Red de tuberías

Los materiales que pueden ser útiles para una red de distribución en su mayoría son de plástico, fundición, hormigón y acero, aunque para la aplicación todo se inclina a emplear el plástico.

Las conducciones de plástico poli (cloruro de vinilo) y polietileno (PVC y PE, respectivamente) son, con mucho, las más utilizadas en el riego localizado, aunque también pueden utilizarse los plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio (PRFV). AENOR (Asociación Española de Normalización) ha confeccionado las siguientes Normas UNE para los sistemas de canalización en materiales plásticos para suministro de agua, con o sin presión (Pascual, y Pascual, 2020, p.228):

- Ñ Norma UNE-EN 1452 para poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U)
- Ñ Norma UNE-EN 1796 para plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio (PRFV) basados en resina de poliéster insaturada (UP)
- Ñ Norma UNE 53367-1: 2014 para PE.

2.12.1. Criterios de selección de tuberías

La selección de tuberías se debe realizar en función de los costos, el diseño previo y cálculo de las alternadas de los distintos materiales, además del tipo de clase como menciona Gómez (2016, p.70) “longitud de línea de conducción, información sobre la naturaleza del terreno... permitirá determinar la clase de tubería HF, Hg, AC, HFG, PVC”, estas clases de tuberías están definidas por las presiones máximas que ocurren en la línea de carga estática.

2.13. Red de distribución ramificada

Son redes de distribución que circulan en una sola dirección en un sistema de distribución por gravedad hacia aguas abajo, presentan diferentes ventajas y desventajas. (Armalich, 2008, p.12)

Tabla 1-2: Ventajas y desventajas de la red de distribución ramificada

| Ventajas | Desventajas |
|-----------------------|--|
| Costo más bajo | Avería en un punto se cierra todo el sistema aguas abajo |
| Rápidas de construir | Problemas de calidad por estancamiento del agua |
| Sencillas de calcular | No se puede ampliar fácilmente |
| | Determinación de la demanda en cada punto con precisión |
| | Poca tolerancia a errores de cálculo o apreciación. |

Fuente: Armalich, 2008.

Realizado por: Autores, 2020.

2.14. Densidad.

La densidad ρ se define como la cantidad de masa m por unidad de volumen que ocupa V (Gonzalez y Castellano, 2014, p.19). En un espacio determinado.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Donde:

ρ : Densidad (kg/m³)

m : Masa (kg)

V : Volumen (m³)

Para efectos de cálculo en este estudio se utilizará una densidad ρ de 998 Kg/m³ a 20° Celsius.

2.15. Viscosidad del agua

Según Domingo (2011, p.8) “La viscosidad es la causa de la resistencia que aparece en el flujo de un fluido en tuberías y canales y está relacionada con la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales”. De acuerdo con Domingo en una tubería la fuerza de rozamiento producida por la viscosidad genera una velocidad más lenta en las paredes que en las capas internas, distribuyendo las velocidades. La viscosidad cinemática se da en la siguiente tabla:

Tabla 2-2: Viscosidad del agua a diferentes temperaturas

| Temperatura [°C] | Viscosidad cinemática [cm ² /s] |
|------------------|--|
| 0 | 0,01792 |
| 2 | 0,01763 |
| 4 | 0,01567 |
| 6 | 0,01473 |
| 8 | 0,01386 |
| 10 | 0,01308 |
| 12 | 0,01237 |
| 14 | 0,01172 |
| 15 | 0,01146 |
| 16 | 0,01112 |
| 18 | 0,01059 |
| 20 | 0,01007 |
| 22 | 0,00960 |
| 24 | 0,00917 |
| 26 | 0,00876 |
| 28 | 0,00839 |
| 30 | 0,00804 |
| 32 | 0,00772 |
| 34 | 0,00741 |

Fuente: Tello, 2016.

Realizado por: Autores, 2020.

2.16. Ecuación de continuidad

Esta expresa el principio de la conservación de la masa líquida, según Torres (2020, p.2) el flujo que atraviesa una sección de tubería cerrada debe ser igual en otro punto de la tubería con distinta sección. A continuación, se presenta una figura donde se esquematiza la ecuación de continuidad.

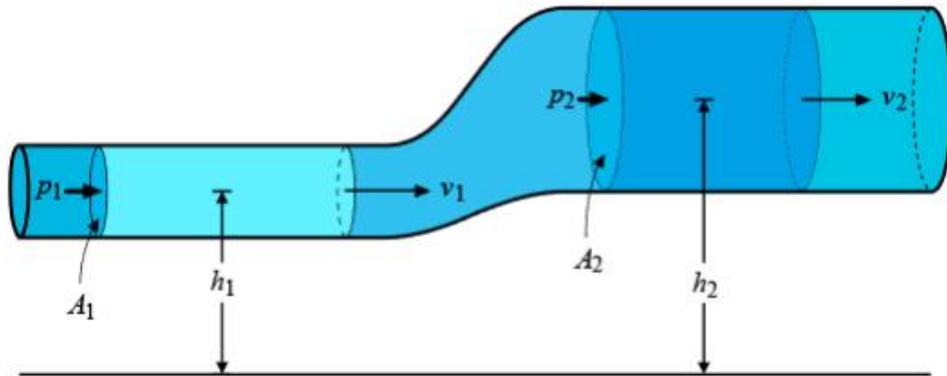


Figura 3-2. Esquema de la ecuación de continuidad

Fuente: Apolonio, 2020

La ecuación matemática que representa a la continuidad es la siguiente:

$$\rho_1 S_1 v_1 = \rho_2 S_2 v_2 \quad (5)$$

Donde:

ρ : Densidad (Kg/m³)

S: Superficie o área (m²)

v: Volumen (m³)

2.17. Ecuación de Bernoulli

Esta ecuación analiza la presión (energía estática), velocidad (energía dinámica) y altura (energía hidrostática) y se deduce que la energía mecánica se conserva, entonces, debe ser igual en dos puntos de la tubería. Como se puede apreciar en la siguiente figura.

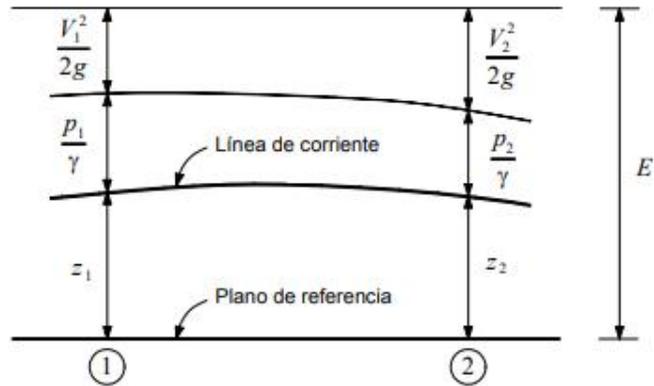


Figura 4-2. Esquema de la ecuación de Bernoulli

Fuente: (Rocha, 2003)

Esta ecuación se limita a fluidos incompresibles que conserven su energía, que se representa matemáticamente como (Domingo, 2011, p.37):

$$\frac{P_1}{\rho} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} = c \quad (6)$$

También se puede expresar de la siguiente manera

$$H = Z + \frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2 * g} \quad (7)$$

Donde:

H: Carga hidráulica disponible (m.c.a)

P: Presión (Pa)

ρ : Densidad (Kg/m³)

g: Gravedad (m/s²)

V: Velocidad. (m/s)

2.18. Pérdidas de carga.

“Son aquellas que tienen lugar de forma continua a lo largo del flujo, por el hecho de que el fluido avance, aunque no cambie ni la dirección del flujo ni la sección de la tubería” (Domingo, 2011, p.57).

Se debe a la energía que pierde por kilómetro recorrido.

2.18.1. Cálculo hidráulico por gravedad

El transporte de un fluido por gravedad en una tubería, en el caso común en que la descarga es libre, se rige por la siguiente expresión. (Universidad Mayor San Simón, 2017, p.172)

$$H = \frac{V^2}{2g} + h_f + h_m \quad (8)$$

Donde:

H : Carga hidráulica disponible (m)

$\frac{V^2}{2g}$: Carga de velocidad (m)

h_f : Pérdida por fricción en la tubería (m)

h_m : Pérdidas menores (m)

2.18.2. Pérdidas menores

Las pérdidas menores (o pérdidas locales) se deben a la existencia de turbulencias en codos o conexiones. Estas se calculan multiplicando este coeficiente por la energía cinética de entrada en la tubería, es decir, (Rossman, 2012, p. 29)

$$h_L = K \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (9)$$

Donde,

K = coeficiente de pérdidas menores,

V = velocidad de flujo (m/s),

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

A continuación, se muestran los valores aproximados de K de los diferentes accesorios.

Tabla 3-2: Coeficiente K de pérdida de cargas para accesorios

| Accesorio | Coeficiente (K) |
|---------------------------------------|-----------------|
| Válvula de globo totalmente abierta | 10 |
| Válvula de ángulo, totalmente abierta | 5 |

| | |
|---|-----|
| Válvula de retención de Clapeta, totalmente abierta | 2,5 |
| Válvula de compuerta totalmente abierta | 0,2 |
| Codo de radio pequeño | 0,9 |
| Codo de radio medio | 0,8 |
| Codo de radio grande | 0,6 |
| Codo a 45° | 0,4 |
| Codo cerrado con inversión de flujo | 2,2 |
| Te estándar- dirección de paso directo | 0,6 |
| Te estándar- dirección de desvió en el ramal | 1,8 |
| Entrada recta | 0,5 |
| Salida brusca | 1 |

Fuente: Tello, 2012.

Realizado por: Autores, 2020.

2.18.2.1. Longitud equivalente

Las pérdidas menores se pueden expresar en función de la longitud equivalente como se muestra en la tabla 5-2. (Cengel, y Cimbala, 2006, p.349)

$$K = f * \left(\frac{L}{D}\right) \quad (10)$$

$$h_L = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (11)$$

Tabla 4-2: Resistencia de las válvulas expresadas en longitud equivalente

| Tipo | (Leq/D) |
|---|---------|
| Válvula de globo abierta por completo | 340 |
| Válvula de ángulo abierto por completo | 150 |
| Válvula de compuerta abierta por completo | 8 |
| ³ / ₄ Abierta | 35 |
| ¹ / ₂ Abierta | 160 |
| ¹ / ₄ Abierta | 900 |
| Válvula de verificación tipo giratorio | 100 |

| | |
|---|-----|
| Válvula de verificación tipo bola | 150 |
| Válvula mariposa abierta por completo 2 a 8pulgadas | 45 |
| 10 a 12 pulgadas | 35 |
| 16 a 24 pulgadas | 25 |
| Válvula de pie disco de vástago | 420 |
| Válvula de pie tipo disco de bisagra | 75 |
| Codo estándar de 90° | 30 |
| Codo a 90° de radio largo | 20 |
| Codo roscado de 90° | 50 |
| Codo estándar de 45° | 16 |
| Codo roscado de 45° | 26 |
| Vuelta cerrada de retorno | 20 |
| Te estándar con flujo directo | 20 |
| Te estándar con flujo ramal | 60 |

Fuente: Moot, 2006.

Realizado por: Autores, 2020.

2.18.3. Pérdidas por fricción (Ecuación de Darcy Weisbach)

Es una fórmula para el cálculo de las pérdidas por fricción en tuberías y conductos, se da por la ecuación de Darcy Weisbach. (Universidad Mayor San Simón, 2017, p. 156)

$$h_f = f * \frac{LV^2}{D^2g} \quad (12)$$

O bien la siguiente fórmula:

$$h_f = \frac{8LQ^2}{\pi^2 gD^5} \quad (13)$$

Donde:

h_f : Pérdidas de carga por fricción (m)

f : Factor de fricción

L : Longitud de tubería (m)

d : Diámetro de tubería (m)

$\frac{V^2}{2g}$: Altura de velocidad (m)

2.18.3.1. Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción está dado para dos regímenes laminar y turbulento

Coeficiente de fricción para régimen laminar:

$$f = \frac{64}{R_E} \quad (14)$$

Donde R_E tiene un valor máximo de 2000 para un régimen laminar

f : Factor de fricción

R_E : Número de Reynolds

Coeficiente de fricción para régimen turbulento: fórmula de Alshury

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{R} \right)^{0,2} \quad (15)$$

Donde:

$\frac{\varepsilon}{D}$: Rugosidad relativa del material (m)

D : Diámetro (m)

2.18.3.2. Rugosidad relativa

Es el promedio de altura de las irregularidades de una superficie interna de una tubería, por lo que es diferente para cada material a continuación se presenta la siguiente tabla.

Tabla 5-2: Valores de rugosidad equivalente para tuberías comerciales nuevas.

| Material | Rugosidad (mm) |
|----------------------------|----------------|
| Vidrio, plástico, concreto | 0,9-9 |
| Duela de madera | 0,5 |
| Hule alisado | 0,01 |

| | |
|--------------------------|--------|
| Tubería de cobre o latón | 0,0015 |
| Hierro Fundido | 0,26 |
| Hierro galvanizado | 0,15 |
| Hierro forjado | 0,046 |
| Acero Inoxidable | 0,002 |
| Acero Comercial | 0,045 |

Fuente: Cengel, & Cimbala , 2006.

Realizado por: Autores, 2020.

2.18.3.3. Reynolds

Reynolds (Re) es un número adimensional que depende de la velocidad del fluido, diámetro de la tubería, y la viscosidad cinemática, lo cual determina si un fluido es de régimen laminar < 2000 , o turbulento >4000 , si Re ese encuentra entre 2000 y 4000 el fluido se encuentra en zona crítica por lo cual, se tomará como un fluido turbulento para efectos de cálculo. Su expresión física es la siguiente (Cengel, y Cimbala, 2006, p.324):

$$R_E = \frac{\rho}{\mu} = \frac{V}{\nu} \quad (16)$$

Donde:

ρ : Densidad (kg/m³)

V: Velocidad del fluido (m/s)

l : Longitud (m)

μ : Viscosidad dinámica del fluido (cps)

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

2.19. Ecuación de Manning

La ecuación de Manning determina el diámetro teórico que está en función de la pendiente hidráulica y el caudal (Bolaños, et al., 2017, p.107):

$$D_{T \text{ ó } r} = 1,548 * \left(n * \frac{Q_D \text{ ñ } o}{J^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (17)$$

Donde:

$Q_{D \text{ ño}}$ = Caudal de diseño (m^3)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

J = Pendiente

$D_{T \text{ ór}}$ = Diámetro teórico (m)

2.19.1. Cálculo del caudal a sección llena (Q_0)

El cálculo de caudal a sección llena nos permite conocer la cantidad de agua que transporta teóricamente una tubería para ello se emplea la ecuación de Manning (Bolaños, et al., 2017, p.108):

$$Q_U = 0,312 * \frac{D_D^{8/3} \text{ ño} * J^{1/2}}{n} \quad (18)$$

Donde:

$D_{D \text{ ño}}$ = Diámetro de diseño (m)

J = Pendiente

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

2.19.2. Velocidad en tuberías

La importancia de la velocidad en el interior de la tubería ayuda a definir si existe o no sedimentación o desgaste por la fricción de las partículas erosivas. El intervalo que debe cumplir para el mínimo y máximo de la velocidad es de 0,30 m/s a 5m/s para tuberías de PVC. (Bolaños, et al., 2017, p.109)

$$V = \frac{Q_U * 4}{\pi * D_D^2 \text{ ño}} \quad (19)$$

Donde:

Q_U : Caudal a sección llena (m^3/s)

$D_{D \text{ ño}}$: Diámetro de diseño (m)

V : Velocidad (m/s)

2.19.3. Diámetro de diseño

El diámetro de diseño es el diámetro comercial que se referencia a partir de una norma o se vale de un catálogo que posterior a ello se puede consultar las características técnicas.

Tabla 6-2: Diámetros nominales e interiores

| Presión nominal (bar) | PN 12,5 |
|-----------------------|------------------------|
| Diámetro nominal (mm) | Diámetro Interior (mm) |
| 90 | 84,8 |
| 110 | 104,4 |
| 125 | 117,8 |
| 140 | 132,4 |
| 160 | 152,8 |
| 200 | 190 |
| 225 | 213,6 |
| 250 | 237,4 |
| 315 | 299,2 |
| 355 | 337,4 |
| 400 | 374,8 |
| 450 | 427,6 |
| 500 | 474,6 |
| 630 | 597,8 |
| 710 | 674,8 |
| 800 | 760,4 |
| 900 | 855,4 |
| 1000 | 950,5 |

Fuente: (Molecor Tubería TOM, 2020).

Realizado por: Autores, 2020.

2.20. Efecto de Venturi.

Esta es una relación de la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli que considera dos puntos A y B en dos secciones distintas S_A y S_B , para encontrar la velocidad de un fluido por medio de un calibrador colocado en una tubería. Esta velocidad se calcula mediante la siguiente fórmula matemática. (Domingo, 2011, p.22)

$$v_A = \sqrt{\frac{2S_A^2(P_A - P_B)}{\rho(S_A^2 - S_B^2)}} \quad (20)$$

Donde:

v_A : Velocidad A (m/s)

S_A : Area de tubo mayor (m²)

P_A : Presión en el punto A (Pa)

P_B : Presión en el punto B (Pa)

ρ : Densidad (kg/m^3)

S_B : Área del tubo menor (m^2)

Para el coeficiente de pérdidas en un medidor de flujo tipo Venturi será de 0,98.

2.21. Perfil topográfico

Es una representación gráfica de niveles o cotas de una superficie en un plano bidimensional, como se aprecia en la figura en cual se puede observar la pendiente topográfica de la tubería.

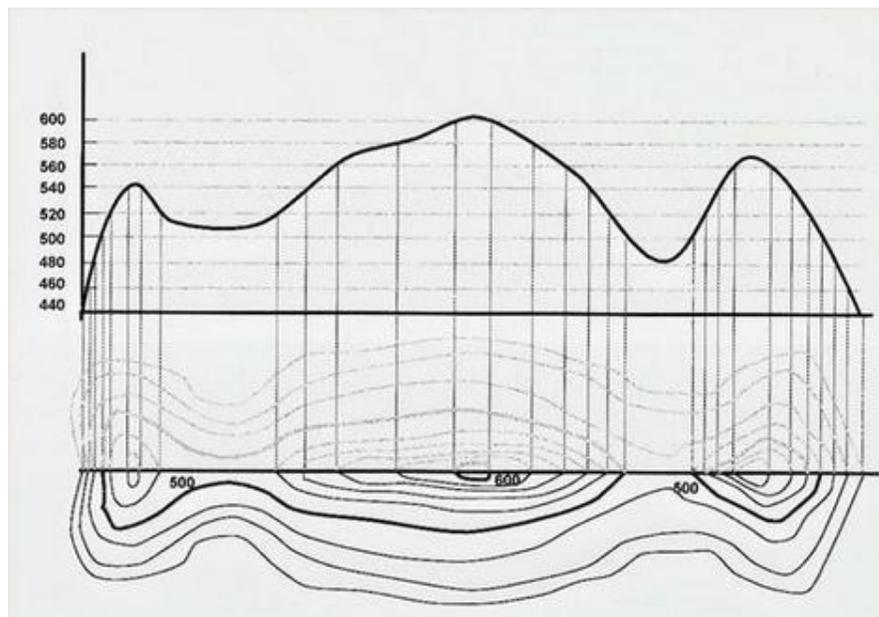


Figura 5-2. Perfil topográfico

Fuente: Alonso, 2016

2.22. Pendiente hidráulica J.

La pendiente hidráulica es aquella que se genera a partir de un punto A hasta un punto C en el cual existe diferencia de alturas. Como se puede observar en la figura tiene una pendiente hidráulica de 30 m de columna de agua en 80 Km de recorrido.

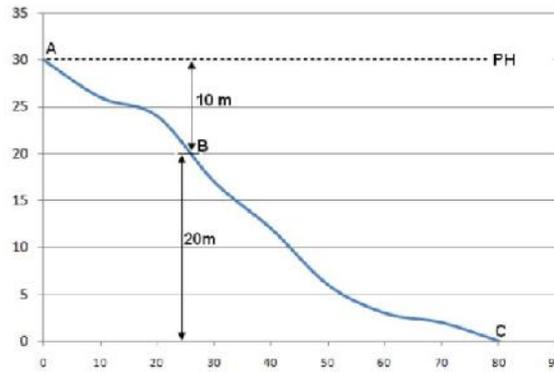


Figura 6-2. Pendiente hidráulica

Fuente: Arnalich, 2008

Para calcular la pendiente hidráulica se utiliza la siguiente fórmula:

$$J = \frac{H_c - \left(z + \frac{P}{\gamma} \right)}{\sum L}$$

Donde:

J: Pendiente hidráulica.

$H_{cabecera}$: Altura de cabecera (m)

Z: Cota de nodo (m)

P_{min} : Presión mínima del nodo (m.c.a)

$\sum L$: Sumatoria de longitud (m)

2.23. Presión máxima de trabajo

En general la presión máxima a la que una tubería debe trabajar es al 80% de su capacidad, es decir, si una tubería PN10 en PVC soporta una presión de 10 bares su capacidad de presión máxima será de 8 bares, se debe tomar en cuenta que en una trayectoria existirán valles en los cuales la presión aumentará y más aún cuando el agua no circule dentro de la tubería debido a que no se disipa la energía por rozamiento. (Arnalich, 2008, p.112)

2.23.1. Exceso de desnivel

Es una consideración técnica para el diseño de una tubería ya que según Arnalich (2008, p.68) el fluido debe llegar al usuario (reservorios) con la presión mínima para satisfacer la necesidad de líquido por lo contrario si la presión es excesiva los componentes hidráulicos se vuelven frágiles

2.23.2. Línea de gradiente hidráulica

“Representa la energía acumulada por el agua en cualquier punto del canal o tubería” (Briere, 2005, p.26) por lo que la presión en cualquier punto de la tubería será igual a la diferencia del gradiente hidráulico y la cota en la que se encuentra.

2.24. Componentes básicos

Los accesorios básicos de un sistema de tuberías son los codos, tes, mecanismos de unión, válvulas de control, válvulas mariposa, válvulas de compuerta, válvulas de globos, válvulas de aire y desagües. Estos se utilizan para el control y funcionamiento de un sistema de tuberías.

2.24.1. Válvula de aire

Existen de simple efecto y de doble efecto sirven en el vaciado de tuberías y para proteger la instalación de los efectos adversos de depresiones durante el vaciado de la tubería, roturas y el eventual colapso por aplastamiento en consecuencia son muy importantes para el buen funcionamiento de la tubería. (Ingeniería de Fluidos, 2016).

Además, permiten el egreso del aire de la tubería en los puntos más elevados evitando la acumulación de aire dentro de las tuberías, lo que permite el paso del flujo del líquido por todo el sistema.

2.24.2. Válvulas de desfogue

Según Arnalich, (2008, p.66) los desfogues se colocan en los puntos bajos del recorrido de una tubería y sirven para vaciarla en caso de avería o para eliminar los sedimentos que se acumulen en las partes bajas en general para lograr un desagüe se coloca una válvula con salida al exterior desde la tubería principal. Estas válvulas de desfogue son válvulas de compuerta como se presentan a continuación.



Figura 7-2. Válvula de desfogue o compuerta

Fuente: (Valsum, 2017)

2.24.3. Protección catódica galvánica

Según Loachamin, (2019, p.47) es un método de protección contra la oxidación y corrosión que depende del ánodo que será el metal de sacrificio. Para suelos se utiliza magnesio y el zinc como protección catódica galvánica, este ánodo protegerá cierta longitud de tubería por lo tanto debe ser distribuida a lo largo de toda la estructura.

2.25. GPS

Según Arnalich (2008, p.43) Es un dispositivo que permite conocer las coordenadas de un punto con gran precisión, para ello se calcula la posición por triangulación respecto a una nube de satélites además se pueden medir las cotas con gran precisión.

2.26. Señalización: Placas rectangulares

La norma NTE INEN 878:2013 indica las dimensiones que debe cumplir los rótulos para aplicación general y de seguridad industrial.

Las dimensiones se establecen tanto para rótulos cuadrados y rectángulos, siendo el primer tipo que va desde 6,50 mm x 6,50 mm hasta 1 000 mm x 1 000 mm y el otro tipo va desde 6,50 mm x 13 mm hasta 1 250 mm x 2 500 mm. Estas dimensiones aplican para el uso en posición horizontal o vertical. (NTE INEN 878:2013, pp.4-6)

Tabla 7-2: Dimensiones para rótulos cuadrados y rectangulares

| Dimensiones a x b (mm) | D | e ₁ | e ₂ | f | g ₁ | g ₂ | r |
|------------------------|------|----------------|----------------|----|----------------|----------------|----|
| 250 x 1000 | 7,00 | 198 | 948 | 26 | 8 | 12 | 16 |
| 300 x 400 | 5,80 | 270 | 370 | 15 | 4 | 6 | 8 |
| 370 x 520 | 5,80 | 334 | 484 | 18 | 5 | 7,5 | 10 |
| 400 x 500 | 5,80 | 364 | 464 | 18 | 5 | 7,5 | 10 |
| 400 x 600 | 5,8 | 360 | 560 | 20 | 6 | 9 | 12 |

Realizado por: Autores, 2020.

Fuente: NTE INEN 878:2013.

La norma NTE INEN-ISO 3864-1:2013 presenta una fórmula que ayuda a la selección del rótulo según la superficie que se obtiene al relacionar el tamaño de la señal con la distancia de observación, para ello cabe mencionar que es importante conocer que estas ecuaciones son válidas únicamente para distancias no mayores a 50 m.

$$S \geq \frac{L^2}{2000} \quad (21)$$

Donde:

L: distancia al observador

S: superficie de la señal en m^2

2.26.1. Señal de precaución

Las señales precaución deberán cumplir con los requerimientos de diseño presentados en la figura

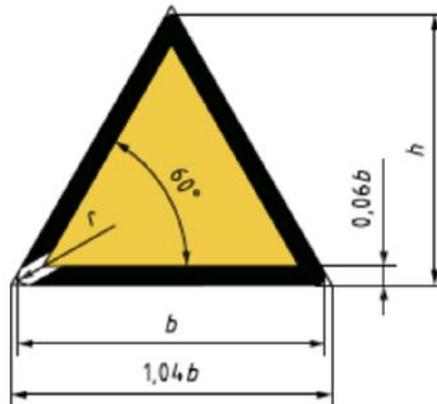


Figura 8-2. Requerimientos de diseño para señal de precaución

Fuente: NTE INEN-ISO 3864-1:2013

Si $b = 70$ mm, entonces $r = 2$ mm.

Los colores de la señal deberán ser:

Color de fondo: amarillo

Banda triangular: negra

Símbolo gráfico: negro

El color de seguridad amarillo deberá cubrir por lo menos el 50% del área de la señal. (NTE INEN-ISO 3864-1:2013, pg.3)

Capítulo III

3. SITUACIÓN INICIAL

3.1. Descripción del sistema de riego Chambo – Guano

El sistema de riego Chambo – Guano promueve una alta actividad de la agricultura en los cantones Riobamba, Chambo y Guano. El inicio de la construcción de la obra civil se desarrolló en el año 1949 derivando sus aguas del río Chambo, funcionó en el año 1952. Este sistema en primera instancia se puso en marcha con un caudal de 2,5 m³/s mismo que abastecía para una superficie de 2500 Ha.

Décadas después, durante el año 1995 el sistema recibe un mejoramiento en su infraestructura, lo cual ayudó al incremento del caudal hasta 4,5 m³/s; el monto de la inversión fue de 110 millones USD, ese valor contiene fondos del Proyecto de Desarrollo Agrícola de la Comunidad Económica Europea; en base al diseño, el sistema beneficia a 11 243 familias y sus 37 000 lotes localizados entre los 2 600 – 2 800 msnm.

El sistema aporta una intensa agricultura en zonas de cultivo respectivamente planas, con suelos apropiados, un buen acceso al mercado urbano de Riobamba además de la posibilidad de transportar a la sierra central y la costa (Ministerio del Ambiente, 2013, pp. 143-173). En la actualidad, se encuentra administrado por el GADP de Chimborazo y la JURECH es un sistema público/ estatal, el caudal concesionado que dispone desde la bocatoma en Ceceles (Parroquia Licto) es de 5 898 l/s, la superficie de riego es alrededor de 4 697 hectáreas.

La JURECH en el año 1994 se establece como una organización sin fines de lucro, el actual presidente de la junta es el Ing. Jorge Tuquinga, quien está a cargo de la administración 2019 – 2021. La responsabilidad que tiene la junta de riego radica sobre la operación y mantenimiento de los canales secundarios y terciarios que poseen estructura hidráulica con distribución por turnos con caudal y tiempo, el tipo de riego más empleado por los usuarios es por gravedad. Su organigrama está estructurado de la siguiente manera:

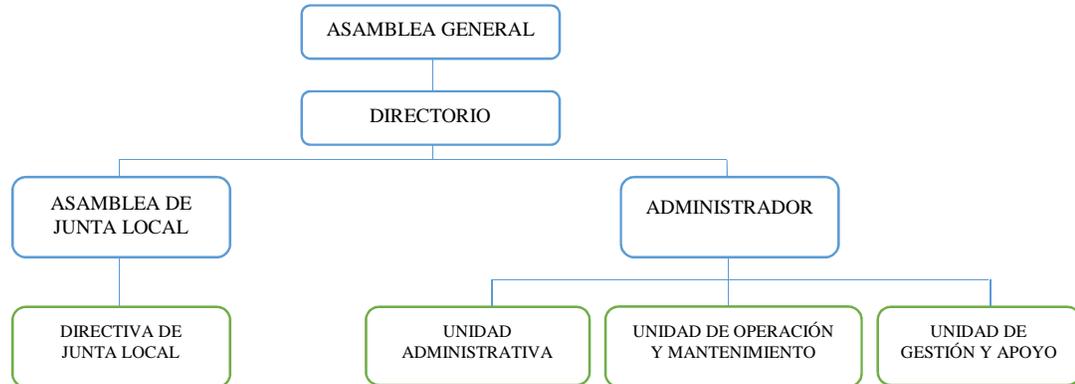


Gráfico 1-3. Organigrama estructural de la JURECH.

Fuente: UNIDOS POR LA VIDA, 2018

3.1.1. Ubicación geográfica

El sistema de riego Chambo – Guano se encuentra en la provincia de Chimborazo como uno de los sistemas más grandes. Riobamba se encuentra al centro del país a una cota de 2 754 msnm, la población urbana según el censo poblacional del 2010 corresponde a 146 324 habitantes (Romero, 2018). Los cantones, parroquias y comunidades a las cuales beneficia el sistema de riego se detallan a continuación:

Cantón: Chambo, Riobamba y Guano.

Parroquia: Maldonado, Yaruquíes, Cubijíes, Licto, Punín, San Luis, Matriz Guano.

Comunidad: Molobog, Tunshi San Miguel, Tunshi San Pedro, Tunshi San Javier, Tunshi la Politécnica, Tunshi San Nicolás, San Isidro, Santa Bárbara, Guaslán Seguilan, Guaslán, San Antonio, La Libertad San Luis, San Luis Colegio, Panecillo, María Auxiliadora, La Inmaculada, Pantus, Pantaño, El Troje, San Vicente de Tiazo, Candelaria, Corazón de Jesús, Monjas Tunshi, Tizao Bajo, San Gerardo, El Socorro, La Libertad, Magdalena el Rosal, La Unión, La Victoria, La Florida, San Vicente de Lacas, Alacao, Ela Miraflores Tuncahuan, Langos Panamericana, Olte San Francisco, Yuigan San Gregorio, Yuigan los Elenes, Jesús del Gran Poder, Olte San Pedro, San Martín de Veranillo, Porlón, Langos Chico, San Pedro de Langos, Langos San Miguel, San Clemente y Santa Cruz.

En la figura 1-3 además de mostrar la ubicación geográfica del sistema de riego Chambo – Guano, se describe la trayectoria del canal principal (línea de color azul) y la tubería principal TB11 (línea de color verde), misma que es la zona de estudio.



Figura 9-3. Ubicación geográfica del sistema Chambo – Guano
Fuente: Prefectura Chimborazo, 2017

3.1.2. Zonas del sistema de riego Chambo – Guano

Las zonas que se manejan dentro del sistema de riego Chambo – Guano son nueve se puede observar en la figura 2-3, a continuación, se detallan cada una de ellas y sus respectivas comunidades que conforman:

Zona 0: Tzetzeñag, Pungalbug, Guaruñaig y Shugchibug.

Zona 1: Molobog, Tunshi San Miguel, Tunshi San Pedro, Tunshi San Javier, Tunshi La Politécnica, Tunshi San Nicolás Pantaño y Pantus.

Zona 2: San Isidro, Santa Bárbara, Guaslán Siguilán, Chuipe Pangualazo, Calle Sique, Pichipud, Pacunshi, Rumipamba, Santa Bárbara, Corazón de Jesús, Monjas Tunshi y Punín.

Zona 3: Guaslán, San Antonio, San Vicente de Tiazo, La Candelaria y Tiazo Bajo.

Zona 4: María Auxiliadora, Sicao, Shuyo, Shuyo Santa Cruz, Shuyo Pedregal, Yaruquíes, Yaruquíes Tarazana, El Elén, Batán Chibunga, Santa Cruz y Shuyo Batán.

Zona 5: Libertad San Luis, San Luis Colegio, Panesillo y La Inmaculada.

Zona 6(6A, 6B, 6C): El Troje, San Gerardo, El Socorro, La Libertad, Magdalena El Rosal, La Unión, La Victoria, La Florida, San Vicente de Lacas, Langos Panamericana, Olte San Francisco, Piscin San Francisco, Sauces Mirador, Yuigan Los Elenes, Jesús del Gran Poder, Olte San Pedro, San Martín de Veranillo, Porlón, Langos Chico, San Pedro de Langos, Langos San Miguel, San Clemente, Socorro Alto y Cubijíes.

Zona 7: Ela, Miraflores y Alacao. (Prefectura Chimborazo, 2017)

La zona 6 tiene tres subdivisiones, existe una zona más que se encuentra en estudio denominada zona 8.

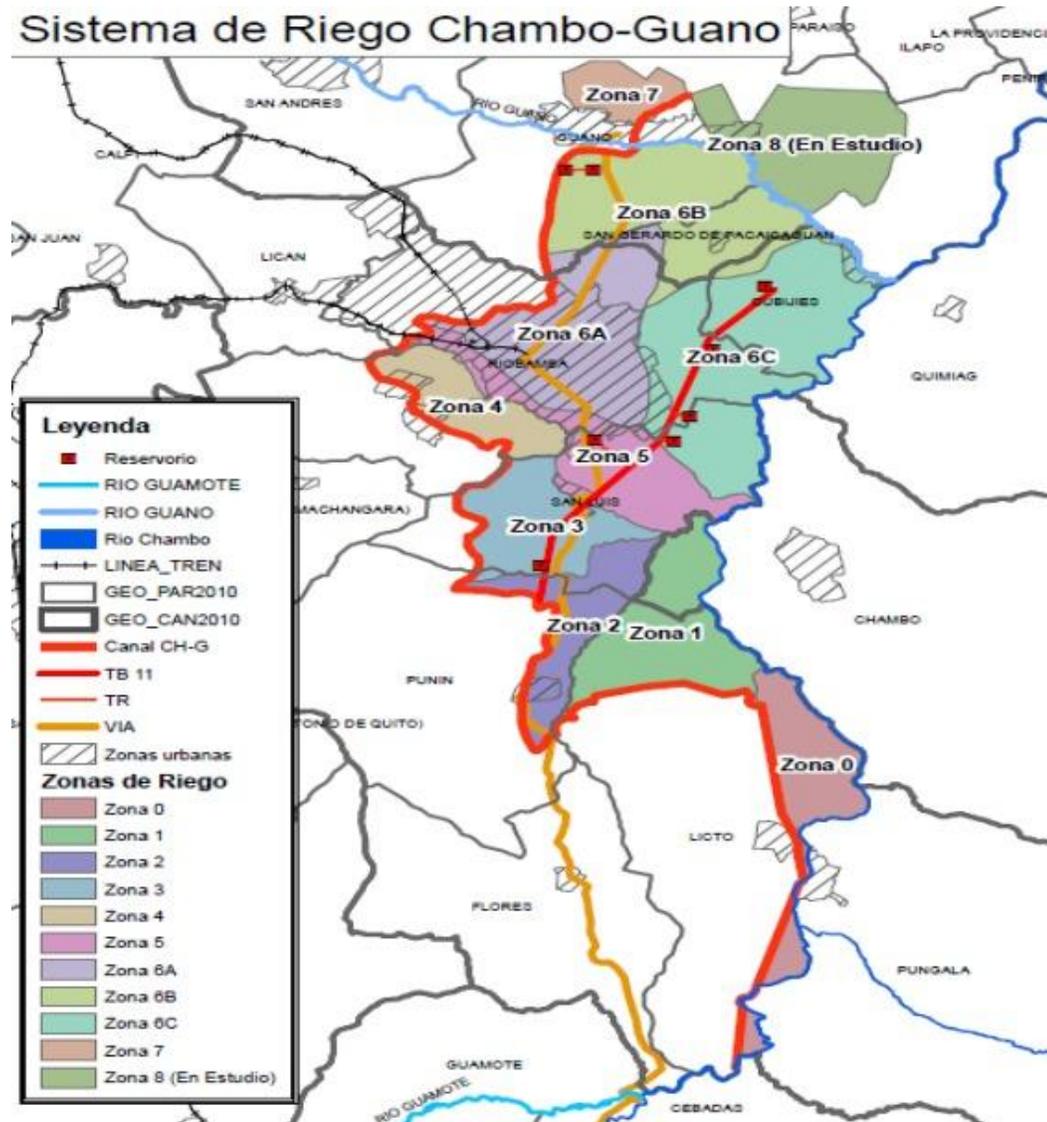


Figura 10-3. Esquema general del sistema de riego Chambo- Guano

Fuente: Prefectura Chimborazo, 2017

3.1.3. Canal principal

El canal principal es de 63,5 km aproximadamente, inicia en la comunidad de Ceceles, a través de este se conduce un caudal de 4 898 l/s que es parte del río Chambo; la trayectoria del canal tiene túneles en ciertos tramos, vertederos tipo “Z” para elevar el nivel de agua y 100 tomas para los diferentes canales secundarios, el GADP está a cargo para la operación y mantenimiento.

De acuerdo con la resolución 008-CNC-2011 del Consejo Nacional de Competencias, Artículo 29.- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Chimborazo. - Transfiérase al Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Chimborazo lo siguiente: 1.- La rectoría local, la

regulación, la planificación, el control y la gestión, en los sistemas Chambo – Guano y los demás sistemas de Riego públicos que en el futuro se construyan. (Prefectura Chimborazo, 2017)

3.2. Tubería principal TB11

3.2.1. Descripción general

Se denomina TB11 a la tubería de conducción principal cuya longitud es de 11,104 km (JURECH, 2013), transporta el agua de riego desde la entrada (figura 3-3) que deriva del canal principal para las zonas 5 y 6 del Sistema de Riego Chambo- Guano, la entrada existe una compuerta controlada por un PLC que permite su apertura y cierre, actualmente la automatización de este elemento no funciona debido a que el canal principal no fluye con un caudal constante.



Figura 11-3. Desviación e ingreso del caudal de 600 l/s hacia la TB11

Fuente: JURECH, 2020

El proceso de conducción del agua inicia en el sector de Guaslán, en la tabla 1-3 se muestra la ubicación.

Tabla 8-3: Coordenada de la compuerta captación para ingreso del agua a la tubería TB11.

| Este (X) | Norte (Y) | Cota (m.s.n.m.) |
|----------|-----------|-----------------|
| 761418 | 9807414 | 2803 |

Fuente: JURECH (2012) Ficha técnica Chambo Guano.

Realizado por: JURECH, 2012.

A partir de este punto se cuenta con la cota necesaria para que la distribución del agua de riego llegue a los reservorios.

Siguiendo con el recorrido, el agua ingresa en un desarenador que disminuye la velocidad horizontal a 0,091 m/s, (se detalla en el capítulo IV), su función es retener partículas abrasivas

(arena) que son arrastradas desde la bocatoma, esta estructura no detiene en su totalidad el material abrasivo por consiguiente existe sedimentos sobre las paredes de la tubería que oxida y corroe el espesor de la tubería y a su vez reduce la cantidad de caudal.



Figura 12-3. Desarenador

Fuente: Autores, 2020

La entrada de la tubería TB11 tiene un diámetro de 800 mm su material es acero comercial recubierto por una protección externa tipo laca, esta tubería ha sido diseñada con una protección catódica para toda su trayectoria. Cabe recalcar que en su etapa inicial este proyecto fue planteado para dos tuberías de 800 mm, pero por falta de financiamiento no se pudo realizar su segunda fase, aunque la obra civil fue construida, la instalación de la tubería nunca se realizó.



Figura 13-3. Inicio de la tubería TB11

Fuente: Autores, 2020

El caudal de ingreso desde el canal principal es de 600 l/s aproximadamente que se mide de manera indirecta mediante una escala limnimétrica, este caudal es distribuido hacia los reservorios de acuerdo con la superficie que tenga que abastecer, se trabaja con un caudal característico actual de 0,4 l/s/ha debido a las limitaciones de la tubería.



Figura 14-3. Caudal de ingreso a la tubería TB11

Fuente: Autores, 2020

El material de la línea principal es de acero comercial en su totalidad, la mayor parte se encuentra enterrada a excepción del tramo de la quebrada de Guaslán, donde se encuentra el paso elevado sobre un lote de cultivo.



Figura 15-3. Paso elevado tubería TB11, quebrada de Guaslán

Fuente: Autores, 2020



Figura 16-3. Fin del paso elevado

Fuente: Autores, 2020

El inicio y fin del paso elevado se encuentra en las siguientes coordenadas detalladas en la tabla 2-3. (JURECH, 2013)

Tabla 9-3: Coordenadas del paso elevado

| Descripción | Este (X) | Norte (Y) | Cota (m.s.n.m.) |
|---------------------|----------|-----------|-----------------|
| Paso elevado inicio | 761336 | 9808318 | 2727 |
| Paso elevado fin | 761336 | 9808367 | 2714 |

Fuente: JURECH, 2012

Realizado por: JURECH, 2013

En la quebrada de Guaslán a continuación de la terminación del paso elevado que se observa en la figura 7-3, la tubería que se encontraba enterrada ha sido expuesta (figura 9-3) debido a que los dueños de los terrenos han usado máquinas agrícolas para preparar el suelo y cultivarlas en consecuencia, provoca destrucción del recubrimiento y por lo tanto genera oxidación, afectando al tiempo de vida útil del sistema TB11.



Figura 17-3. Erosión del suelo sobre tubería

Fuente: Autores, 2020

A continuación, se procederá a detallar los accesorios que actualmente están en la tubería TB11 y en qué zonas se encuentran según la distribución del sistema de riego.

Tabla 10-3: Resumen de accesorios del sistema de tuberías TB11

| Descripción | Zona 2 | Zona 3 | Zona 5 | Zona 6 | Total |
|--------------------------------|--------------|--------|--------|--------|-------|
| Protección catódica | 1 | 3 | 1 | 3 | 8 |
| Válvula de interconexión (250) | | 1 | | 1 | 2 |
| Válvula de interconexión (300) | | | | 2 | 2 |
| Válvula de interconexión (350) | | | 1 | 1 | 2 |
| Válvula de interconexión (450) | | | | 1 | 1 |
| Válvula de desfogue (160) | | 3 | 5 | 11 | 19 |
| Válvula de desfogue (110) | | | 5 | | 5 |
| Válvula de aire (80) | | 2 | 10 | 10 | 22 |
| Válvula de control (800) | | | | 1 | 1 |
| Válvula mariposa (250) | | 2 | | 2 | 4 |
| Válvula mariposa (300) | | | | 4 | 4 |
| Válvula mariposa (350) | | 2 | | 2 | 4 |
| Válvula mariposa (450) | | | | 2 | 2 |
| Central protección catódica | | 1 | | | 1 |
| (Tubería de 800) Paso hombre | | 2 | 4 | 5 | 11 |
| medidor de Venturi 51 | | | 1 | | 1 |
| medidor de Venturi 64 | | | | 1 | 1 |
| medidor de Venturi 65 | | | | 1 | 1 |
| medidor de Venturi 66 | | | | 1 | 1 |
| medidor de Venturi 67a | | | | 1 | 1 |
| medidor de Venturi 67b | | | | 1 | 1 |
| | total | | | | 94 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

La trayectoria del agua desde el inicio de la tubería TB11 hacia cada reservorio tiene que atravesar varios accesorios ; de la línea principal sale un ramal para cada reservorio, durante este recorrido, existen una válvula de interconexión, válvula de aire, medidores de Venturi, válvulas mariposa, y válvula de desfogue y por último el agua de riego llega a los reservorios 51, 64, 65, 66, 67A, 67B en el cual se almacena el agua para su posterior distribución a las plantaciones de los agricultores.

3.2.2. Caudal característico

El caudal característico es una unidad de medida dada con relación a tres variables: de volumen, tiempo y cantidad de hectáreas, en este sistema de riego debido a las características del suelo y según el informe técnico del Sistema de Riego Chambo – Guano dice que para las zonas 1, 2, 3, 4,5 y 8 el caudal característico es de 0,70 l/s/ha mientras que para las zonas 6 y 7 el caudal característico fluctúa entre 0,87 - 0,97 hasta 1 l/s/ha. (JURECH, 2013)

3.2.3. Reservorios

Los reservorios son estructuras que sirven para almacenar el agua de riego que ingresa por la tubería TB11 y posterior a esto, desfoga a las diferentes válvulas de distribución o acequias para llegar a los cultivos (UNIDOS POR LA VIDA, 2018, p.32). El número de reservorios que están funcionando en la zona de la TB11 son 6, se encuentran a lo largo de la trayectoria en el siguiente orden 51, 64, 65, 66, 67A y 67B. El reservorio 51 se encuentra en la zona 5 y los restantes pertenecen a la zona 6.

Es necesario conocer que el reservorio 31 no entró en funcionamiento desde su inicio puesto que la infraestructura presento fugas y se encuentra en la zona 3, zona que se abastece desde el canal principal, lo que ha justificado que las autoridades no ejecuten su reconstrucción.

Existen los denominados mini proyectos que son adecuaciones realizadas a las válvulas de desfogue por la JURECH, con el fin de abastecer la necesidad de agua de riego a una área aproximadamente de 169 Ha que se encuentra en la zona 5; son 6 mini proyectos en total, el primero se provee de la válvula de desfogue 4 y los demás de los desfogues número 5.1, 5.2, 6, 7 y 8. Por otro lado, los mini proyectos no tienen capacidad de almacenamiento y solo funcionan los fines de semana con una tubería conectada directamente al desfogue.

En la tabla 4-3 se indican los reservorios y mini proyectos con la capacidad de almacenamiento, caudal de salida, la superficie a regar, el caudal característico de cada reservorio, el diámetro de ingreso, diámetro de salida, material de la tubería y coordenadas.

Tabla 11-3: Datos técnicos de reservorios y mini proyectos

| Reservorio | Capacidad (m³) | Caudal Salida (l/s) | Superficie (m²) | Caudal Característico (l/s/Ha) | Diámetro Ingreso (mm) | Diámetro Salida (mm) | Material | Zona | Coordenada UTM | | Cota (m.s.n.m.) | Caudal (l/s) |
|-----------------------|----------------|---------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------|----------|------|----------------|-----------|-----------------|--------------|
| 31 | 5170 | N.M | N.E. | N.E. | 250 | N.M. | Asbesto | 3 | 761155.3 | 9809236.7 | 2774 | |
| 51 | 11170 | 105 | 1508139 | 0,4 | 350 | C.A. | Asbesto | 5 | 762289.9 | 9812898.7 | 2740 | 60,32 |
| 64 | 4320 | 235 | 1956652 | 0,4 | 250 | 600 | Asbesto | 6 | 764649.5 | 9812133.3 | 2731 | 78,27 |
| 65 | 6080 | 525 | 1636916 | 0,4 | 300 | 600,600 | Asbesto | 6 | 765458.6 | 9813698.9 | 2769 | 65,48 |
| 66 | 15070 | 765 | 5642084 | 0,4 | 450 | 400,600,700,300 | Asbesto | 6 | 765516 | 9814846 | 2770 | 225,68 |
| 67 ^a | 4760 | 155 | 1298677 | 0,4 | 300 | 160 | Asbesto | 6 | 767244 | 9816221 | 2770 | 51,95 |
| 67B | 9970 | 82 | 1055376 | 0,4 | 350 | 160 | Asbesto | 6 | 766904 | 9816637 | 2740 | 42,22 |
| Mini proyecto | Capacidad (m³) | Caudal Salida (l/s) | Superficie (m²) | Caudal Característico (l/s/Ha) | Diámetro Ingreso (mm) | Diámetro Salida (mm) | Material | Zona | Coordenada UTM | | Cota (m.s.n.m.) | Caudal (l/s) |
| MP1 (San Luis) | N.E | 60 | 323721 | 0,4 | 160 | 160 | P.V.C | 5 | 762671 | 9810941 | 2708 | 12,95 |
| MP2 (San Jacinto) | N.E | 45 | 231964 | 0,4 | 110 | 110 | S.G | 5 | 762962 | 9811265 | 2719 | 9,28 |
| MP3 (Romero) | N.E | 45 | 180850 | 0,4 | 110 | 110 | S | 5 | 762966 | 9811263 | 2719 | 7,23 |
| MP4 (Padre Loma) | N.E | 60 | 305196 | 0,4 | 160 | 160 | S | 5 | 763166 | 9811501 | 2719 | 12,21 |
| MP5 (09 De octubre) | N.E | 22 | 300792 | 0,4 | 110 | 110 | S | 5 | 763289 | 9811648 | 2718 | 12,03 |
| MP6 (11 De noviembre) | N.E | 45 | 347394 | 0,4 | 160 | 160 | S | 5 | 763398 | 9811800 | 2724 | 14 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Nota: N.E.: no existe; N.M.: no medido; C.A: Canal Abierto.

3.2.4. Zonas que se abastecen de la tubería TB11

Las zonas que se abastecen de esta tubería son la zona 5 y zona 6, se organizan con las siguientes sub-juntas locales, San Luis Chico, Llallas, El Relleno, Virgen de las Nieves, Chambo Inmaculada, Troje la Inmaculada, Medio Mundo, Aguisacta, San Clemente, Cerro Negro, San Vicente de Lacas, Socorro Válvulas, San Francisco de Pisin, Porlón, Porlón Socorro, Chipobactus, y Socorro Bajo y los mini proyectos denominados, San Luis, San Jacinto, Romero, Padre Loma, 9 de octubre y 11 de noviembre. Lo cual significa 1478 hectáreas de regadío por gravedad o surcos.

3.3. Parámetros técnicos de los accesorios de la tubería TB11

3.3.1. Protección catódica

Es un elemento utilizado que cumple con la función de proteger a la tubería de la corrosión galvánica. Se registró ocho cajas de protección catódica, algunas no funcionaban correctamente ya sea porque el ánodo estaba desconectado e inservible o por malas condiciones de la obra civil. Se visitó la central de la protección catódica pero no se pudo observar las instalaciones, ni condiciones de funcionamiento debido a que se encuentra dentro de una propiedad privada en San Luis.

En la figura 10-3 se observa una protección catódica que se encuentra a la intemperie permitiendo la manipulación de terceras personas y fuera de servicio.



Figura 18-3. Protección catódica 2, obra civil en mal estado (Quebrada de Guaslán).

Fuente: Autores, 2020

A continuación, se observa la tabla 5-3 que contiene las coordenadas UTM, cota, zona, y distancia en la que se encuentran estos accesorios.

Tabla 12-3: Especificaciones de las protecciones catódicas

| Ref. | Descripción | Zona | Distancia (m) | COORDENADA | | COTA |
|------|-----------------------------|------|---------------|------------|---------|------|
| 1P | Protección catódica 1 | 2 | 108,204 | 761322 | 9807419 | 2798 |
| 2P | Protección catódica 2 | 3 | 1113,338 | 761336 | 9808424 | 2725 |
| 3P | Protección catódica 3 | 3 | 1701,206 | 761521 | 9808982 | 2734 |
| 4P | Protección catódica 4 | 3 | 3039,272 | 761958 | 9810230 | 2697 |
| 5P | Protección catódica 5 | 5 | 6030,874 | 763967 | 9812365 | 2724 |
| 6P | Protección catódica 6 | 6 | 8526,165 | 765335 | 9814430 | 2769 |
| 7P | Protección catódica 7 | 6 | 9083,317 | 765638 | 9814892 | 2764 |
| 8P | Protección catódica 8 | 6 | 11151,367 | 767136 | 9816278 | 2766 |
| GP | Central protección catódica | 3 | 3590,151 | 762320 | 9810598 | 2798 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.3.2. Válvula de Desfogue

Son válvulas que sirven para expulsar el material abrasivo que no logra sedimentarse en el desarenador, se encontraron 17 accesorios y se ubican en puntos bajos en toda la trayectoria; la válvula de desfogue 3 es la que se encuentra en la cota más baja de toda la trayectoria de la tubería TB11, actualmente la usan para vaciar el sistema TB11 debido a la presencia de una emergencia o para llevar a cabo la limpieza de los reservorios.

En la figura 11-3 se puede evidenciar el tipo de adecuaciones que han sido realizadas en las diferentes válvulas de desfogue para los mini proyectos.



Figura 19-3. Válvula de desfogue 5 con adecuación para mini proyectos San Jacinto y Romero.

Fuente: Autores, 2020

Existen seis válvulas de desfogue que funcionan los fines de semana para abastecer los mini proyectos de San Luis, San Jacinto, Romero, Padre Loma, 9 de octubre y 11 de noviembre, los demás accesorios ya tienen mucho tiempo sin realizar su función, esto se debe a que no tienen un canal o trayectoria definida para que el agua con sedimento pueda recorrer. Provocando que exista mayor pérdida de carga y desgaste en la tubería.

En la figura 12-3 se evidencia que existe la presencia de maleza sobre la superficie de la cámara de la válvula de desfogue lo que ayuda a oxidar y corroer el material.



Figura 20-3. Cámara de válvula de desfogue 16 cubiertas de tierra (San Clemente)

Fuente: Autores, 2020

En la siguiente tabla 6-3 se muestra el listado de las válvulas de desfogue que existen en el sistema TB11.

Tabla 13-3: Especificaciones de las válvulas de desfogue presentes en el sistema TB 11

| Ref. | Descripción | Dimensión (mm) | Zona | Distancia (m) | COORDENADA | | COTA |
|------|--------------------------|----------------|------|---------------|------------|---------|------|
| 1D | V. Desfogue 1 | 160 | 3 | 1086,3 | 761337 | 9808397 | 2720 |
| 2D | V. Desfogue 2 | 160 | 3 | 2819,6 | 761913 | 981001 | 2700 |
| 3D | V. Desfogue 3 | 160 | 3 | 3458,9 | 762244 | 9810491 | 2650 |
| 4D | V. Desfogue 4 (S.L.) | 160-160 | 5 | 4084,5 | 762671 | 9810941 | 2708 |
| 5.1D | V. Desfogue 5.1 (S.J.) | 160-110 | 5 | 4520,2 | 762962 | 9811265 | 2719 |
| 5.2D | V. Desfogue 5.2 (Romero) | 110-110 | 5 | 4524,7 | 762966 | 9811263 | 2719 |
| 6D | V. Desfogue 6 (P.L.) | 160-160 | 5 | 4839,5 | 763166 | 9811501 | 2719 |
| 7D | V. Desfogue 7 (9.O.) | 160-110 | 5 | 5040,1 | 763289 | 9811648 | 2718 |
| 8D | V. Desfogue 8 (11.N) | 160-160 | 5 | 5229,0 | 763398 | 9811800 | 2720 |
| 9D | V. Desfogue 9 | 160 | 6 | 6287,5 | 764144 | 9812549 | 2724 |
| 10D | V. Desfogue 10 | 160 | 6 | 6929,2 | 764473 | 9813100 | 2730 |
| 11D | V. Desfogue 11 | 160 | 6 | 7586,2 | 764825 | 9813653 | 2731 |
| 12D | V. Desfogue 12 | 160 | 6 | 8181,7 | 765164 | 9814131 | 2746 |
| 13D | V. Desfogue 13 | 160 | 6 | 8750,8 | 765458 | 9814618 | 2756 |
| 14D | V. Desfogue 14 | 160 | 6 | 9288,4 | 765786 | 9815034 | 2740 |
| 15D | V. Desfogue 15 | 160 | 6 | 9554,8 | 765964 | 9815223 | 2740 |
| 16D | V. Desfogue 16 | 160 | 6 | 10126,9 | 766339 | 9815655 | 2753 |
| 17D | V. Desfogue 17 | 160 | 6 | 10701,8 | 766834 | 9815945 | 2749 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.3.3. Válvulas de aire

Las válvulas de aires son de tipo doble efecto que admiten y expulsan el aire que se encuentra dentro de las tuberías se ubican en las zonas altas de la trayectoria para evacuar el aire, o cuando se cierra alguna válvula de control previniendo así el golpe de ariete.

La obra civil de la mayoría de las válvulas de aire se encuentra en mal estado un ejemplo se observa en la figura 13-3, están a la intemperie lo que provoca que haya oxidación y corrosión.



Figura 21-3. Válvula de aire 2 junto a vivienda, comunidad San Antonio

Fuente: Autores, 2020

El número de estos accesorios que se encuentran en la línea principal son 16; la válvula de aire 16 se encuentra aplastada con la obra civil producto de un mantenimiento de la vía al momento de ampliarla. El estado de dicha válvula genera una presión extra en la tubería principal de 800 mm lo que podría provocar una explosión.



Figura 22-3. Válvula de aire 16 comprimida (San Clemente).

Fuente: Autores, 2020

Tabla 14-3: Especificaciones de las válvulas de aire (ventosas)

| Ref. | Descripción | Código | Dimensión (mm) | Zona | Distancia (m) | COORDENADA | | COTA |
|------|-------------------|--------|----------------|------|---------------|------------|---------|------|
| 1VA | Válvula de aire 1 | DN80 | 80 | 3 | 1701,206 | 761521 | 9808982 | 2734 |
| 2VA | Válvula de aire 2 | DN80 | 80 | 3 | 3039,272 | 761958 | 9810230 | 2700 |

| | | | | | | | | |
|------|--------------------|------|----|---|-----------|--------|---------|------|
| 3VA | Válvula de aire 3 | DN80 | 80 | 5 | 4000,294 | 762607 | 9810891 | 2707 |
| 4VA | Válvula de aire 4 | DN80 | 80 | 5 | 4429,010 | 762897 | 9811201 | 2719 |
| 5VA | Válvula de aire 5 | DN80 | 80 | 5 | 4648,980 | 763037 | 9811365 | 2721 |
| 6VA | Válvula de aire 6 | DN80 | 80 | 5 | 4889,574 | 763190 | 9811545 | 2719 |
| 7VA | Válvula de aire 7 | DN80 | 80 | 5 | 5167,537 | 763364 | 9811751 | 2719 |
| 8VA | Válvula de aire 8 | DN80 | 80 | 5 | 6030,874 | 763967 | 9812365 | 2724 |
| 9VA | Válvula de aire 9 | DN80 | 80 | 6 | 6231,071 | 764110 | 9812504 | 2724 |
| 10VA | Válvula de aire 10 | DN80 | 80 | 6 | 7368,210 | 764702 | 9813473 | 2732 |
| 11VA | Válvula de aire 11 | DN80 | 80 | 6 | 8155,267 | 765140 | 9814120 | 2744 |
| 12VA | Válvula de aire 12 | DN80 | 80 | 6 | 8526,165 | 765335 | 9814430 | 2759 |
| 13VA | Válvula de aire 13 | DN80 | 80 | 6 | 9083,317 | 765638 | 9814892 | 2764 |
| 14VA | Válvula de aire 14 | DN80 | 80 | 6 | 9402,969 | 765850 | 9815129 | 2745 |
| 15VA | Válvula de aire 15 | DN80 | 80 | 6 | 9779,043 | 766109 | 9815394 | 2750 |
| 16VA | Válvula de aire 16 | DN80 | 80 | 6 | 10302,347 | 766481 | 9815758 | 2757 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.3.4. Paso hombre

Son salidas directas de la tubería y se encuentran junto a las cámaras de las válvulas de desfogue, estas en algunos casos están cubiertos por tierra lo que impide su visibilidad, en la inspección realizada se observó 11 pasos hombres que se describirán a continuación.

Tabla 15-3: Características de los pasos hombre

| Ref. | Descripción | Dimensión (mm) | Zona | Distancia (m) | COORDENADA | | COTA |
|--------|----------------|----------------|------|---------------|------------|---------|------|
| TB11-1 | Tubería de 250 | 250 | 3 | 2803,335 | 761897 | 9810018 | 2700 |
| TB11-2 | Tubería de 250 | 250 | 3 | 3429,074 | 762225 | 9810514 | 2650 |
| TB11-3 | Tubería de 600 | 600 | 5 | 4078,192 | 762665 | 9810943 | 2708 |
| TB11-4 | Tubería de 250 | 250 | 5 | 4835,849 | 763163 | 9811503 | 2719 |
| TB11-5 | Tubería de 250 | 250 | 5 | 5034,740 | 763287 | 9811653 | 2718 |
| TB11-6 | Tubería de 250 | 250 | 5 | 5227,010 | 763398 | 9811798 | 2720 |
| TB11-7 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 6932,221 | 764473 | 9813103 | 2730 |

| | | | | | | | |
|---------|----------------|-----|---|-----------|--------|---------|------|
| TB11-8 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 7590,693 | 764829 | 9813651 | 2731 |
| TB11-9 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 8178,115 | 765161 | 9814129 | 2745 |
| TB11-10 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 9548,134 | 765958 | 9815226 | 2740 |
| TB11-11 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 10136,924 | 766347 | 9815661 | 2753 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

En la siguiente figura se muestra los problemas que presenta este elemento hidráulico ya que debido a que se encuentra en la intemperie presenta una corrosión más acelerada.



Figura 23-3. Paso hombre

Fuente: Autores, 2020

3.3.5. *Válvula de control*

Es una válvula que permite el control directamente en la tubería principal de 800 mm se encuentra ubicada en el sector Medio Mundo su función principal es cortar el fluido para los reservorios 66, 67A, y 67B que debían ser abastecidos con la fase dos que nunca se construyó. En la siguiente tabla se explican los detalles.

Tabla 16-3: Detalle de válvula de control

| Ref. | Descripción | Código | Dimensión (mm) | Zona | Distancia (m) | COORDENADA | | COTA |
|------|--------------------|--------|----------------|------|---------------|------------|---------|------|
| VC | Válvula de control | DN800 | 800 | 6 | 7050,68 | 764569 | 9813284 | 2731 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020.

La tubería en la que se encuentra instalada esta válvula presenta oxidación como se puede apreciar en la siguiente figura, lo cual deteriora el tiempo de vida útil de la tubería y la válvula.



Figura 24-3. Válvula de control

Fuente: Autores, 2020

3.3.6. Fin de tubería

La tubería principal termina a los 11,104 km de recorrido con un diámetro de 600 mm siendo la protección catódica 8 el punto de referencia se encuentra en la comunidad “El Socorro”, existe una te que permite la salida hacia los ramales del reservorio 67A y 67B, en la figura 17-3 observamos en la mitad la protección catódica 8 y en el lado izquierdo la válvula de interconexión 67B en el otro lado se encuentra la válvula de interconexión 67B.

A continuación, se detalla las coordenadas y cotas

Tabla 17-3: Coordenadas del de fin tubería

| Descripción | Zona | Km | Coordenada UTM | | Cota (m.s.n.m.) |
|---------------------|------|----------|----------------|---------|-----------------|
| Fin de tubería (8P) | 6 | 11064,95 | 767136 | 9816278 | 2766 |

Fuente: JURECH (2020)

Realizado por: Autores, 2020



Figura 25-3. Fin de la tubería TB11 referencia protección catódica 8.

Fuente: Autores, 2020

3.3.7. Ramificaciones de la TB11

Las ramificaciones inician con la válvula de interconexión y termina en el reservorio, también se encuentran accesorios como las válvulas de aire, válvulas de desfogue, medidores de Venturi y válvulas de mariposa. Para cada reservorio existe una ramificación, por ello se ha detallado en la tabla 11-3 la longitud y diámetro de cada ramal.

Tabla 18-3: Detalles de ramificaciones

| Descripción | Longitud (km) | Diámetro (mm) |
|-----------------------------------|---------------|---------------|
| Acceso Reservorio 51 | 1561,27 | 350 |
| Acceso Reservorio 64 | 672,13 | 250 |
| Acceso Reservorio 65 | 575,67 | 300 |
| Acceso Reservorio 66 | 55,99 | 450 |
| Acceso Reservorio 67 ^a | 123,31 | 300 |
| Acceso Reservorio 67B | 435 | 350 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

A continuación, se detallará los accesorios de las trayectorias de los distintos ramales

3.3.7.1. Válvula de interconexión

Las válvulas de interconexión son elementos que le permiten realizar una bifurcación a la tubería principal rumbo a los reservorios, están ubicados en una cámara, lo cual permite evitar las inclemencias del clima, estas permanecen abiertas durante todo el tiempo debido a la dificultad que se presenta al manipular esta válvula y en algunas ocasiones solo realizan un mantenimiento correctivo. A continuación, se presentan una lista de las válvulas de interconexión.

Tabla 19-3: Detalles válvulas de interconexión

| Ref. | Descripción | Código | Dimensión (mm) | Zona | Distancia (m) | COORDENADA | | COTA |
|--------|------------------------------|--------|----------------|------|---------------|------------|-----------|------|
| VIR31 | Válvula de interconexión 31 | DN250 | 250 | 3 | 1735,960 | 761532,2 | 9809014,9 | 2733 |
| VIR51 | Válvula de interconexión 51 | DN350 | 350 | 5 | 5197,462 | 763375,8 | 9811778,5 | 2720 |
| VIR64 | Válvula de interconexión 64 | DN250 | 250-160 | 6 | 6182,011 | 764080,5 | 9812464,8 | 2724 |
| VIR65 | Válvula de interconexión 65 | DN300 | 300 | 6 | 7785,706 | 764954,1 | 9813800,6 | 2734 |
| VIR66 | Válvula de interconexión 66 | DN450 | 450 | 6 | 8979,759 | 765561,5 | 9814822,2 | 2767 |
| VIR67A | Válvula de interconexión 67A | DN300 | 300 | 6 | ---- | 767139 | 9816273 | 2766 |
| VIR67B | Válvula de interconexión 67B | DN350 | 350 | 6 | ---- | 767133 | 9816281 | 2766 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020



Figura 26-3. Válvula de interconexión.

Fuente: Autores, 2020

3.3.7.2. Válvula de desfogue

En las ramificaciones las válvulas de desfogues se presentan solo en los reservorios 51, 65 y 67B, presentan similares situaciones como la falta de mantenimiento; no están en funcionamiento los desfogues de los reservorios 65 y 67B.

En la siguiente tabla 13-1 detallamos las coordenadas y cota en la que se encuentra.

Tabla 20-3: Detalles de válvula de desfogue de las ramificaciones

| Ref. | Descripción | Código | Zona | Coordenada UTM | | Cota (m.s.n.m) |
|---------|-------------------------------------|--------|------|----------------|---------|----------------|
| VD1R51 | Válvula de desfogue 1 reservorio 51 | DN160 | 5 | 763243 | 9811926 | 2723 |
| VD2R51 | Válvula de desfogue 2 reservorio 51 | DN110 | 5 | 763036 | 9812161 | 2726 |
| VD3R51 | Válvula de desfogue 3 reservorio 51 | DN110 | 5 | 762939 | 9812261 | 2728 |
| VD4R51 | Válvula de desfogue 4 reservorio 51 | DN110 | 5 | 762461 | 9812751 | 2735 |
| VD1R65 | Válvula de desfogue 1 R65 | DN160 | 6 | 765075 | 9813777 | 2738 |
| VD1R67B | Válvula de desfogue 1 R67B | DN160 | 6 | 767027 | 9816470 | 2751 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

A continuación, se presenta la válvula de desfogue de la ramificación del reservorio 65 que no se encuentra en funcionamiento debido a que no existe lugar donde desfogar el agua.



Figura 27-3. Válvula de desfogue del ramal hacia el reservorio 51

Fuente: Autores, 2020

Las válvulas de desfogue del reservorio 51, tienen una distribución de caudal continuo de lunes a viernes 35 l/s y los días sábado y domingo de 42 l/s, además, de proveer al reservorio de 35 l/s continuos.

3.3.7.3. Válvula de aire

Al igual que los desfuegos, las válvulas de aire solo se encuentran en los tres reservorios, en cada accesorio de los ramales del 65 y 67B se constató que cada válvula está dentro de un cerramiento de una vivienda. A continuación, se presentan las características de las válvulas:

Tabla 21-3: Detalles de válvulas de aire de ramificaciones

| Ref. | Descripción | Código | Zona | Coordenada UTM | | Cota (m.s.n.m) |
|---------|---------------------------------|--------|------|----------------|---------|----------------|
| VA1R51 | Válvula de aire 1 reservorio 51 | DN80 | 5 | 763292 | 9811874 | 2721 |
| VA2R51 | Válvula de aire 2 reservorio 51 | DN80 | 5 | 763081 | 9812116 | 2725 |
| VA3R51 | Válvula de aire 3 reservorio 51 | DN80 | 5 | 762950 | 9812235 | 2728 |
| VA4R51 | Válvula de aire 4 reservorio 51 | DN80 | 5 | 762484 | 9812716 | 2735 |
| VA1R65 | Válvula de aire 1 R65 | DN80 | 6 | 765048 | 9813778 | 2738 |
| VA1R67B | Válvula de aire 1 R67B | DN80 | 6 | 767013 | 9816511 | 2749 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

3.3.7.4. Medidor de Venturi

Existe un medidor de Venturi por cada ramal de un reservorio en su mayoría no funcionan puesto que han sido desmantelados y presentan oxidación como se puede apreciar en la figura 20-3, por lo cual, no cumple con la función de medir el caudal y genera mayores pérdidas de presión, además se pudo observar las placas de datos técnicos del Venturi como se aprecia en la figura 21-3.



Figura 28-3. Medidor de Venturi R65

Fuente: Autores, 2020



Figura 29-3. Placa de datos técnicos de un medidor de Venturi

Fuente: Autores, 2020.

A continuación, se detallan los datos técnicos obtenidos de los Medidores de Venturi en la siguiente tabla. Además, se adjunta el anexo A “Especificaciones técnicas de los medidores de Venturi” donde se detallan estos parámetros.

Tabla 22-3: Especificaciones de medidores de Venturi de las ramificaciones

| Reservorio | DN (mm) | PN (kg/cm ²) | P (m.c.a) | Q (l/s) | Coordenadas UTM | | Cota (m.s.n.m) |
|------------|---------|--------------------------|-----------|---------|-----------------|---------|----------------|
| R51 | 400 | | | | 762314 | 9812885 | 2740 |
| R64 | 300 | 10 | 2 | 300 | 764588 | 9812126 | 2730 |
| R65 | 350 | 10 | 2 | 200 | 765312 | 9813718 | 2761 |
| R66 | 600 | 10 | 2 | 500 | 765558 | 9814834 | 2768 |
| R67A | 350 | 10 | 2 | 200 | 767143 | 9816269 | 2766 |
| R67B | 500 | 10 | 2 | 400 | 767016 | 9816512 | 2740 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Los datos del medidor de Venturi del reservorio 51 no se obtuvieron debido a que la placa de datos no se encontró. Además, los datos encontrados son del momento de instalación, por lo que las mediciones actuales variarán debido al desgaste que tienen estos instrumentos.

3.3.7.5. Válvula mariposa

Estas válvulas se encuentran en una cámara junto a los reservorios, existen dos en cada reservorio la función de la primera es abrir el paso del fluido al reservorio y la otra permite el paso del fluido directamente a la cámara de distribución. En el caso de los reservorios 64, 65, 66 son distribuidos a tuberías secundarias para su distribución final por canaleta. Para los reservorios 67A y 67B son distribuidos directamente a canal abierto.

Las válvulas que permiten el paso del agua a los reservorios están automatizadas ya que permiten controlar el ingreso del fluido en el rango deseado, de manera que se mantenga con un abastecimiento constante. En la siguiente tabla se presentará una lista de las válvulas de interconexión.

Tabla 23-3: Detalles de las válvulas mariposa

| Ref. | Descripción | Código | Dimensión (mm) | Zona | COORDENADA | | COTA (m.s.n.m) |
|----------|----------------------------------|--------|-------------------|------|------------|-----------|-------------------|
| | | | | | | | |
| R31 | Válvula mariposa 31 | DN250 | 250 | 3 | 761155,3 | 9809236,7 | 2732 |
| R51 | Válvula mariposa 51 | DN350 | 350 | 5 | 762289,9 | 9812898,7 | 2780 |
| R64 | Válvula mariposa 64 | DN250 | 250 | 6 | 764649,5 | 9812133,3 | 2765 |
| R65 | Válvula mariposa 65 | DN300 | 300 | 6 | 765458,6 | 9813698,9 | 2781 |
| R66 | Válvula mariposa 66 | DN450 | 450 | 6 | 765516 | 9814846 | 2782 |
| R67 A | Válvula mariposa 67 ^a | DN300 | 300 | 6 | 767244 | 9816221 | 2770 |
| R67 B | Válvula mariposa 67B | DN350 | 350 | 6 | 766904 | 9816637 | 2753 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

En la siguiente figura 22-3 se puede observar que las válvulas mariposas las cuales se controlan por medio un PLC mediante una electroválvula.



Figura 30-3. Válvula mariposa

Fuente: Autores, 2020.

3.4. Colocación de señalética en subtendido actual

Para la selección de los puntos a colocarse la señalética, se consideró los factores como presencia de viviendas cerca de algún accesorio, tubería expuesta dentro de terrenos con cultivos, fácil visibilidad de la señal, zonas que están próximas a urbanizarse; estas consideraciones ayudaron a escoger los puntos con mayor nivel de peligro y para ello se ha optado por realizar un letrero de advertencia en el cual se indica la presencia de tubería enterrada, el número de celular de la organización en caso de una emergencia, a su vez tiene una señal de precaución que indica el peligro de alta presión.

El número de señaléticas es para 11 accesorios, se ha visto la necesidad de colocar la referencia de este y la distancia a lo largo de la tubería principal o el ramal de acuerdo al reservorio.

Tabla 24-3: Elementos para ubicación de la señalética

| N° | Nombre | Ref. | Distancia (m) | | |
|----|-----------------------------|-------|---------------|----|-------|
| | | | | | |
| 1 | PROTECCIÓN CATÓDICA 2 | 2P | 1027 | DE | 11065 |
| 2 | VÁLVULA DE AIRE 2 | VA2 | 2953 | DE | 11065 |
| 3 | VÁLVULA DE AIRE 4 | VA4 | 4343 | DE | 11065 |
| 4 | VÁLVULA DE INTERCONEXIÓN 64 | VIR64 | 6096 | DE | 11065 |

| | | | | | |
|----|-----------------------------|---------|-------|----|-------|
| 5 | VÁLVULA DE CONTROL | VC | 7051 | DE | 11065 |
| 6 | VÁLVULA DE INTERCONEXIÓN 65 | VIR65 | 7699 | DE | 11065 |
| 7 | VÁLVULA DE AIRE 16 | VA16 | 10216 | DE | 11065 |
| 8 | MEDIDOR DE VENTURI 64 | MV64 | 610 | DE | 672 |
| 9 | VÁLVULA DE AIRE 1 R67B | VA1R67B | 264 | DE | 435 |
| 10 | VÁLVULA DE AIRE 2 R51 | VA2R51 | 448 | DE | 1564 |
| 11 | VÁLVULA DE AIRE 4 R51 | VA4R51 | 1296 | DE | 1564 |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

La superficie que se requiere según la distancia de observación de 20 metros es:

$$S \geq \frac{L^2}{2000}$$

$$S \geq \frac{20^2}{2000}$$

$$S \geq 0.2 \text{ m}^2$$

En la norma NTP INEN 878:2013 se elige las dimensiones del rótulo de 400 mm x 500 mm que cumplen con el requerimiento de la superficie de 0,2 m².

A continuación, la imagen del rótulo:



Figura 31-3. Señalética para accesorios de la TB11

Fuente: (NTE INEN 878:2013)

CAPÍTULO IV

4. CÁLCULOS DE LA SITUACIÓN INICIAL Y REDISEÑO

4.1. Análisis hidráulico de la situación inicial

Para realizar la evaluación de la situación inicial se procedió a calcular la velocidad horizontal del desarenador con la finalidad de comprobar si cumple con el requerimiento para que las partículas abrasivas logren sedimentarse, posterior a ello se procede a realizar la comprobación de la cantidad de caudal que circula en la ramificación del sistema TB11.

Con la ayuda de la información recolectada como datos técnicos, se empleó la ecuación de Manning para los cálculos de caudales y presiones en las líneas y puntos más relevantes, cabe mencionar que se ha procedido a dividir por tramos toda la red de tuberías identificando los nodos principales que involucran la línea principal y ramificaciones.

4.1.1. Cálculo de la velocidad horizontal del desarenador.

Para el cálculo de la velocidad se recopiló los datos necesarios según la ecuación de la velocidad horizontal del desarenador,

Datos:

L_D : 13 m.

H: 1,65 m.

Q: 0,3 m³/s

Ancho del desarenador (A): 2 m.

Área superficial:

$$A = L_D * A$$

$$A = 13 * 2$$

$$A = 26 \text{ m}^2$$

Velocidad del sedimento de la partícula crítica.

$$V_o = \frac{Q}{A}$$

$$V_o = \frac{0,3 \frac{m^3}{s}}{26 m^2}$$

$$V_o = 0,01154 \frac{m}{s}$$

Velocidad Horizontal:

$$V_h = \frac{L_D * V_o}{H}$$

$$V_h = \frac{13 * 0,01154}{1,65}$$

$$V_h = 0,091 m/s$$

Por lo tanto, para un caudal de 300 l/s se obtiene una velocidad horizontal del desarenador de 0,091m/s que permite sedimentar arcillas finas que se decantan a 0,16 m/s según (Narvaéz , 2011).

Todos los accesorios de la situación inicial se presentan en el anexo B del plano denominado “Trayectoria del sistema de tuberías TB11, JURECH”, se indica las referencias de cada uno de ellos.

4.1.2. División por tramos Tubería TB11

Para realizar los cálculos de caudales se necesita delimitar los tramos, para ello en la tabla 1-4 se observa el nodo y la referencia del accesorio en la tubería, son 5 nodos por considerar para los cálculos.

Tabla 25-4: Denominación de los nodos en la red de tubería principal de la TB11

| Nodo | Ref. |
|------|-------|
| NA | VIR51 |
| NB | VIR64 |
| NC | VIR65 |
| ND | VIR66 |
| NE | 8P |

Fuente: JURECH, 2020

Realizado por: Autores, 2020

En la figura 1-4 se puede observar los puntos que se han considerado para esquematizar los tramos, el primer punto tenemos el ingreso de la tubería (IT) luego las válvulas de interconexión de los 4 primeros reservorios (VIR), la protección catódica 8 (8P), las válvulas mariposas de los reservorios (VMR). Además, se detallan las distancias de los accesorios en línea principal en el anexo C “Distancias de línea principal de la tubería”

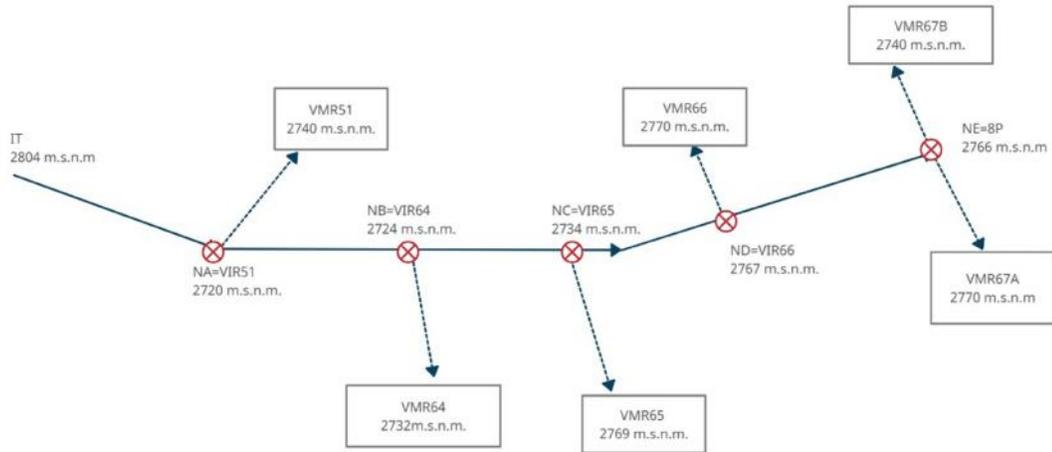


Figura 32-4. Tramos de la red ramificada inicial TB11

Fuente: Autores, 2020.

En la tabla 2-4 tenemos los once tramos con sus respectivas distancias entre cada tramo y diámetros. Para observar con mayor detalle se adjunta el anexo D “Distancia de los ramales”

Tabla 26-4: Tramos de la red de tubería TB11

| N° | Tramos | L(m) | Diámetro (mm) | Cota (m.s.n.m.) |
|----|-----------|---------|---------------|-----------------|
| | IT | | | 2804 |
| 1 | IT-NA | 5115,5 | 800 | 2720 |
| 2 | NA-VMR51 | 1567,27 | 350 | 2740 |
| 3 | NA-NB | 984,5 | 800 | 2724 |
| 4 | NB-VMR64 | 672,13 | 250 | 2731 |
| 5 | NB-NC | 1605,67 | 800 | 2734 |
| 6 | NC-VMR65 | 515,67 | 300 | 2769 |
| 7 | NC-ND | 1194,1 | 800 | 2767 |
| 8 | ND-VMR66 | 55,99 | 450 | 2770 |
| 9 | ND-NE | 2171,6 | 600 | 2766 |
| 10 | NE-VMR67A | 123,31 | 300 | 2770 |
| 11 | NE-VMR67B | 518,24 | 350 | 2740 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

En el gráfico 1-4 se representa las cotas para determinar el comportamiento del líquido en toda la trayectoria. La línea azul indica las cotas de las válvulas de interconexión (VIR) que son el punto

de partida hacia cada ramificación. La línea naranja indica la cota de los reservorios, es decir, hasta donde llegará el fluido.

Como se puede apreciar los reservorios 51, 64 y 67B se encuentran en los puntos más bajos con relación a los demás, el líquido llega por efecto de la gravedad y genera menores pérdidas de carga. En cambio, a los reservorios 65, 66 y 67A debido a que los reservorios se encuentran más altos y necesito más energía para elevar al agua al punto de almacenamiento.

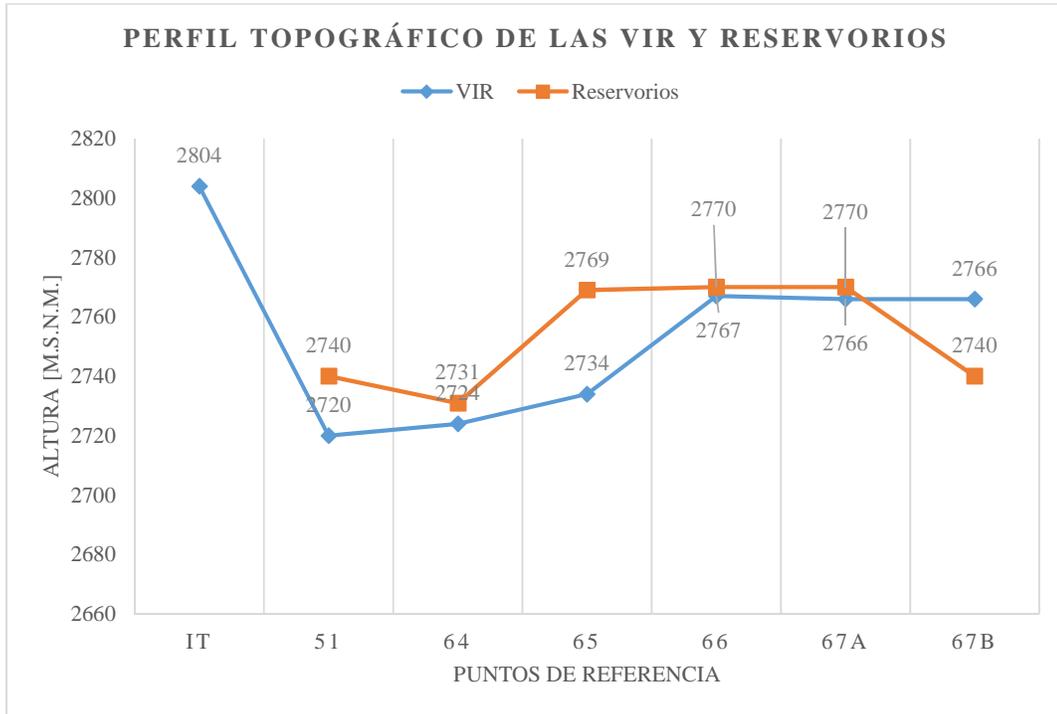


Gráfico 2-4. Perfil topográfico de las válvulas de interconexión y reservorios

Realizado por: Autores, 2020

4.1.3. Cálculo de caudales mediante la ecuación de Manning.

Una vez entendido como están distribuidos los tramos, se procede a calcular la pendiente hidráulica (J) de cada uno y posterior a ello servirá para el cálculo de los caudales conociendo los datos de diámetro, viscosidad cinemática, longitud, cotas y coeficiente de Manning de la tubería ($n_{\text{metal}}: 0,014$, $n_{\text{asbesto}}: 0,015$) cabe recalcar que este coeficiente es de un tiempo medio de tubería.

Tabla 27-4: Datos técnicos de los puntos principales del sistema de tuberías TB11.

| Puntos | Tramos | D(m) | L(m) | n | Cota (m.s.n.m.) | LT(m) |
|------------|----------|------|---------|-------|-----------------|--------------|
| IT | | | | | 2804 | Long. Total. |
| NA (VIR51) | IT-NA | 0,8 | 5115,50 | 0,014 | 2720 | 5115,50 |
| VMR51 | NA-VMR51 | 0,35 | 1561,27 | 0,015 | 2740 | 6676,77 |
| NB (VIR64) | NA-NB | 0,8 | 984,55 | 0,014 | 2724 | 6100,05 |

| | | | | | | |
|------------|-----------|------|---------|-------|------|----------|
| VMR64 | NB-VMR64 | 0,25 | 672,13 | 0,015 | 2731 | 6772,18 |
| NC (VIR65) | NB-NC | 0,8 | 1603,67 | 0,014 | 2734 | 7703,72 |
| VMR65 | NC-VMR65 | 0,3 | 515,07 | 0,015 | 2769 | 8279,39 |
| ND (VIR66) | NC-ND | 0,8 | 1194,10 | 0,014 | 2767 | 8897,82 |
| VMR66 | ND-VMR66 | 0,45 | 55,99 | 0,015 | 2770 | 8953,81 |
| NE (PC8) | ND-NE | 0,6 | 2171,60 | 0,014 | 2766 | 11069,42 |
| VMR67A | NE-VMR67A | 0,3 | 123,31 | 0,015 | 2770 | 11192,73 |
| VMR67B | NE-VMR67B | 0,35 | 435,000 | 0,015 | 2740 | 11504,42 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

Cálculo para el tramo IT-NA

Datos:

$$C_1 = 2804$$

$$C_2 = 2720$$

$$L = 5115,5 \text{ m}$$

$$D_{D_{no}} = 0,8 \text{ m}$$

$$n = 0,014$$

Pendiente J

$$J = \frac{\Delta h}{L}$$

$$J = \frac{2804 - 2720}{5115,5}$$

$$J = 0,01642$$

Caudal a sección llena

$$Q_0 = 0,312 * \frac{D_{D_{no}}^{\frac{8}{3}} * J^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q_0 = 0,312 \left(\frac{0,8^{\frac{8}{3}} * 0,01642^{\frac{1}{2}}}{0,014} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$Q_0 = 1,58 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4.1.3.1. Resultado de caudales iniciales

Se realiza el mismo procedimiento para los siguientes tramos, pero se debe considerar que el material de los ramales es de asbesto y el coeficiente n para ese material es de 0,015. Se presenta en la tabla 4-4 el resumen de los datos obtenidos de la pendiente hidráulica y el caudal de todos los tramos.

Tabla 28-4: Resultado de caudales iniciales del sistema de tuberías TB11.

| N° | Tramos | Longitud acumulada (m) | J | Q _o (m ³ /s) |
|----|-----------|------------------------|---------|------------------------------------|
| 1 | IT-NA | 5115,50 | 0,01642 | 1,58 |
| 2 | NA-VMR51 | 6676,77 | 0,00959 | 0,12 |
| 3 | NA-NB | 6100,05 | 0,01311 | 1,41 |
| 4 | NB-VMR64 | 6772,18 | 0,01078 | 0,05 |
| 5 | NB-NC | 7703,72 | 0,00909 | 1,17 |
| 6 | NC-VMR65 | 8279,39 | 0,00426 | 0,05 |
| 7 | NC-ND | 8897,82 | 0,00416 | 0,79 |
| 8 | ND-VMR66 | 8953,81 | 0,00380 | 0,15 |
| 9 | ND-NE | 11069,42 | 0,00343 | 0,33 |
| 10 | NE-VMR67A | 11192,73 | 0,00304 | 0,05 |
| 11 | NE-VMR67B | 11504,42 | 0,00556 | 0,09 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

4.2. Cálculo de pérdidas de carga por tramo

Se procede a calcular las pérdidas de carga en cada tramo por medio de la ecuación de Darcy Weisbach. En la tabla 5-4 se encuentra la información necesaria para el desarrollo de cálculo de pérdidas.

Tabla 29-4: Datos para el cálculo de las pérdidas de carga.

| Tramo | Q(m ³ /s) | D(m) | v(m ² /s)-T°:20°C | L(m) | (m) |
|----------|----------------------|------|------------------------------|---------|----------|
| IT-NA | 1,58 | 0,8 | 1,007E-06 | 5115,50 | 4,50E-05 |
| NA-VMR51 | 0,12 | 0,35 | 1,007E-06 | 1561,27 | 9,00E-04 |
| NA-NB | 1,41 | 0,8 | 1,007E-06 | 984,55 | 4,50E-05 |
| NB-VMR64 | 0,05 | 0,25 | 1,007E-06 | 672,13 | 9,00E-04 |
| NB-NC | 1,17 | 0,8 | 1,007E-06 | 1603,67 | 4,50E-05 |

| | | | | | |
|-----------|------|------|-----------|---------|----------|
| NC-VMR65 | 0,05 | 0,3 | 1,007E-06 | 515,07 | 9,00E-04 |
| NC-ND | 0,79 | 0,8 | 1,007E-06 | 1194,10 | 4,50E-05 |
| ND-VMR66 | 0,15 | 0,45 | 1,007E-06 | 55,99 | 9,00E-04 |
| ND-NE | 0,33 | 0,6 | 1,007E-06 | 2171,60 | 4,50E-05 |
| NE-VMR67A | 0,05 | 0,3 | 1,007E-06 | 123,31 | 9,00E-04 |
| NE-VMR67B | 0,09 | 0,35 | 1,007E-06 | 435,000 | 9,00E-04 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

4.2.1. Cálculo de velocidad

$$V = \frac{4Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 1,158}{\pi * (0,8)^2}$$

$$V = 3,13 \text{ m/s}$$

4.2.2. Número de Reynolds

$$R = \frac{v * D}{\nu}$$

$$R = \frac{3,13 * 0,8}{1,007E - 06}$$

$$R = 2489350,88$$

Ya que el número de Reynolds 2 489 350,88 se considera un régimen turbulento para calcular el coeficiente de fricción f .

4.2.3. Coeficiente de fricción (f)

$$f = \lambda = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{R} \right)^{0,2}$$

$$f = \lambda = 0,11 \left(\frac{4,5E - 05}{0,8} + \frac{68}{2489350,88} \right)^{0,2}$$

$$f = \lambda = 0,0105$$

4.2.4. Pérdidas por fricción (hf)

$$hf = \lambda * \frac{l * v^2}{d * 2g}$$

$$hf = 0,0105 * \frac{5115,5 * 3,13^2}{0,8 * 2 * 9,81}$$

$$hf = 33,66 \text{ m.c.a.}$$

4.2.5. Pérdidas menores

4.2.5.1. Coeficiente K de resistencia

El coeficiente K de pérdidas menores se obtiene mediante el conteo de todos los accesorios por cada tramo, como son las válvulas, codos, té, etc. Que se encuentran en el anexo E “Especificaciones técnicas de los accesorios de la tubería TB11”. El resumen del valor de K que se obtiene para cada tramo se encuentra en la tabla 6-4 y en el anexo F “Coeficientes de resistencias K de los accesorios de la tubería TB11” se encuentra detallado todo el análisis realizado para determinar los valores, a excepción de las válvulas mariposas puesto que para el cálculo de estas se realizan en función de su diámetro.

Tabla 30-4: Coeficiente K de accesorios de los tramos del sistema de tuberías TB11

| Tramo | K |
|-----------|-------|
| IT-NA | 42,3 |
| NA-VMR51 | 22,41 |
| NA-NB | 5,2 |
| NB-VMR64 | 5,36 |
| NB-NC | 13 |
| NC-VMR65 | 7,23 |
| NC-ND | 7 |
| ND-VMR66 | 3,63 |
| ND-NE | 16,2 |
| NE-VMR67A | 3,74 |
| NE-VMR67B | 7,34 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

4.2.5.2. Coeficiente K para válvulas mariposa.

Se emplea la siguiente fórmula:

$$K = L \cdot f$$

Tomando en cuenta los valores de la tabla 5-2 se obtiene la siguiente tabla con los resultados del coeficiente K para válvulas mariposa.

Tabla 31-4: Coeficiente K para válvulas mariposa.

| D(mm) | Ft | Leq/D[1/mm] | K |
|-------|-------|-------------|-------|
| 250 | 0,014 | 35 | 0,49 |
| 300 | 0,014 | 25 | 0,35 |
| 350 | 0,013 | 35 | 0,455 |
| 400 | 0,013 | 35 | 0,455 |
| 450 | 0,013 | 25 | 0,325 |
| 800 | 0,012 | 25 | 0,3 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

4.2.5.3. Coeficiente K para válvula de compuerta abierta a la mitad

D=110

$f_t = 0,017$

$Leq/D = 160$

$$K = f * \frac{L}{D}$$

$$K = 0,017 * 110$$

$$K = 1,87$$

Este accesorio se presenta en el tramo Na-VMR51 el cual tiene una adaptación para disminuir el caudal.

Se obtiene un coeficiente K de 42,3 del tramo IT-NA

$$hm = K * \frac{V^2}{2g}$$

$$hm = 42,3 * \frac{(3,13)^2}{2 * 9,81}$$

$$hm = 21,17 \text{ m. c. a.}$$

4.2.6. Pérdidas totales.

Las pérdidas totales para el primer tramo IT-NA corresponde a:

$$hl = hf + hm$$

$$hl = 33,66 + 21,17$$

$$hl = 54,82 \text{ m. c. a}$$

Para el cálculo de los siguientes tramos se realizará el mismo procedimiento, de manera que se resumirán los resultados obtenidos en la tabla 8-4 acompañado con los valores de la velocidad de cada tramo, número de Reynolds, coeficiente de fricción, pérdidas por fricción, pérdidas de carga de la tubería.

Tabla 32-4: Cálculo de pérdidas totales de carga para los tramos en la situación inicial.

| Tramo | V(m/s) | RE | F | hf(m.c.a.) | K | hm(m.c.a.) | hl(m.c.a.) |
|-----------|--------|------------|--------|------------|-------|------------|------------|
| IT-NA | 3,13 | 2489350,88 | 0,0105 | 33,66 | 42,3 | 21,17 | 54,82 |
| NA-VMR51 | 1,29 | 447573,30 | 0,0251 | 9,47 | 22,41 | 1,89 | 11,37 |
| NA-NB | 2,80 | 2224686,47 | 0,0106 | 5,22 | 5,2 | 2,08 | 7,30 |
| NB-VMR64 | 1,09 | 270899,28 | 0,0274 | 4,47 | 5,36 | 0,33 | 4,80 |
| NB-NC | 2,33 | 1851779,59 | 0,0108 | 6,00 | 13 | 3,60 | 9,60 |
| NC-VMR65 | 0,77 | 229886,92 | 0,0264 | 1,38 | 7,23 | 0,22 | 1,75 |
| NC-ND | 1,58 | 1252707,20 | 0,0113 | 2,13 | 7 | 0,89 | 3,02 |
| ND-VMR66 | 0,96 | 428252,95 | 0,0237 | 0,14 | 3,63 | 0,17 | 0,31 |
| ND-NE | 1,18 | 704674,66 | 0,0126 | 3,25 | 16,2 | 1,15 | 4,40 |
| NE-VMR67A | 0,65 | 194872,63 | 0,0265 | 0,24 | 3,74 | 0,08 | 0,32 |
| NE-VMR67B | 0,98 | 340969,09 | 0,0252 | 1,54 | 7,34 | 0,36 | 1,90 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

En todo el sistema de tuberías TB11 se obtiene unas pérdidas totales de 99,44 m.c.a.

4.3. Comprobación con el Software EPANET de la situación inicial

Para la comprobación de la situación inicial se empleó el software EPANET 2.0 v.E de licencia libre. Este permite tener el resultado del análisis hidráulico de las conexiones y tuberías. Como primer paso se configura las unidades que se va a emplear y se determina la metodología con el cual se va a realizar el análisis de pérdidas en este caso se emplea Hazen – Williams (H – W) luego se debe definir para cada elemento las propiedades, para las líneas se considera ingresar el valor de su diámetro, longitud, rugosidad mientras que, para los nudos, sus coordenadas, cotas y la demanda para cada ramal.

4.3.1. Resultado del análisis en las líneas de la red de tuberías

Tabla 33-4: Tabla de red - Líneas

| | Longitud | Diámetro | Rugosidad | Caudal | Velocidad | Pérd. Unit. | Factor de Fricción |
|--|----------|----------|-----------|--------|-----------|-------------|--------------------|
| | | | | | | | |

| ID Línea | m | km | mm | | LPS | m/s | m/km | m | |
|--------------|--------|------|-----|-----|--------|------|------|------|-------|
| Tubería 1 | 999,9 | 1,00 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 5,43 | 0,015 |
| Tubería 2 | 614,9 | 0,61 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 3,34 | 0,015 |
| Tubería 3 | 34,8 | 0,03 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 0,19 | 0,015 |
| Tubería 4 | 1083,7 | 1,08 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 5,88 | 0,015 |
| Tubería 5 | 219,7 | 0,22 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 1,19 | 0,015 |
| Tubería 6 | 419,6 | 0,42 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 2,28 | 0,015 |
| Tubería 7 | 131,2 | 0,13 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,42 | 0,71 | 0,015 |
| Tubería 8 | 410,1 | 0,41 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 2,23 | 0,015 |
| Tubería 9 | 84,2 | 0,08 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 0,46 | 0,015 |
| Tubería 10 | 344,5 | 0,34 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 1,87 | 0,015 |
| Tubería 11 | 91,2 | 0,09 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,42 | 0,49 | 0,015 |
| Tubería 12 | 128,8 | 0,13 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 0,70 | 0,015 |
| Tubería 13 | 190,5 | 0,19 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 1,03 | 0,015 |
| Tubería 14 | 50,1 | 0,05 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,42 | 0,27 | 0,015 |
| Tubería 15 | 150,6 | 0,15 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 0,82 | 0,015 |
| Tubería 16 | 127,4 | 0,13 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 0,69 | 0,015 |
| Tubería 17 | 29,9 | 0,03 | 800 | 130 | 1204,1 | 2,4 | 5,43 | 0,16 | 0,015 |
| Tubería 18 | 31,5 | 0,03 | 800 | 130 | 865,72 | 1,72 | 2,95 | 0,09 | 0,016 |
| Tubería 19 | 801,9 | 0,80 | 800 | 130 | 865,72 | 1,72 | 2,95 | 2,37 | 0,016 |
| Tubería 20 | 151,1 | 0,15 | 800 | 130 | 865,72 | 1,72 | 2,95 | 0,45 | 0,016 |
| Tubería 21 | 49,1 | 0,05 | 800 | 130 | 591,37 | 1,18 | 1,45 | 0,07 | 0,017 |
| Tubería 22 | 56,4 | 0,06 | 800 | 130 | 591,37 | 1,18 | 1,45 | 0,08 | 0,016 |
| Tubería 23 | 641,7 | 0,64 | 800 | 130 | 591,37 | 1,18 | 1,45 | 0,93 | 0,016 |
| Tubería 24 | 207,9 | 0,21 | 800 | 130 | 591,37 | 1,18 | 1,45 | 0,30 | 0,016 |
| Tubería 25 | 231,1 | 0,23 | 800 | 130 | 591,37 | 1,18 | 1,45 | 0,34 | 0,016 |
| Tubería 26 | 218 | 0,22 | 800 | 130 | 591,37 | 1,18 | 1,45 | 0,32 | 0,016 |
| Tubería 27 | 199,5 | 0,20 | 800 | 130 | 591,37 | 1,18 | 1,45 | 0,29 | 0,016 |
| Tubería 28 | 369,6 | 0,37 | 800 | 130 | 454,91 | 0,91 | 0,89 | 0,33 | 0,017 |
| Tubería 29 | 26,5 | 0,03 | 800 | 130 | 454,91 | 0,91 | 0,89 | 0,02 | 0,017 |
| Tubería 30 | 344,4 | 0,34 | 800 | 130 | 454,91 | 0,91 | 0,89 | 0,31 | 0,017 |
| Tubería 31 | 224,7 | 0,22 | 800 | 130 | 454,91 | 0,91 | 0,89 | 0,20 | 0,017 |
| Tubería 32 | 228,9 | 0,23 | 800 | 130 | 454,91 | 0,91 | 0,89 | 0,20 | 0,017 |
| Tubería 33 | 103,6 | 0,10 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,18 | 0,018 |
| Tubería 34 | 205,1 | 0,21 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,35 | 0,018 |
| Tubería 35 | 114,5 | 0,11 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,19 | 0,018 |
| Tubería 36 | 151,9 | 0,15 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,26 | 0,018 |
| Tubería 37 | 224,2 | 0,22 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,38 | 0,018 |
| Tubería 38 | 347,9 | 0,35 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,59 | 0,018 |
| Tubería 39 | 175,4 | 0,18 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,30 | 0,018 |
| Tubería 40 | 399,5 | 0,40 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,68 | 0,018 |
| Tubería 41 | 449,5 | 0,45 | 600 | 130 | 300,89 | 1,06 | 1,69 | 0,76 | 0,018 |
| Tubería SJ-R | 4,5 | 0,00 | 110 | 120 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|---------------|--------|------|-----|-----|--------|------|--------|-------|-------|
| Tubería 51-1 | 3 | 0,00 | 350 | 120 | 278,1 | 2,89 | 23,42 | 0,07 | 0,019 |
| Tubería 51-2 | 1533,6 | 1,53 | 350 | 120 | 278,1 | 2,89 | 23,38 | 35,86 | 0,019 |
| Tubería 51-3 | 27,7 | 0,03 | 400 | 120 | 278,1 | 2,21 | 12,21 | 0,34 | 0,02 |
| Tubería 64-1 | 610,2 | 0,61 | 250 | 120 | 196,08 | 3,99 | 63,04 | 38,47 | 0,019 |
| Tubería 64-2 | 61,9 | 0,06 | 250 | 120 | 196,08 | 3,99 | 63,04 | 3,90 | 0,019 |
| Tubería 65-1 | 367,8 | 0,37 | 300 | 120 | 70,98 | 1 | 3,95 | 1,45 | 0,023 |
| Tubería 65-2 | 147,8 | 0,15 | 300 | 120 | 70,98 | 1 | 3,95 | 0,58 | 0,023 |
| Tubería 66-1 | 12,3 | 0,01 | 450 | 120 | -71,66 | 0,45 | 0,56 | 0,01 | 0,024 |
| Tubería 66-2 | 43,7 | 0,04 | 450 | 120 | -71,66 | 0,45 | 0,56 | 0,02 | 0,024 |
| Tubería 67A-1 | 5,8 | 0,01 | 600 | 130 | -165,7 | 0,59 | 0,56 | 0,00 | 0,019 |
| Tubería 67A-2 | 5,7 | 0,01 | 300 | 120 | -217,6 | 3,08 | 31,44 | 0,18 | 0,02 |
| Tubería 67A-3 | 111,8 | 0,11 | 300 | 120 | -217,6 | 3,08 | 31,46 | 3,52 | 0,02 |
| Tubería 67B-1 | 4,2 | 0,00 | 600 | 130 | 466,55 | 1,65 | 3,83 | 0,02 | 0,017 |
| Tubería 67B-2 | 346,2 | 0,35 | 350 | 120 | 424,33 | 4,41 | 51,14 | 17,70 | 0,018 |
| Tubería 67B-3 | 167,8 | 0,17 | 350 | 120 | 424,33 | 4,41 | 51,14 | 8,58 | 0,018 |
| TOTAL | | | | | | | 148,42 | | |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2021

En la simulación del análisis de tuberías con el software EPANET 2.0 se obtiene un total de pérdidas de 148,42 m.c.a empleando la metodología de Hazen – Williams y en el cálculo realizado con la ecuación de Darcy Weisbach se obtuvo un total de pérdidas en el sistema de 99,44 m.c.a; la diferencia que existe entre estos dos cálculos se debe a la aplicación de dos metodologías y los valores empleados en los coeficientes de rugosidad, puesto que para el cálculo manual se ha considerado el valor de los coeficientes de Manning según la edad de la tubería.

4.4. Cálculo de la presión en puntos críticos

Se analizarán dos puntos críticos respecto del ingreso de la tubería, los más bajos en la línea principal que son la válvula de desfogue 1 (VD1) que se encuentra a 2720 m.s.n.m y la válvula de desfogue 3 (VD3) con una cota de 2650 m.s.n.m. La caída de presión se analiza por medio de la ecuación de Bernoulli.

4.4.1. Cálculo Ecuación de Manning

Para determinar la presión se requiere primero determinar las pérdidas de carga que posee cada tramo a ser analizado, se emplea la ecuación de Manning y la fórmula de Darcy Weisbach.

En la siguiente tabla 10-4 se detalla la información necesaria de cada tramo a analizar.

Tabla 34-4: Datos para cálculo de la caída de presión en puntos críticos

| Tramos | Q(m ³ /s) | D(m) | v(m ² /s)- T°:20°C | l(m) | (m) |
|--------|----------------------|------|----------------------------------|---------|----------|
| IT-VD1 | 1,58 | 0,8 | 1,007E-06 | 1000,00 | 4,50E-05 |
| IT-VD3 | 1,58 | 0,8 | 1,007E-06 | 3672 | 4,50E-05 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

Velocidad del flujo

$$V = \frac{4Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 1,158}{\pi * (0,8)^2}$$

$$V = 3,13 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds

$$R = \frac{v * D}{\nu}$$

$$R = \frac{3,13 * 0,8}{1,007E - 06}$$

$$R = 2489350,88$$

Ya que el número de Reynolds 2489350,88 se considera un régimen turbulento para calcular el coeficiente de fricción f .

Coeficiente de fricción.

$$f = \lambda = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{R} \right)^{0,2}$$

$$f = \lambda = 0,11 \left(\frac{4,5E - 05}{0,8} + \frac{68}{2489350,88} \right)^{0,2}$$

$$f = \lambda = 0,0105$$

Pérdidas por fricción

$$hf = \lambda * \frac{l * v^2}{d * 2g}$$

$$hf = 0,0105 * \frac{1000 * 3,13^2}{0,8 * 2 * 9,81}$$

$$hf = 6,58 \text{ m. c. a.}$$

Pérdidas menores

Se obtiene un coeficiente K de 4,3 del tramo IT-VD1

$$hm = K * \frac{V^2}{2g}$$

$$hm = 4,3 * \frac{(3,13)^2}{2 * 9,81}$$

$$hm = 2,15 \text{ m. c. a.}$$

Pérdidas totales por tramo

$$hl = hf + hm$$

$$hl = 6,58 + 2,15$$

$$hl = 8,73 \text{ m. c. a}$$

En la siguiente tabla se presenta el valor de las pérdidas de carga en los puntos más bajos del sistema, los datos obtenidos para cada tramo ayudan a determinar el valor de la presión.

Tabla 35-4: Pérdidas totales en los puntos más bajos del sistema de los tramos IT- VD1, IT-VD3

| V(m/s) | RE | F | hf(m.c.a.) | K | hm(m.c.a.) | hl(m.c.a.) |
|--------|------------|--------|------------|------|------------|------------|
| 3,13 | 2489350,88 | 0,0105 | 6,58 | 4,3 | 2,15 | 8,73 |
| 3,13 | 2489350,88 | 0,0105 | 24,16 | 15,8 | 7,91 | 32,07 |

Fuente: JURECH, 2020.

Realizado por: Autores, 2020

Por lo tanto, el tramo IT- VD1 tiene una pérdida de carga de 8,73 m.c.a y en el tramo IT-VD3 se presenta una pérdida 32,07 m.c.a.

4.4.2. Caída de presión en puntos bajos del sistema

De esta manera se procede analizar la caída de presión en estos tramos:

Tramo IT- VD1

Datos

$$Z_{IT} = 2804 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{VD1} = 2720 \text{ m.s.n.m.}$$

$$hl = 8,73 \text{ m.c.a.}$$

Cálculo de la caída de presión.

$$\frac{P_I}{\rho} + \frac{v_I^2}{2g} + z_I - hl = \frac{P_V}{\rho} + \frac{v_V^2}{2g} + z_V$$

$$\frac{P_V}{\rho} = z_I - z_V - hl$$

$$\frac{P_V 2}{\rho} = 2804 - 2720 - 8,73$$

$$\frac{P_V 2}{\rho} = 75,27 \text{ m. c. a.}$$

Se obtiene una caída de presión de 75,27 m.c.a. o 0,8 MPa en el VD1 que se encuentra a 1000 m del ingreso a la tubería IT

Tramo IT- VD3:

Datos

$Z_{IT} = 2804 \text{ m.s.n.m.}$

$Z_{VD3} = 2650 \text{ m.s.n.m.}$

$h_l = 32,07 \text{ m.c.a.}$

Cálculo de caída de presión:

$$\frac{P_{VD3}}{\rho} = z_{IT} - z_{VD3} - h_l$$

$$\frac{P_{VD3}}{\rho} = 2804 - 2650 - 32,07$$

$$\frac{P_{VD3}}{\rho} = 121,93 \text{ m. c. a.}$$

Existe una caída de presión de 121,23 m.c.a. o 1,19 MPa en la VD3 que se encuentra a 3672 m del ingreso a la tubería IT.

En consecuencia, según el análisis el punto que mayor presión tiene es la válvula de desfogue 3 y debe tener una tubería que soporte una presión de 1,19 MPa.

4.4.3. Comprobación con software EPANET 2.0 del análisis en los nudos de la red de tuberías

Tabla 36-4: Tabla de red – Nudos EPANET

| Tabla de Red – Nudos | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Demanda | Altura | Presión | Calidad |
| ID Nudo | LPS | m | m | |
| Conexión PC8 | 0.00 | 2766.30 | 0.30 | 0.00 |
| Conexión VD4 | 0.00 | 2782.31 | 74.31 | 0.00 |
| Conexión VD5.2 | 0.00 | 2779.94 | 60.94 | 0.00 |
| Conexión VD5.1 | 0.00 | 2779.94 | 60.94 | 0.00 |
| Conexión VD6 | 0.00 | 2778.21 | 59.21 | 0.00 |
| Conexión VD7 | 0.00 | 2777.12 | 59.12 | 0.00 |

| | | | | |
|-----------------|--------|---------|--------|------|
| Conexión VD8 | 0.00 | 2776.18 | 56.17 | 0.00 |
| Conexión MV64 | 0.00 | 2734.90 | 4.90 | 0.00 |
| Conexión MV51 | 0.00 | 2740.34 | 0.34 | 0.00 |
| Conexión MV65 | 0.00 | 2769.58 | 8.58 | 0.00 |
| Conexión MV66 | 0.00 | 2769.98 | 1.98 | 0.00 |
| Conexión MV67B | 0.00 | 2748.58 | 8.58 | 0.00 |
| Conexión MV67A | 0.00 | 2766.48 | 0.48 | 0.00 |
| Conexión VC | 0.00 | 2771.98 | 40.98 | 0.00 |
| Conexión VD10 | 0.00 | 2772.28 | 42.28 | 0.00 |
| Conexión VIR51 | 60.33 | 2776.27 | 56.27 | 0.00 |
| Conexión VIR64 | 78.27 | 2773.37 | 49.37 | 0.00 |
| Conexión VIR65 | 65.48 | 2771.04 | 37.04 | 0.00 |
| Conexión VIR66 | 225.68 | 2769.97 | 2.97 | 0.00 |
| Conexión VIR67B | 42.22 | 2766.28 | 0.28 | 0.00 |
| Conexión VIR67A | 51.95 | 2766.30 | 0.30 | 0.00 |
| Conexión VD1 | 0.00 | 2798.57 | 78.57 | 0.00 |
| Conexión VA1 | 0.00 | 2795.24 | 61.24 | 0.00 |
| Conexión VD2 | 0.00 | 2789.17 | 89.17 | 0.00 |
| Conexión VA2 | 0.00 | 2787.98 | 87.98 | 0.00 |
| Conexión VD3 | 0.00 | 2785.70 | 135.70 | 0.00 |
| Conexión GP | 0.00 | 2784.99 | 136.99 | 0.00 |
| Conexión VA3 | 0.00 | 2782.76 | 75.76 | 0.00 |
| Conexión VA8 | 0.00 | 2773.81 | 49.81 | 0.00 |
| Conexión VD9 | 0.00 | 2773.22 | 49.22 | 0.00 |
| Conexión VA10 | 0.00 | 2771.64 | 39.64 | 0.00 |
| Conexión VD11 | 0.00 | 2771.33 | 40.33 | 0.00 |
| Conexión VA11 | 0.00 | 2770.71 | 26.71 | 0.00 |
| Conexión VA12 | 0.00 | 2770.37 | 24.37 | 0.00 |
| Conexión VD13 | 0.00 | 2770.17 | 14.17 | 0.00 |
| Conexión VA13 | 0.00 | 2769.79 | 5.79 | 0.00 |
| Conexión VD14 | 0.00 | 2769.45 | 29.45 | 0.00 |
| Conexión VA14 | 0.00 | 2769.25 | 24.25 | 0.00 |
| Conexión VD15 | 0.00 | 2769.00 | 29.00 | 0.00 |
| Conexión VA15 | 0.00 | 2768.62 | 18.62 | 0.00 |
| Conexión VD16 | 0.00 | 2768.03 | 15.03 | 0.00 |
| Conexión VA16 | 0.00 | 2767.73 | 10.73 | 0.00 |
| Conexión VD17 | 0.00 | 2767.06 | 18.06 | 0.00 |
| Conexión VIR31 | 0.00 | 2795.05 | 62.05 | 0.00 |
| Conexión 2 | 0.00 | 2776.20 | 56.20 | 0.00 |
| Conexión VA4 | 0.00 | 2780.44 | 61.44 | 0.00 |
| Conexión VA5 | 0.00 | 2779.24 | 58.24 | 0.00 |
| Conexión VA6 | 0.00 | 2777.94 | 58.94 | 0.00 |
| Conexión VA7 | 0.00 | 2776.43 | 57.43 | 0.00 |

| | | | | |
|---------------|----------|---------|-------|------|
| Conexión VA9 | 0.00 | 2773.30 | 49.30 | 0.00 |
| Conexión VD12 | 0.00 | 2770.68 | 24.68 | 0.00 |
| Embalse R65 | 70.98 | 2769.00 | 0.00 | 0.00 |
| Embalse R64 | 196.08 | 2731.00 | 0.00 | 0.00 |
| Embalse R51 | 278.10 | 2740.00 | 0.00 | 0.00 |
| Embalse R66 | -71.66 | 2770.00 | 0.00 | 0.00 |
| Embalse R67A | -217.60 | 2770.00 | 0.00 | 0.00 |
| Embalse R67B | 424.33 | 2740.00 | 0.00 | 0.00 |
| Embalse IT | -1204.14 | 2804.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: EPANET 2.0, 2020.

Realizado por: Autores, 2021.

En el análisis de nudos se ha obtenido el valor de la presión en cada uno de los puntos ingresados en el sistema de la TB11, para corroborar valores de los cálculos realizados en la caída de presión de los dos puntos más bajos tenemos:

Tabla 37-4: Comparación de resultados de presiones

| Accesorio | EPANET (m.c.a) | Ecuación de Bernoulli (m.c.a) |
|-----------|----------------|-------------------------------|
| VD1 | 78,57 | 71,27 |
| VD3 | 135,70 | 121,93 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021.

4.5. Propuesta de trayectoria del sistema TB11

Según lo analizado en la trayectoria inicial del sistema de la TB11, no se procede a realizar ningún cambio de la trayectoria de la línea de conducción principal puesto que para realizar este tipo de estudio requiere de estudios más específicos y por ende implica más tiempo para su ejecución, además, que es uno de los sistemas más grandes de la provincia de Chimborazo.

4.5.1. Trayectorias propuestas para ramales

Durante el recorrido de los ramales se pudo observar ciertas problemáticas en dos ramales, en el ramal del reservorio 65 y el ramal del reservorio 67B, por lo cual se procede a detallar cada problema actual y se busca una solución para garantizar la seguridad e integridad de los habitantes que se encuentran alrededor.

4.5.1.1. Ramal reservorio 65

En el ramal que se dirige al reservorio 65, el problema que existe es que a continuación de la válvula de interconexión (VIR65) se ha construido una nave industrial (Comercial "Vera") sobre la tubería de 300 mm (línea amarilla), a su vez siguiendo la trayectoria, la válvula de aire 1 (VA1R65) se encuentra dentro de una vivienda que brinda refugio a perros, motivo por el cual no se pudo ingresar a verificar el estado en el que se encuentra el accesorio. Luego de haber analizado la trayectoria, se procede a plantear dos posibles soluciones (líneas morada y celeste), las cuales son sustentadas por medio de cálculos, determinación de costos, factibilidad de realizarse, etc.



Figura 33-4. Trayectorias actuales y propuestas del ramal hacia el reservorio 65.

Fuente: Google earth, 2021

Así mismo se presenta una tabla con los accesorios y coordenadas de las trayectorias.

Tabla 38-4: Especificaciones técnicas trayectoria actual y propuestas del ramal R65

| Traye. | Ref. | Descripción | Coordenada UTM | | Cota (m.s.n.m) | Distancia (m) |
|--------|-----------|-----------------------------|----------------|-----------|-------------------|------------------|
| | | | Este (X) | Norte(Y) | | |
| Actual | VIR65 | Válvula de interconexión 65 | 764954 | 9813801 | 2734 | 0 |
| Actual | VA1R65 | Válvula de Aire 1 R65 | 765048 | 9813778 | 2738 | 96,6 |
| Actual | VD1R65 | V. Desfogue 1 R65 | 765075 | 9813777 | 2738 | 27,02 |
| Actual | MV65 | Medidor de Venturi 65 | 765314 | 9813728 | 2761 | 243,97 |
| Actual | VMR65 | Válvula Mariposa 65 | 765459 | 9813699 | 2769 | 147,50 |
| Actual | R65 | Reservorio 65 | 765458,6 | 9813698,9 | 2769 | 515,07 |
| Prop_1 | NVIR65 | Válvula de Interconexión 65 | 764937 | 9813748 | 2733 | 102,39 |
| Prop_1 | NVA1R65 | Válvula de Aire 1 R65 | 765037 | 9813726 | 2736 | 25,96 |
| Prop_1 | NVD1R65 | V. Desfogue 1 R65 | 765062 | 9813719 | 2737 | 155,56 |
| Prop_1 | CODO | Codo de Tubería | 765191 | 9813748 | 2748 | 124,62 |
| Prop_1 | MV65 | Medidor de Venturi 65 | 765314 | 9813728 | 2761 | 147,50 |
| Prop_1 | R65 | Reservorio 65 | 765458,6 | 9813698,9 | 2769 | 556,03 |
| Prop_2 | NVIR65_2 | Válvula de Interconexión 65 | 764976 | 9813867 | 2736 | 103,41 |
| Prop_2 | NVD1R65_2 | V. Desfogue 1 R65 | 765078 | 9813850 | 2739 | 53,60 |
| Prop_2 | NVA1R65_2 | Válvula de Aire 1 R65 | 765131 | 9813842 | 2743 | 83,10 |
| Prop_2 | CODO_2 | Codo2 | 765214 | 9813838 | 2752 | 148,66 |
| Prop_2 | VMR65 | Medidor de Venturi 65 | 765314 | 9813728 | 2761 | 147,50 |
| Prop_2 | R65 | Reservorio 65 | 765458,6 | 9813698,9 | 2769 | 536,26 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021.

Se analiza un aspecto cualitativo de la posibilidad de construcción de viviendas, acompañado de analizar la longitud de tubería, cotas y las pérdidas que generan estas nuevas trayectorias. Pero primero se debe calcular el diámetro de la tubería:

Cálculo del diámetro:

$$Q_d \quad \bar{n}_0: 0,065 \text{ m}^3/\text{s}$$

n: 0,013 Coeficiente de rugosidad de Manning para tubería PVC

Cota inicial: 2733

Cota final: 2769

J (pendiente)

$$J = \frac{\Delta h}{L}$$

$$J = \frac{2769 - 2733}{8239,98}$$

$$J = 0,004369$$

Diámetro teórico:

$$D_{t_t} = 1,548 \left(n * \frac{Q_d \quad \bar{n}_0}{J^{\frac{1}{2}}} \right)^{3/8}$$

$$D_{t_t} = 1,548 \left(0,013 * \frac{0,065}{0,0043^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$D_{t_t} = 0,303 \text{ m}$$

El diámetro comercial es 0,355 m con diámetro interno de 0,337 m que resiste una presión de nominal de PN12,5 bares que son requerimientos suficientes para este tramo.

Caudal en sección llena.

D: 0,337 m

J: 0,0043

n: 0,013 Coeficiente de rugosidad de Manning para tubería PVC

$$Q_0 = 0,312 * \frac{D_d \quad \bar{n}_0^{\frac{8}{3}} * J^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q_0 = 0,312 \frac{0,3374^{\frac{8}{3}} * 0,004369^{\frac{1}{2}}}{0,013}$$

$$Q_0 = 0,08752 \frac{m^3}{s}$$

Cálculo de pérdidas carga para las trayectorias propuestas:

Análisis de las propuestas:

Tabla 39-4: Análisis de las propuestas 1 y 2.

| Trayectoria | Propuesta 1 | Propuesta 2 |
|-------------------------|--------------|---------------|
| Longitud (m) | 556,03 | 536,26 |
| Construcciones futuras | muy probable | poco probable |
| Variación de altura (m) | 36 | 36 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

Cálculo de pérdidas carga para las trayectorias propuestas: Se calcularán las pérdidas de carga al igual que en el apartado 4.2 por lo que se resumen los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 40-4: Datos de las propuestas 1 y 2 para ramal R65

| Propuesta | D(m) | v(m2/s)- T°:20°C | l(m) | (m) | Q(m³/s) |
|-----------|--------|---------------------|--------|-----------|------------|
| 1 | 0,3374 | 1,007E-06 | 556,03 | 0,0000015 | 0,08752248 |
| 2 | 0,3374 | 1,007E-06 | 536,26 | 0,0000015 | 0,08752248 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

Tabla 41-4: Pérdidas totales de propuestas 1 y 2 para ramal R65

| V(m/s) | RE | F | hf (m.c.a) | K | hm (m.c.a) | hl (m.c.a) |
|--------|-----------|--------|------------|------|------------|------------|
| 0,979 | 327985,91 | 0,0133 | 1,07 | 7,23 | 0,35 | 1,42 |
| 0,979 | 327985,91 | 0,0133 | 1,03 | 8,03 | 0,39 | 1,42 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

En Conclusión, luego de comparar las dos trayectorias se observa que la trayectoria de la propuesta 2 tiene el valor más bajo de longitud (536,26 m), las pérdidas de carga (1,42 m.c.a.) son iguales en ambos casos, por lo que se elige la propuesta 2 para el rediseño ya que además de tener la longitud más pequeña es poco probable que exista construcciones sobre la tubería.

4.5.1.2. Ramal reservorio 67B

Al igual que en ramal 65, existe una vivienda sobre la tubería del ramal 67B (línea amarilla) y dentro de ella se encuentra la válvula de aire 1 del reservorio 67B (VA1R67B), para lo cual se proponen dos trayectorias a ser analizadas (línea morada y azul).



Figura 34-4. Trayectoria actual y propuesta para ramal reservorio 67B.

Fuente: Google earth, 2021

De la misma manera se muestran las coordenadas en la siguiente tabla.

Tabla 42-4: Especificaciones técnicas trayectoria actual y propuestas del ramal R67B

| Tray. | Ref. | Descripción | Coordenada UTM | | Cota (m.s.n.m) | Distancia (m) |
|--------|----------|-------------------------------|----------------|----------|-------------------|------------------|
| | | | Este (X) | Norte(Y) | | |
| Act. | 8P | Protección catódica 8 | 767136 | 9816278 | 2766 | 0,00 |
| Act. | VIR67B | Válvula de interconexión 67B | 767133 | 9816281 | 2766 | 4,24 |
| Act. | VD1R67B | V. desfogue 1 R67B | 767027 | 9816470 | 2751 | 216,70 |
| Act. | VA1R67B | Válvula de aire 1 R67B | 767013 | 9816511 | 2749 | 43,32 |
| Act. | MV67B | Medidor de Venturi 67B | 767016 | 9816512 | 2740 | 3,16 |
| Act. | VMR67B | Válvula mariposa 67B | 766904 | 9816637 | 2740 | 167,84 |
| Act. | R67B | Reservorio 67B | 766904 | 9816637 | 2740 | 435,26 |
| Prop_1 | 8P | Protección catódica 8 | 767136 | 9816278 | 2766 | 0,00 |
| Prop_1 | VIR67B | Válvula de interconexión 67B | 767133 | 9816281 | 2766 | 4,24 |
| Prop1 | VD1R67B | Nodo para válvula de desfogue | 767049 | 9816481 | 2752 | 216,92 |
| Prop_1 | NVA1R67B | Válvula de aire 1 R67B | 767028 | 9816530 | 2750 | 53,31 |
| Prop_1 | MV67B | Medidor de Venturi 67B | 767016 | 9816512 | 2740 | 21,63 |
| Prop_1 | VMR67B | Válvula mariposa 67B | 766904 | 9816637 | 2740 | 167,84 |
| Prop_1 | R67B | Reservorio 67B | 766904 | 9816637 | 2740 | 463,95 |

| | | | | | | |
|--------|----------|-----------------------------------|--------|---------|------|---------------|
| Prop_2 | 8P | Protección catódica 8 | 767136 | 9816278 | 2766 | 0,00 |
| Prop_2 | VIR67B | Válvula de interconexión 67B | 767133 | 9816281 | 2766 | 4,24 |
| Prop_2 | P1R67B | Punto uno de intercesión 1 | 767103 | 9816363 | 2762 | 87,32 |
| Prop_2 | P2VDR67B | Nodo de válvula de desfogue 1R67B | 767059 | 9816489 | 2752 | 133,46 |
| Prop_2 | NVA1R67B | Válvula de aire 1 R67B | 767028 | 9816530 | 2750 | 51,40 |
| Prop_2 | P3R67B | Punto uno de intercesión 2 | 766924 | 9816584 | 2742 | 117,18 |
| Prop_2 | P4R67B | Punto uno de intercesión 3 | 766885 | 9816607 | 2741 | 45,28 |
| Prop_2 | MV67B | Medidor de Venturi 67B | 767016 | 9816512 | 2740 | 161,82 |
| Prop_2 | VMR67B | Válvula mariposa 67B | 766904 | 9816637 | 2740 | 167,84 |
| Prop_2 | R67B | Reservorio 67B | 766904 | 9816637 | 2740 | 768,54 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

De la misma manera se procede a calcular el diámetro para este ramal.

Cálculo del diámetro

Datos:

$Q_{d \text{ no}}$: 0,043 m³/s

Cota inicial: 2766

Cota final: 2740

n: 0,013 Coeficiente de rugosidad de Manning para tubería PVC

J (pendiente)

$$J = \frac{\Delta h}{L}$$

$$J = \frac{2766 - 2740}{11837,96}$$

$$J = 0,002196$$

Diámetro teórico:

$$D_{t_i} = 1,158 \left(n * \frac{Q_d \cdot \bar{n}_v}{J^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$D_{t_i} = 1,158 \left(0,013 * \frac{0,043}{0,002196^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$D_{t_i} = 0,294 \text{ m}$$

Por lo tanto, el diámetro comercial es 0,315 m con diámetro interno de 0,299 m que resiste una presión nominal PN 12,5 bares que son requerimientos suficientes para este tramo.

Caudal en sección llena

Datos:

$$D = 0,294 \text{ m}$$

$$J = 0,002196$$

$n = 0,013$ Coeficiente de rugosidad de Manning para tubería PVC

$$Q_0 = 0,312 * \frac{D_d^{8/3} * J^{1/2}}{n}$$

$$Q_0 = 0,312 \frac{0,299^{8/3} * 0,002196^{1/2}}{0,013}$$

$$Q_0 = 0,046 \frac{m^3}{s}$$

Cálculo de pérdidas carga

Tabla 43-4: Datos para trayectorias propuestas 1 y 2 del ramal 67B

| Trayectorias | Propuesta 1 | Propuesta 2 |
|-------------------------|--------------|---------------|
| Longitud (m) | 463,95 | 768,54 |
| Construcciones futuras | muy probable | poco probable |
| Variación de altura (m) | 26 | 26 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021.

Los cálculos de las pérdidas de carga se hacen con respecto a un diámetro con una pendiente hidráulica hipotética, esto puede variar al hacer el rediseño completo. Se calcularán las pérdidas de carga al igual que en el apartado 3.5 por lo que se resumen los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 44-4: Datos técnicos de las propuestas 1 y 2 del reservorio R67B.

| Propuestas | D(m) | v(m2/s)-T°:20°C | L | (m) | Q |
|------------|------|-----------------|---|-----|---|
|------------|------|-----------------|---|-----|---|

| | | | | | |
|---|-------|-----------|--------|-----------|-------|
| 1 | 0,299 | 1,007E-06 | 463,95 | 0,0000015 | 0,046 |
| 2 | 0,299 | 1,007E-06 | 768,54 | 0,0000015 | 0,045 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021.

Tabla 45-4: Pérdidas totales de propuestas 1 y 2 para ramal R67B

| V(m/s) | RE | f | hf(m.c.a.) | K | hm(m.c.a.) | hl(m.c.a.) |
|--------|-----------|--------|------------|------|------------|------------|
| 0,649 | 192627,86 | 0,0151 | 0,50 | 7,53 | 0,16 | 0,67 |
| 0,640 | 190133,56 | 0,0152 | 0,82 | 9,13 | 0,19 | 1,01 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021.

Después de haber comparado las dos propuestas se analiza los resultados de la tabla 19-4 donde se evidencia que la propuesta 1 cumple con la menor longitud lo que implica menores costos, sin embargo, esta propuesta de trayectoria es propensa a la construcción de viviendas cercanas resultando un alto riesgo para la población. Se procede a seleccionar la propuesta 2 ya que la tubería debe seguir la línea de la vía de segundo orden para evitar construcciones de viviendas ya que el tiempo de vida útil de la tubería es de 50 años.

4.6. Rediseño hidráulico de la tubería

Para el rediseño hidráulico del sistema de tuberías se tomará en cuenta la demanda actual que se requiere en cada reservorio, una vez realizado los cálculos con las dimensiones que fue diseñado al inicio, nos indica que el sistema debe transportar una cantidad cercana a los 600 l/s, por lo cual se procede a realizar un nuevo cálculo para determinar los diámetros con los que se debe reconstruir cada tramo. Las zonas 5 y 6 que abastece el sistema consideran una necesidad de caudal característico 0,4 l/s/Ha.

La presión que se debe considerar al ingresar a los reservorios son la presión atmosférica de 10,33 m.c.a y la altura que tiene el reservorio de 5 m, de esta manera para que el reservorio logre llenarse debe mantenerse una presión mínima de 15 m.c.a, este valor será considerado para calcular la pendiente hidráulica en los puntos de consumo (válvulas de mariposa de los reservorios).

4.6.1. Cálculo de pendiente por tramos del sistema de tuberías TB11.

Los tramos que se encuentran la tabla 2-4 se utilizarán para este rediseño, además se respeta la trayectoria de la tubería principal y los ramales 51, 64, 66, y 67A; los ramales 65 y 67B tienen una nueva trayectoria que se muestran en el anexo G “Trayectoria actual y propuesta del ramal 65” y H “Trayectoria actual y propuesta del ramal 67B” de este modo se procede a calcular para la pendiente hidráulica del sistema.

De la misma manera para efecto de cálculos la altura en cabecera será la cota inicial menos el punto más bajo del sistema:

$$H = C_I - C_V \cdot 3$$

$$H = 2804 - 2650$$

$$H = 154 \text{ m.c.a.}$$

Datos:

Cota IT = 2804 m.s.n.m.

Cota NA = 2720 m.s.n.m

Longitud = 5115,50 m

Presión mínima en el nodo A= 0 m

$$J = \frac{H - (C + P(m))}{L}$$

$$J = \frac{2804 - (2720 + 0)}{5115,5}$$

$$J = 0,01642$$

En el tramo IT-NA existe una pendiente hidráulica de 0,01642, con el mismo procedimiento se realiza el cálculo de las pendientes para los tramos restantes. A continuación, se presenta una tabla con los datos para los cálculos.

Tabla 46-4: Datos de los tramos para rediseño.

| Ref. | Tramo | Q _{diseño} (m ³ /s) | Cota (m.s.n.m) | Presión min (m.c.a.) | Longitud (m) | Longitud acumulada (m) |
|------------|-----------|--|-------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|
| IT | | | 2804 | | | |
| NA (VIR51) | IT-NA | 0,597 | 2720 | 0,00 | 5115,50 | 5115,50 |
| VMR51 | NA-VMR51 | 0,061 | 2740 | 15,00 | 1561,27 | 6676,77 |
| NB (VIR64) | NA-NB | 0,479 | 2724 | 0,00 | 984,55 | 6100,05 |
| VMR64 | NB-VMR64 | 0,079 | 2732 | 15,00 | 672,13 | 6772,18 |
| NC (VIR65) | NB-NC | 0,386 | 2734 | 0,00 | 1603,67 | 7703,72 |
| VMR65 | NC-VMR65 | 0,066 | 2769 | 15,00 | 536,26 | 8239,98 |
| ND (VIR66) | NC-ND | 0,320 | 2767 | 0,00 | 1194,10 | 8897,82 |
| VMR66 | ND-VMR66 | 0,225 | 2770 | 15,00 | 55,99 | 8953,81 |
| NE (PC8) | ND-NE | 0,095 | 2766 | 0,00 | 2171,60 | 11069,42 |
| VMR67A | NE-VMR67A | 0,052 | 2770 | 15,00 | 123,31 | 11192,73 |
| VMR67B | NE-VMR67B | 0,043 | 2740 | 15,00 | 768,540 | 11837,96 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021.

De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados de la pendiente hidráulica J, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 47-4: Resultados de la pendiente hidráulica J para el rediseño

| Tramo | P. Hidráulica J |
|-----------|-----------------|
| IT-NA | 0,01642 |
| NA-VMR51 | 0,00734 |
| NA-NB | 0,01311 |
| NB-VMR64 | 0,00842 |
| NB-NC | 0,00909 |
| NC-VMR65 | 0,00243 |
| NC-ND | 0,00416 |
| ND-VMR66 | 0,00212 |
| ND-NE | 0,00343 |
| NE-VMR67A | 0,00170 |
| NE-VMR67B | 0,00414 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

A partir de los valores de las pendientes de cada tramo se debe seleccionar la pendiente hidráulica crítica que será aquella con el menor valor, en este caso del tramo NE – VMR67A con 0,001698, este valor se empleará como la pendiente hidráulica para el rediseño. Luego, se selecciona como trayectoria principal los nodos IT, NA, NB, NC, ND, NE y VMR67A como se muestra en la siguiente figura, donde la línea roja es la trayectoria crítica.

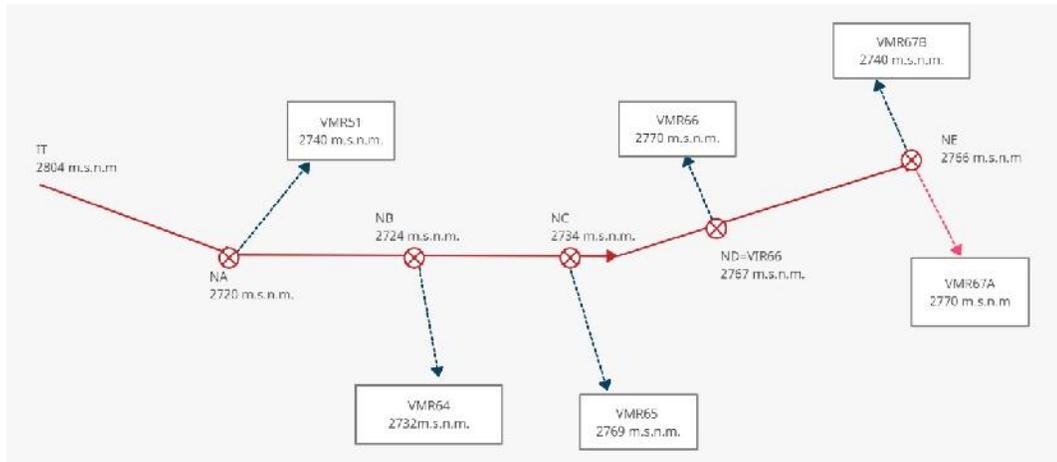


Figura 35-4. Esquema de la trayectoria principal crítica para rediseño.

Realizado por: Autores, 2021

4.6.2. Diámetro de rediseño trayectoria principal crítica

De esta manera se procede a calcular el diámetro teórico en base a la trayectoria principal para los cuales debemos tener datos como, caudal de diseño, pendiente hidráulica (J) y coeficiente de rugosidad de Manning (n).

Datos IT-NA

J: 0,001698

n: 0,013 coeficiente de Manning para tubería de PVC

Q: 0,597 m³/s

$$D_{t_i} = 1,158 \left(n * \frac{Q_d}{J^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$D_{t_i} = 1,158 \left(0,013 * \frac{0,597}{0,001698^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$D_{t_i} = 0,8278m$$

Una vez calculado el diámetro teórico igual a 0,8278 m se debe buscar una tubería comercial aproximada, en este caso se escogió el diámetro de 0,9 m. En la tabla 23-4 se detalla los diámetros calculados, comerciales y de diseño para los tramos restantes de la trayectoria crítica.

Tabla 48-4: Diámetros de rediseño de la trayectoria crítica

| Tramo | D Teórico (m) | D Comercial (m) | D Diseño (m) |
|-----------|---------------|-----------------|--------------|
| IT-NA | 0,8278 | 0,900 | 0,86 |
| NA-NB | 0,7621 | 0,900 | 0,86 |
| NB-NC | 0,7029 | 0,800 | 0,76 |
| NC-ND | 0,6551 | 0,710 | 0,67 |
| ND-NE | 0,4155 | 0,450 | 0,43 |
| NE-VMR67A | 0,3314 | 0,355 | 0,34 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

4.6.3. Caudal en sección llena

Para el cálculo se aplica la ecuación de Manning.

Datos IT-NA

J: 0,001698

n: 0,013 coeficiente de Manning para tubería de PVC

D_{diseño}: 0,9 m

$$Q_0 = 0,312 * \frac{D_d^{\frac{8}{3}} * J^{\frac{1}{2}}}{n}$$
$$Q_0 = 0,312 \frac{0,86^{\frac{8}{3}} * 0,001698^{\frac{1}{2}}}{0,013}$$
$$Q_0 = 0,652 \frac{m^3}{s}$$

De la misma manera se procede a calcular para los demás tramos, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 49-4: Caudales de rediseño en sección llena para los tramos.

| Tramo | Qo (m ³ /s) |
|-----------|------------------------|
| IT-NA | 0,652 |
| NA-NB | 0,652 |
| NB-NC | 0,476 |
| NC-ND | 0,346 |
| ND-NE | 0,103 |
| NE-VMR67A | 0,055 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

4.6.4. Cálculo de pérdidas de carga para trayectoria crítica

Se emplea la ecuación de Manning y Darcy Weisbach para este cálculo.

Datos: Tramo IT-NA

Q_o = 0,652 m³/s

D_{diseño} = 0,86 m

L = 5115,5 m

= 0,0000015 m de rugosidad absoluta del PVC

= 1,0007E-06 m²/s

Velocidad

$$V = \frac{4Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 0,652}{\pi * (0,86)^2}$$

$$V = 1,14 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds

$$R = \frac{v * D}{\nu}$$

$$R = \frac{1,14 * 0,86}{1,0007E - 06}$$

$$R = 963716,8$$

Ya que el número de Reynolds es igual a 963716,8 se considera un régimen turbulento para calcular el coeficiente de fricción f .

Coeficiente de fricción.

$$f = \lambda = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{R} \right)^{0,2}$$

$$f = \lambda = 0,11 \left(\frac{0,000007}{0,86} + \frac{68}{963716,8} \right)^{0,2}$$

$$f = \lambda = 0,01036$$

Pérdidas por fricción

$$hf = \lambda * \frac{l * v^2}{d * 2g}$$

$$hf = 0,01036 * \frac{5115,5 * 1,14^2}{0,86 * 2 * 9,81}$$

$$hf = 4,07 \text{ m. c. a.}$$

Se obtiene un coeficiente K de 42,3 del tramo IT-NA

Pérdidas menores.

$$hm = K * \frac{V^2}{2g}$$

$$hm = 42,3 * \frac{(1,14)^2}{2 * 9,81}$$

$$hm = 2,77 \text{ m. c. a.}$$

Pérdidas totales.

$$hl = hf + hm$$

$$hl = 4,07 + 2,77$$

$$hl = 6,84 \text{ m. c. a}$$

En la tabla 27-4 se indica las pérdidas de carga de cada tramo de la tubería principal crítica, calculadas con el mismo procedimiento que se realizó para el primer tramo IT-NA.

Altura piezométrica

$$A \quad p \quad \text{ét}_i = H - hl$$

$$A \quad p \quad \text{ét}_i = 154 - 6,84$$

$$A \quad p \quad \text{ét}_i = 147,52 \text{ m}$$

Obtenido el valor de la altura piezométrica del tramo IT-NA, se conoce la altura inicial para el ramal 51, se procede a calcular para todos los tramos de la tubería principal crítica y se detalla en la tabla 26-4. Para continuar con los cálculos del rediseño se indica la rugosidad absoluta ($\epsilon = 0,000007 \text{ m}$) del PVC, la viscosidad cinemática del agua ($\nu = 1,007E-6 \text{ m}^2/\text{s}$) (Crane, 1992) y en siguiente tabla se muestran los datos necesarios.

Tabla 50-4: Datos para el rediseño de tubería PVC.

| Tramo | D diseño (m) | Q o (m3/s) | L(m) | K |
|-----------|--------------|------------|---------|------|
| IT-NA | 0,86 | 0,652 | 5115,5 | 42,3 |
| NA-NB | 0,86 | 0,652 | 984,55 | 5,2 |
| NB-NC | 0,76 | 0,476 | 1603,67 | 13 |
| NC-ND | 0,67 | 0,346 | 1194,1 | 7 |
| ND-NE | 0,43 | 0,103 | 2171,6 | 16,2 |
| NE-VMR67A | 0,34 | 0,055 | 123,31 | 3,74 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

La siguiente tabla detalla todos los valores de las variables necesarias para determinar la pérdida de carga para cada tramo y la altura piezométrica.

Tabla 51-4: Pérdidas de carga y altura piezométrica de los tramos de la tubería principal crítica.

| Tramo | v (m/s) | Re | f | hf (m) | hm (m) | hl (m) | Altura piezométrica (m) |
|-----------|---------|-----------|---------|--------|--------|--------|-------------------------|
| IT-NA | 1,135 | 963716,8 | 0,01036 | 4,07 | 2,77 | 6,84 | 147,52 |
| NA-NB | 1,135 | 963716,78 | 0,01036 | 0,78 | 0,34 | 1,12 | 146,04 |
| NB-NC | 1,049 | 792022,51 | 0,01086 | 1,28 | 0,73 | 2,01 | 144,02 |
| NC-ND | 0,969 | 649071,39 | 0,01139 | 0,96 | 0,33 | 1,30 | 142,72 |
| ND-NE | 0,715 | 303433,48 | 0,01370 | 1,81 | 0,42 | 2,23 | 140,49 |
| NE-VMR67A | 0,610 | 204444,68 | 0,01508 | 0,10 | 0,07 | 0,18 | 140,32 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

4.6.5. Cálculo de rediseño de los ramales

De esta manera se procede a calcular los diámetros de la tubería de los ramales en los cuales se mantendrán los accesorios de las tuberías con excepción de los ramales 65 y 67B que cambiaron sus trayectorias y longitud. En la tabla 27-4 se presenta los valores de la demanda de caudal para cada ramal, la altura piezométrica de los tramos de la trayectoria principal crítica empleada como altura de cabecera para los ramales, la longitud de cada ramal y la presión mínima con la que debe llegar a cada reservorio.

Tabla 52-4: Datos para el rediseño de los ramales.

| Ramal | Q (m ³ /s) | Ho (m.c.a) | L (m) | Presión mínima (m.c.a) |
|-----------|-----------------------|------------|---------|------------------------|
| NA-VMR51 | 0,061 | 147,16 | 1561,27 | 15 |
| NB-VMR64 | 0,079 | 146,04 | 672,13 | 15 |
| NC-VMR65 | 0,066 | 144,02 | 536,26 | 15 |
| ND-VMR66 | 0,225 | 142,72 | 55,99 | 15 |
| NE-VMR67B | 0,043 | 140,49 | 768,54 | 15 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

Ramal: NA-VMR51

Datos:

Q Diseño = 61 l/s

$H_o = 136,06$ m.c.a.

Cota VMR51 = 2740 m.c.a.

$L = 1561,67$ m

$n = 0,013$ coeficiente de Manning para tubería de PVC

Cálculo de cota h

$$h = C \quad N - C \quad V^3$$

$$h = 2740 - 2650$$

$$h = 90 \text{ m.c.a.}$$

Pendiente hidráulica J

$$J = \frac{H - (C + P(m))}{L}$$

$$J = \frac{147,16 - (90 + 15)}{1561,67}$$

$$J = 0,0272$$

Diámetro teórico:

$$D_{t_i} = 1,158 \left(n * \frac{Q_d}{J^2} \right)^{3/8}$$

$$D_{t_i} = 1,158 \left(0,013 * \frac{0,061}{0,0272^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$D_{t_i} = 0,2095 \text{ m}$$

Calculado un diámetro de 0,2095 m se procede a escoger un diámetro comercial mayor, en este caso se seleccionó un diámetro de 0,2136 m de tubería PVC.

Caudal de rediseño

Datos:

$$D_{t_i} = 0,2136 \text{ m}$$

$$J = 0,0272$$

$$Q_o = 0,312 * \frac{D_d^{8/3} * J^{1/2}}{n}$$

$$Q_0 = 0,312 \frac{0,2136^{\frac{8}{3}} * 0,0272^{\frac{1}{2}}}{0,013}$$

$$Q_0 = 0,064 \frac{m^3}{s}$$

En la tabla 29-4 se presenta los resultados de la cota (h), la pendiente, el diámetro de diseño y el caudal de cada ramal. Estos datos servirán para calcular las pérdidas de carga de los ramales, la altura piezométrica y la presión en cada reservorio.

Tabla 53-4: Resultados y datos para el rediseño de los ramales 51, 64, 65, 66, 67B

| Ramal | h (m.c.a) | J | D teórico (m) | D diseño (m) | Qo (m3/s) | K |
|-----------|-----------|--------|---------------|--------------|-----------|-------|
| NA-VMR51 | 90 | 0,0272 | 0,2095 | 0,2136 | 0,064 | 22,41 |
| NB-VMR64 | 82 | 0,0730 | 0,1916 | 0,2136 | 0,106 | 5,36 |
| NC-VMR65 | 119 | 0,0187 | 0,2312 | 0,2374 | 0,071 | 8,03 |
| ND-VMR66 | 120 | 0,1380 | 0,2517 | 0,2992 | 0,357 | 3,63 |
| NE-VMR67B | 90 | 0,0461 | 0,1662 | 0,19 | 0,061 | 7,53 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

4.6.5.1. Cálculo de las pérdidas de carga, altura piezométrica y presión para cada uno de los ramales.

Ramal: NA-VMR51

Datos:

$$D_{t \text{ ó } r} = 0,2136 \text{ m}$$

$$Q = 0,064 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 1567,27 \text{ m}$$

$$K = 22,41$$

$$\varepsilon = 0,00007 \text{ m (P)}$$

$$\nu = 1,0007E - 06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$h = 90$$

Velocidad

$$V = \frac{4Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 0,064}{\pi * (0,2136)^2}$$

$$V = 1,79 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds

$$R = \frac{v * D}{\nu}$$

$$R = \frac{1,79 * 0,2136}{1,007E - 06}$$

$$R = 380601,77$$

Ya que el número de Reynolds es igual a 380601,77 se considera un régimen turbulento para calcular el coeficiente de fricción f .

Coeficiente de fricción.

$$f = \lambda = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{R} \right)^{0,2}$$

$$f = \lambda = 0,11 \left(\frac{0,000007}{0,2136} + \frac{68}{380601,77} \right)^{0,2}$$

$$f = \lambda = 0,01326$$

Pérdidas por fricción

$$hf = \lambda * \frac{l * v^2}{d * 2g}$$

$$hf = 0,01326 * \frac{1561,27 * 1,79^2}{0,2136 * 2 * 9,81}$$

$$hf = 15,91 \text{ m. c. a.}$$

Pérdidas menores.

En el tramo IT-NA, según la tabla 28-4 tiene un coeficiente K de 22,41.

$$hm = K * \frac{V^2}{2g}$$

$$hm = 22,41 * \frac{(1,79)^2}{2 * 9,81}$$

$$hm = 3,68 \text{ m. c. a.}$$

Pérdidas totales.

$$hl = hf + hm$$

$$hl = 15,91 + 3,68$$

$$hl = 19,59 \text{ m. c. a}$$

Altura piezométrica

$$A \quad p \quad \acute{e}t_1 = H - hl$$

$$A \quad p \quad \acute{e}t_1 = 147,52 - 19,59$$

$$A \quad p \quad \acute{e}t_1 = 127,93 \text{ m}$$

Presión

$$P \quad \acute{o}n = A \quad p \quad \acute{e}t_1 - c_1 (h)$$

$$P \quad \acute{o}n = 127,57 - 90$$

$$P \quad \acute{o}n = 37,93 \text{ m. c. a.}$$

La presión de 37,93 m.c.a es con la que llegará al reservorio 51, en la tabla 30-4 se muestra los valores calculados para las pérdidas de carga de cada ramal, la altura piezométrica y la presión en cada reservorio.

Tabla 54-4: Pérdidas de carga en el rediseño para ramales 51, 64, 65, 66, 67B

| Tramo | v (m/s) | Re | F | hf (m.c.a) | hm (m.c.a) | hl (m.c.a) | Altura piezométrica (m) | Presión (m.c.a) |
|-----------|---------|-----------|---------|------------|------------|------------|-------------------------|-----------------|
| NA-VMR51 | 1,79 | 380601,77 | 0,01326 | 15,91 | 3,68 | 19,59 | 127,57 | 37,57 |
| NB-VMR64 | 2,95 | 625593,99 | 0,01200 | 16,74 | 2,38 | 19,11 | 126,92 | 44,92 |
| NC-VMR65 | 1,60 | 377601,88 | 0,01324 | 3,91 | 1,05 | 4,96 | 139,06 | 20,06 |
| ND-VMR66 | 5,08 | 1508546,0 | 0,01001 | 2,46 | 4,77 | 7,23 | 135,49 | 15,49 |
| NE-VMR67B | 2,17 | 409179,78 | 0,01313 | 12,73 | 1,80 | 14,54 | 125,90 | 35,90 |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

De esta manera se garantiza que el agua llegará a todos los reservorios, aunque con una presión mínima de 15,49 m.c.a. en el reservorio 66, por otro lado, para el reservorio 67A se obtuvo una

presión negativa, pero se puede regular cerrando la válvula de interconexión del reservorio 67B hasta obtener una presión mínima, esto se hace al disminuir el caudal de ingreso al reservorio 67B.

4.6.6. Dimensión de accesorios

Los accesorios que conservan su dimensión son las válvulas de aire y válvulas de desfogue puesto que el cambio de diámetros de las tuberías no influye, mientras que la válvula de control, válvulas mariposa, válvulas de interconexión y medidores de Venturi se dimensionan de acuerdo con el diámetro de la tubería. A continuación, se detalla la lista de los accesorios, la cantidad y la dimensión.

Tabla 55-4: Lista de accesorios para el rediseño.

| Cant. | Accesorio | Dimensión |
|--------------|----------------------------------|------------------|
| 18 | Válvulas de aire de doble efecto | 80 mm |
| 6 | Válvula de compuerta(desfogue) | 110 mm |
| 14 | Válvula de compuerta(desfogue) | 160 mm |
| 1 | Válvula mariposa | 800 mm |
| 1 | Válvula de interconexión | 355 mm |
| 1 | Válvula de interconexión | 315 mm |
| 1 | Válvula de interconexión | 250 mm |
| 2 | Válvula de interconexión | 225 mm |
| 1 | Válvula de interconexión | 200 mm |
| 1 | Medidores de Venturi | 355 mm |
| 1 | Medidores de Venturi | 315 mm |
| 1 | Medidores de Venturi | 250 mm |
| 2 | Medidores de Venturi | 225 mm |
| 1 | Medidores de Venturi | 200 mm |
| 2 | Válvulas mariposa | 355 mm |
| 2 | Válvulas mariposa | 315 mm |
| 2 | Válvulas mariposa | 250 mm |
| 4 | Válvulas mariposa | 225 mm |
| 2 | Válvulas mariposa | 200 mm |

Fuente: JURECH, 2021.

Realizado por: Autores, 2021

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS

5.1. Evaluación del sistema TB11

Se evaluaron las condiciones iniciales del sistema de la tubería TB11, en el cual se encontró una distribución de 7 reservorios 31, 51, 64, 65, 66, 67A y 67B, de los cuales el reservorio 31 no funciona debido a que el área bajo riego de este reservorio ya tiene agua tomada desde el canal principal y con el caudal característico de 0,7 l/s/ha y los demás reservorios trabajan bajo una dotación de agua de 0,4 l/s/ha.

Además, el desarenador se encuentra bien diseñado ya que su velocidad horizontal igual a 0,13 m/s, la velocidad de precipitación que requiere las arenas finas es de 0,16m/s es decir que cumple con las necesidades de diseño y el problema de ingreso de partículas abrasivas hacia la tubería se debe a la frecuencia de limpieza del desarenador que se realiza cada mes aproximadamente.

5.1.1. Tubería principal

Se determinó que la longitud total de la tubería es de 11 069 m. Esta medida se obtuvo a partir del ingreso de la tubería hasta la protección catódica 8, el material de la conducción principal es de acero comercial, tiene dos dimensiones de diámetro, el diámetro de 800 mm es desde el ingreso de la tubería hasta la válvula de interconexión del reservorio 66, a partir de ese punto existe un cambio de sección a una tubería de 600 mm hasta la protección catódica 8. En la tabla 1-5 se indica la distancia de los dos tramos según la dimensión de la tubería.

Tabla 56-5: Distancias de tuberías de 800 mm y 600 mm.

| Tramo | Dimensión | Distancia (m) |
|-------|-------------------|---------------|
| IT-NE | Tubería de 800 mm | 8664 |
| ND-NE | Tubería de 600 mm | 2401 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2020

Asimismo, se encontraron los siguientes accesorios: 17 válvulas de desfogue, 11 paso hombre, 16 válvulas de aire, 8 protecciones catódicas, 1 válvula mariposa para control general y 1 central de la protección catódica. En la siguiente tabla 2-5 se indica el número de accesorios de cada tipo y cuántos de ellos se encuentran en buenas condiciones.

Tabla 57-5: Resumen de accesorios en funcionamiento según su tipo, presentes en la tubería principal.

| Tubería principal | Existentes | En buenas condiciones |
|--------------------------------|------------|-----------------------|
| Válvulas de desfogue | 17 | 9 |
| Válvulas de aire | 16 | 4 |
| Protecciones catódicas | 8 | 3 |
| Central de protección catódica | 1 | 1 |
| Válvula general | 1 | 1 |
| Paso hombre (Tuberías de 250) | 11 | 11 |
| Total | 54 | 29 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2020

Del total de 54 accesorios que se encuentran en la línea de conducción principal existen 29 en buenas condiciones. Lo que quiere decir que el 53,7 % opera sin problemas y el resto está fuera de servicio o presenta alguna anomalía. A continuación, se puede observar una gráfica de la cantidad de componentes en buenas condiciones (color naranja) y la cantidad de cada tipo de accesorio (color azul).

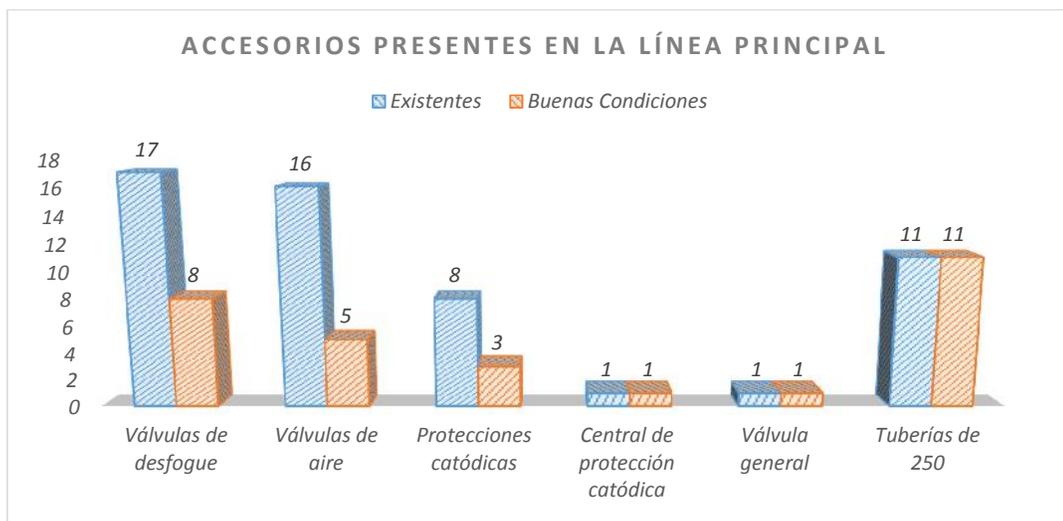


Gráfico 3-5. Accesorios en buenas condiciones de la línea principal

Realizado por: Autores, 2020

Se presenta imágenes que reflejan una parte de la ausencia de mantenimiento de los componentes de la línea de conducción principal:



Figura 36-5. Malas condiciones de los accesorios por falta de mantenimiento

Fuente: Autores, 2020

5.1.2. Ramales

Existen 7 ramales, pero se analizaron 6 debido a que el ramal del reservorio 31 está fuera de servicio. La demanda de caudal para cada ramal se detalla a continuación:

Tabla 58-5: Caudal suministrado a los reservorios

| RESERVORIO | SUPERFICIE (Ha) | CAUDAL CARACTERÍSTICO (l/s/Ha) | CAUDAL (l/s) SUMINISTRADO |
|--------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|
| R51 | 150,81 | 0,4 | 60 |
| R64 | 195,67 | 0,4 | 78 |
| R65 | 163,69 | 0,4 | 65 |
| R66 | 564,21 | 0,4 | 226 |
| R67A | 129,87 | 0,4 | 52 |
| R67B | 105,54 | 0,4 | 42 |
| Total | 1309,78 | | 524 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2021

En dos ramales se presentan inconvenientes, en el ramal 65 sobre la tubería se encuentra una nave industrial (Comercial “Vera”), lo que implica un grado de peligro si llegara a colapsar; otro ramal es el 67B, en este ramal la válvula de aire 1 (VA1R67B) se encuentra en el interior de una propiedad privada en una esquina de la casa como se observa en la figura -5.



Figura 37-5. Válvula de aire 1 reservorio 67B en el interior de una propiedad

Fuente: JURECH, 2020

En la figura 3-5 se puede observar el recubrimiento asfáltico de la tubería que a causa de la erosión del suelo poco a poco queda expuesta, posterior a ello el material de recubrimiento empezará a desfragmentarse, luego la tubería queda expuesta y lentamente empieza a oxidarse la superficie. Esta parte expuesta se encuentra a la llegada del medidor de Venturi del reservorio 64 (MV64).



Figura 38-5. Tubería expuesta antes del medidor de Venturi del reservorio 64

Fuente: JURECH, 2020

Se presenta una tabla en la cual se especifica la cantidad de accesorios existentes en los ramales y la cantidad que se encuentran en buenas condiciones.

Tabla 59-5: Cantidad de accesorios existentes y en buenas condiciones de los ramales.

| Ramales | Existentes | Buenas condiciones |
|---------------------------|------------|--------------------|
| Válvulas de interconexión | 7 | 5 |
| Válvulas de aire | 6 | 5 |
| Válvulas de desfogue | 6 | 4 |
| Medidores de Venturi | 7 | 0 |
| Válvulas mariposa | 14 | 7 |
| Total | 40 | 21 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2021

En resumen, se puede decir que, del total de 40 accesorios, el 52,5% se encuentran en un buen estado y siguen funcionando sin muchos inconvenientes, para el resto de los accesorios las condiciones en las que se encuentran no son las mejores, en muchas de ellas falta el mantenimiento de limpieza de sedimentos dentro y alrededor de la obra civil o simplemente ya no funcionan. En el gráfico 2-5 se presenta la cantidad de los accesorios que están en buenas condiciones dentro de los ramales y los que se encuentran en mejores condiciones.

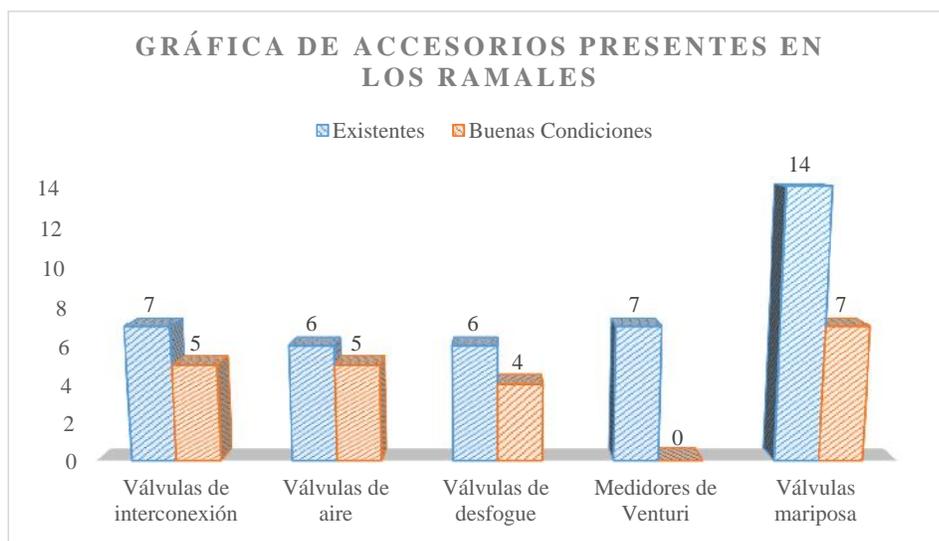


Gráfico 4-5. Accesorios existentes y en buenas condiciones de los ramales.

Realizado por: Autores, 2020

5.1.3. Tabla comparativa cantidad total de accesorios en el sistema TB11

En todo el sistema de la TB11 se encuentra un total de 94 componentes, de los cuales el 53,2% se encuentra en buenas condiciones, el porcentaje restante tiene alguna inconformidad como: presencia de sedimentos o agua en el interior de las cámaras, presencia de maleza sobre la infraestructura, corrosión avanzada y ausencia de mantenimiento preventivo.

Tabla 60-5: Accesorios en el sistema TB11

| Tubería principal | Existentes | Buenas condiciones |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------|
| Válvulas de desfogue | 17 | 9 |
| Válvulas de aire | 16 | 4 |
| Protecciones catódicas | 8 | 3 |
| Central de protección catódica | 1 | 1 |
| Válvula general | 1 | 1 |
| Paso hombre (Tuberías de 250) | 11 | 11 |
| Total | 54 | 29 |
| Ramales | Existentes | Buenas condiciones |
| Válvulas de interconexión | 7 | 5 |
| Válvulas de aire | 6 | 5 |
| Válvulas de desfogue | 6 | 4 |
| Medidores de Venturi | 7 | 0 |
| Válvulas mariposa | 14 | 7 |
| Total | 40 | 21 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2021

5.2. Recolección de parámetros técnicos de los accesorios del sistema TB11

5.2.1. Tubería principal

Debido a que no existe documentación del proyecto inicial en el cual exista la trayectoria del sistema de tuberías TB11 fue necesario realizar un recorrido conjuntamente con personas que pertenecen al departamento de mantenimiento y operación, quienes conocen la ubicación de los accesorios, para reunir la información de cada accesorio se necesitó definir una referencia, el nombre del accesorio, la dimensión, la zona en la que se encuentra, las coordenadas, la cota y posterior a ello calcular la distancia a la cual se encuentra en la trayectoria. Se observan en la tabla 3-5 los detalles de las especificaciones que se consideraron para el levantamiento de información.

Tabla 61-5: Especificaciones técnicas de los accesorios presentes en la tubería principal

| Ref. | Nombre | Dimensión (mm) | Zona | Distancia (m) | COORDENADA | | COTA |
|-------------|------------------------|-----------------------|-------------|----------------------|-------------------|---------|-------------|
| 1D | V. Desfogue 1 | 160 | 3 | 1086,3 | 761337 | 9808397 | 2743 |
| 2D | V. Desfogue 2 | 160 | 3 | 2819,6 | 761913 | 981001 | 2736 |
| 3D | V. Desfogue 3 | 160 | 3 | 3458,9 | 762244 | 9810491 | 2699 |
| 4D | V. Desfogue 4 (S.L.) | 160-160 | 5 | 4084,5 | 762671 | 9810941 | 2735 |
| 5.1D | V. Desfogue 5.1 (S.J.) | 160-110 | 5 | 4520,2 | 762962 | 9811265 | 2744 |

| | | | | | | | |
|------|--------------------------|---------|---|----------|--------|---------|------|
| 5.2D | V. Desfogue 5.2 (Romero) | 110-110 | 5 | 4524,7 | 762966 | 9811263 | 2744 |
| 6D | V. Desfogue 6 (P.L.) | 160-160 | 5 | 4839,5 | 763166 | 9811501 | 2741 |
| 7D | V. Desfogue 7 (9.O.) | 160-110 | 5 | 5040,1 | 763289 | 9811648 | 2740 |
| 8D | V. Desfogue 8 (11.N) | 160-160 | 5 | 5229,0 | 763398 | 9811800 | 2741 |
| 9D | V. Desfogue 9 | 160 | 6 | 6287,5 | 764144 | 9812549 | 2742 |
| 10D | V. Desfogue 10 | 160 | 6 | 6929,2 | 764473 | 9813100 | 2767 |
| 11D | V. Desfogue 11 | 160 | 6 | 7586,2 | 764825 | 9813653 | 2751 |
| 12D | V. Desfogue 12 | 160 | 6 | 8181,7 | 765164 | 9814131 | 2763 |
| 13D | V. Desfogue 13 | 160 | 6 | 8750,8 | 765458 | 9814618 | 2783 |
| 14D | V. Desfogue 14 | 160 | 6 | 9288,4 | 765786 | 9815034 | 2768 |
| 15D | V. Desfogue 15 | 160 | 6 | 9554,8 | 765964 | 9815223 | 2764 |
| 16D | V. Desfogue 16 | 160 | 6 | 10126,9 | 766339 | 9815655 | 2777 |
| 17D | V. Desfogue 17 | 160 | 6 | 10701,8 | 766834 | 9815945 | 2769 |
| 1VA | Válvula de aire 1 | 80 | 3 | 1701,206 | 761521 | 9808982 | 2757 |
| 2VA | Válvula de aire 2 | 80 | 3 | 3039,272 | 761958 | 9810230 | 2733 |
| 3VA | Válvula de aire 3 | 80 | 5 | 4000,294 | 762607 | 9810891 | 2738 |
| 4VA | Válvula de aire 4 | 80 | 5 | 4429,010 | 762897 | 9811201 | 2749 |
| 5VA | Válvula de aire 5 | 80 | 5 | 4648,980 | 763037 | 9811365 | 2745 |
| 6VA | Válvula de aire 6 | 80 | 5 | 4889,574 | 763190 | 9811545 | 2748 |
| 7VA | Válvula de aire 7 | 80 | 5 | 5167,537 | 763364 | 9811751 | 2747 |
| 8VA | Válvula de aire 8 | 80 | 5 | 6030,874 | 763967 | 9812365 | 2739 |
| 9VA | Válvula de aire 9 | 80 | 6 | 6231,071 | 764110 | 9812504 | 2746 |
| 10VA | Válvula de aire 10 | 80 | 6 | 7368,210 | 764702 | 9813473 | 2751 |
| 11VA | Válvula de aire 11 | 80 | 6 | 8155,267 | 765140 | 9814120 | 2762 |
| 12VA | Válvula de aire 12 | 80 | 6 | 8526,165 | 765335 | 9814430 | 2778 |
| 13VA | Válvula de aire 13 | 80 | 6 | 9083,317 | 765638 | 9814892 | 2794 |
| 14VA | Válvula de aire 14 | 80 | 6 | 9402,969 | 765850 | 9815129 | 2785 |
| 15VA | Válvula de aire 15 | 80 | 6 | 9779,043 | 766109 | 9815394 | 2784 |

| | | | | | | | |
|---------|--------------------|-----|---|-----------|--------|---------|------|
| 16VA | Válvula de aire 16 | 80 | 6 | 10302,347 | 766481 | 9815758 | 2787 |
| TB11-1 | Tubería de 250 | 250 | 3 | 2803,335 | 761897 | 9810018 | 2736 |
| TB11-2 | Tubería de 250 | 250 | 3 | 3429,074 | 762225 | 9810514 | 2717 |
| TB11-3 | Tubería de 600 | 600 | 5 | 4078,192 | 762665 | 9810943 | 2735 |
| TB11-4 | Tubería de 250 | 250 | 5 | 4835,849 | 763163 | 9811503 | 2741 |
| TB11-5 | Tubería de 250 | 250 | 5 | 5034,740 | 763287 | 9811653 | 2740 |
| TB11-6 | Tubería de 250 | 250 | 5 | 5227,010 | 763398 | 9811798 | 2741 |
| TB11-7 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 6932,221 | 764473 | 9813103 | 2763 |
| TB11-8 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 7590,693 | 764829 | 9813651 | 2751 |
| TB11-9 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 8178,115 | 765161 | 9814129 | 2762 |
| TB11-10 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 9548,134 | 765958 | 9815226 | 2769 |
| TB11-11 | Tubería de 250 | 250 | 6 | 10136,924 | 766347 | 9815661 | 2777 |
| VC | Válvula de control | 800 | 6 | 0,003 | 764569 | 9813284 | 2754 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2021

5.2.2. Ramales

Tabla 62-5: Especificaciones técnicas de accesorios en ramales

| REFER | DESCRIPCIÓN | Dimensión (mm) | Zona | COORDENADA | | COTA |
|--------|---------------------------------|-------------------|------|------------|-----------|------|
| | | | | | | |
| VIR31 | Válvula de interconexión 31 | 250 | 3 | 761532,2 | 9809014,9 | 2791 |
| VIR51 | Válvula de interconexión 51 | 350 | 5 | 763375,8 | 9811778,5 | 2749 |
| VIR64 | Válvula de interconexión 64 | 250-160 | 6 | 764080,5 | 9812464,8 | 2750 |
| VIR65 | Válvula de interconexión 65 | 300 | 6 | 764954,1 | 9813800,6 | 2758 |
| VIR66 | Válvula de interconexión 66 | 450 | 6 | 765561,5 | 9814822,2 | 2776 |
| VIR67A | Válvula de interconexión 67A | 300 | 6 | 767139 | 9816273 | 2794 |
| VIR67B | Válvula de interconexión 67B | 350 | 6 | 767133 | 9816281 | 2794 |
| R31 | Válvula mariposa 31 | 250 | 3 | 761155,3 | 9809236,7 | 2732 |
| R31 | Válvula mariposa 31 | 250 | 3 | 761155,3 | 9809236,7 | 2732 |
| R51 | Válvula mariposa 51 | 350 | 5 | 762289,9 | 9812898,7 | 2780 |
| R51 | Válvula mariposa 51 | 350 | 5 | 762289,9 | 9812898,7 | 2780 |
| R64 | Válvula mariposa 64 | 250 | 6 | 764649,5 | 9812133,3 | 2765 |
| R64 | Válvula mariposa 64 | 250 | 6 | 764649,5 | 9812133,3 | 2765 |
| R65 | Válvula mariposa 65 | 300 | 6 | 765458,6 | 9813698,9 | 2781 |
| R65 | Válvula mariposa 65 | 300 | 6 | 765458,6 | 9813698,9 | 2781 |

| | | | | | | |
|---------|-------------------------------------|------------|---|--------|---------|------|
| R66 | Válvula mariposa 66 | 450 | 6 | 765516 | 9814846 | 2782 |
| R66 | Válvula mariposa 66 | 450 | 6 | 765516 | 9814846 | 2782 |
| R67A | Válvula mariposa 67A | 300 | 6 | 767244 | 9816221 | 2770 |
| R67A | Válvula mariposa 67A | 300 | 6 | 767244 | 9816221 | 2770 |
| R67B | Válvula mariposa 67B | 350 | 6 | 766904 | 9816637 | 2753 |
| R67B | Válvula mariposa 67B | 350 | 6 | 766904 | 9816637 | 2753 |
| MV1 | Medidor de Venturi 51 | NE | 5 | 762314 | 9812885 | 2743 |
| MV2 | Medidor de Venturi 64 | 300-172.27 | 6 | 764588 | 9812126 | 2744 |
| MV3 | Medidor de Venturi 65 | 350-199.09 | 6 | 765312 | 9813718 | 2756 |
| MV4 | Medidor de Venturi 66 | 600-316.43 | 6 | 765558 | 9814834 | 2791 |
| MV5 | Medidor de Venturi 67A | 350-199.09 | 6 | 767143 | 9816269 | 2776 |
| MV6 | Medidor de Venturi 67B | 500-281.76 | 6 | 767016 | 9816512 | 2771 |
| VA1R65 | Válvula de aire 1 R65 | 80 | 6 | 765048 | 9813778 | 2738 |
| VD1R65 | V. Desfogue 1 R65 | 160 | 6 | 765075 | 9813777 | 2738 |
| VA1R67B | Válvula de aire 1 R67b | 80 | 6 | 767013 | 9816511 | 2749 |
| VD1R67B | V. Desfogue 1 R67b | 160 | 6 | 767027 | 9816470 | 2751 |
| VA1R51 | Válvula de aire 1 reservorio 51 | 80 | 5 | 763292 | 9811874 | 2721 |
| VD1R51 | Válvula de desfogue 1 reservorio 51 | 160 | 5 | 763243 | 9811926 | 2723 |
| VA2R51 | Válvula de aire 2 reservorio 51 | 80 | 5 | 763081 | 9812116 | 2725 |
| VD2R51 | Válvula de desfogue 2 reservorio 51 | 110 | 5 | 763036 | 9812161 | 2726 |
| VA3R51 | Válvula de aire 3 reservorio 51 | 80 | 5 | 762950 | 9812235 | 2728 |
| VD3R51 | Válvula de desfogue 3 reservorio 51 | 110 | 5 | 762939 | 9812261 | 2728 |
| VA4R51 | Válvula de aire 4 reservorio 51 | 80 | 5 | 762484 | 9812716 | 2735 |
| VD4R51 | Válvula de desfogue 4 reservorio 51 | 110 | 5 | 762461 | 9812751 | 2735 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2021

5.2.3. Diagnóstico de los accesorios hidráulicos

Juntamente con la recolección de parámetros en el levantamiento de información se registraron también los inconvenientes que se observaron en cada accesorio en cuanto a su funcionamiento, estado, condiciones de la obra civil, etc. Asimismo, se adjuntó una sugerencia para cada inconveniente, en la tabla 6-5 se ha definido el inconveniente, la zona en la que se encuentra el inconveniente, la dimensión, la cota, la coordenada y la sugerencia.

Tabla 63-5: Listado de inconvenientes de la tubería TB11.

| Inconveniente | Zona | DN (mm) | COTA | ESTE (X) | NORTE (Y) | SUGERENCIA |
|---|-------------|----------------|-------------|-----------------|------------------|---|
| Excedente de agua no regresan al canal principal | 2 | | 2810 | | | |
| Exceso ingreso de sedimentación | 2 | | 2828 | | | Construir otro desarenador a 1 km aprox. de la captación |
| Superficie de tubería expuesta dentro de cultivos | 3 | 800 | 2742 | 761337 | 9808397 | Cubrir la tubería con revestimiento |
| V. desfogue 1 arrastra cultivos | 3 | 160 | 2743 | 761337 | 9808397 | Construcción de canaleta |
| Protección catódica 2 daños de obra civil y tablero | 3 | | 2745 | 761336 | 9808424 | Reconstruir obra civil y tablero |
| V. desfogue 2 se cubre la obra civil de agua de riego | 3 | 160 | 2736 | 761913 | 9810015 | Aumentar altura de obra civil, y delimitar área de protección de la válvula de desfogue |
| V. aire 2 se encuentra dentro del espacio de una casa | 3 | 80 | 2733 | 761958 | 9810230 | Reubicar de urgencia o readecuar obra civil de inmediato. |
| Central de protección catódica dentro de zona urbanizada | 3 | | 2688 | 762320 | 9810598 | Repotenciar protección catódica |
| V. aire 4 ubicada dentro de una zona lotizada (cambio de uso de suelo) | 5 | 80 | 2749 | 762897 | 9811201 | Delimitar área y ubicar señalética |
| V. aire 5, no existe protección catódica | 5 | 80 | 2745 | 763037 | 9811365 | Inspección inmediata |
| V. aire 6, no existe protección catódica, presencia de sedimento | 5 | 80 | 2748 | 763190 | 9811545 | Limpiar sedimento y proteger la tubería contra la oxidación |
| V. aire 7, no existe protección catódica, existe un caudal de fuga de 5 l/s | 5 | 80 | 2747 | 763364 | 9811751 | Mantenimiento correctivo Cambiar válvula de aire |

| | | | | | | |
|---|---|-----|------|--------|---------|--|
| V. aire 8, no funciona la protección catódica, se encuentra dentro de zona urbana | 5 | 80 | 2739 | 763967 | 9812365 | Arreglo inmediato y colocación de tapa sobre la obra civil |
| V. aire 9 tiene 50 cm aprox. de erosión de suelo, no tiene protección catódica | 6 | 80 | 2746 | 764110 | 9812504 | Reubicar válvula de aire |
| V. desfogue 9 existe corrosión sobre la tubería | 6 | 160 | 2742 | 764144 | 9812549 | Cambiar tubería afectada por la corrosión y proteger contra la oxidación |
| V. desfogue 10 dentro de zona a urbanizar (cambio de uso de suelo) | 6 | 160 | 2767 | 764473 | 9813100 | Mantenimiento (tomar acciones legales para precautelar este accesorio) |
| V. de control presenta oxidación | 6 | 800 | 2754 | 764569 | 9813284 | Proteger con elementos de encapsulamiento, o pintura anticorrosiva |
| V. aire 10 presenta sedimentos, reacondicionar obra civil | 6 | 80 | 2751 | 764702 | 9813473 | Limpiar sedimentos, proteger tubería contra la corrosión y reconstruir la obra civil. |
| V. desfogue 11 presencia de agua, corrosión | 6 | 160 | 2751 | 764825 | 9813653 | Cambiar empaquetadura o junta para evitar fugas y proteger contra la corrosión. |
| V. aire 11, no tiene protección catódica y presenta corrosión | 6 | 80 | 2762 | 765140 | 9814120 | Cambiar la parte afectada por la corrosión y proteger la estructura contra la corrosión. |
| V. desfogue 12 fuera de servicio | 6 | 160 | 2763 | 765164 | 9814131 | Reactivar la válvula para evitar taponamientos de la tubería |
| V. aire 13 obra civil en mal estado | 6 | 80 | 2794 | 765638 | 9814892 | Reconstruir la obra civil |
| V. desfogue 14 presenta oxidación, sin tapa de la obra civil | 6 | 160 | 2768 | 765786 | 9815034 | Proteger contra la oxidación y reconstruir la obra civil. |
| V. aire 14 sin tapa la obra civil, no tiene protección catódica | 6 | 80 | 2785 | 765850 | 9815129 | Mantenimiento, reconstrucción de obra civil |

| | | | | | | |
|--|---|-----|------|--------|---------|--|
| V. desfogue 16 presenta corrosión | 6 | 160 | 2777 | 766339 | 9815655 | Cambio de la sección afectada por la corrosión y proteger contra la oxidación |
| V. aire 16 mal estado de la obra civil | 6 | 80 | 2787 | 766481 | 9815758 | Mantenimiento correctivo, figura 15-3, cambio de la válvula de aire de triple efecto y reconstrucción de la obra civil |
| Ramales | | | | | | |
| Válvula de interconexión R51 con exceso de sedimento, no funciona | 5 | 350 | 2749 | 763376 | 9811779 | Limpieza de sedimentos. Pintar tubería. |
| VA1R51 tiene conexiones externas | 5 | 80 | 2751 | 763292 | 9811874 | Realizar inspección para determinar la causa de la fuga. |
| VA2R51 cerca de una vivienda en construcción | 5 | 80 | 2752 | 763081 | 9812116 | Mantenimiento, tomar acciones legales y proteger la obra civil. |
| VD2R51 los cultivos están muy cerca lo que produce oxidación y corrosión en la tubería | 5 | 110 | 2749 | 763036 | 9812161 | Mantenimiento, delimitar área de protección para desfogue |
| VA3R51, exceso de sedimento | 5 | 80 | 2758 | 762950 | 9812235 | Mantenimiento, limpieza y protección contra la oxidación |
| VA4R51, se encuentra en medio de una calle. | 5 | 80 | 2775 | 762484 | 9812716 | Mantenimiento, reubicar |
| VD4R51, está muy cerca de una vivienda, y la tubería de DN 350 mm pasa cerca. | 5 | 110 | 2773 | 762461 | 9812751 | Mantenimiento preventivo, tomar acciones legales y reubicar |
| VD1R65, no existe lugar donde desfogar el agua | 6 | 160 | 2772 | 765048 | 9813778 | Desfogar a terrenos que necesiten el agua de riego |
| VA1R65, se encuentra dentro de un cerramiento privado. | 6 | 80 | 2765 | 765075 | 9813777 | Retirar del lugar y reubicarlo |
| VD1R67B, Se encuentra con sedimentos y está | 6 | 160 | 2790 | 767013 | 9816511 | Reconstruir cámara de válvula de desfogue y limpieza de sedimentos. |

| | | | | | | |
|--|---|----|------|--------|---------|----------------------|
| destruida su cámara de protección | | | | | | |
| VA1R65, se encuentra dentro de un cerramiento privado. | 6 | 80 | 2780 | 767027 | 9816470 | Reubicar de urgencia |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2020

En resumen, de las 17 válvulas de desfogue que existen en la línea principal el 47,06% (8 válvulas de desfogue) se encuentra en condiciones desfavorables, las razones principales del mal estado son:

- Zona de cultivo muy cerca de la de las cámaras,
- Corrosión en la tubería,
- Presencia de vivienda o cultivos cerca de las válvulas que impide desfogar en esas zonas puesto que se inunda en cuestión de minutos o daña los cultivos.

Así mismo de las 16 válvulas de aire de la línea principal el 75% (12 válvulas) presentan alguna inconformidad como mal estado de la obra civil, exceso de sedimentos, inactividad de algunas protecciones catódicas y corrosión en la tubería. De las 8 protecciones catódicas el 62,5% (5 protecciones) no funcionan debido a que el ánodo de sacrificio se encuentra desconectado, mal estado de la obra civil o se encuentra a la intemperie.

De los ramales, las válvulas de interconexión de los reservorios 65, 66, 67A y 67B tienen una fuga de caudal lo que significa que el 66,67% presenta inconformidad, se debe corregir cambiando la válvula mariposa por una válvula de compuerta. El 100% de los medidores de Venturi se encuentran fuera de servicio debido al desmantelamiento que han sufrido por lo que se recomienda la reconstrucción de todos los medidores de Venturi para obtener un registro del caudal tanto al ingreso como en la salida.

De igual manera el 83,3% de las válvulas de desfogue de los ramales se encuentran en mal estado y dos de las 6 válvulas no funcionan, además el 100% de las válvulas de aire presentan alguna inconformidad, de tal manera que se detallan los inconvenientes y sugerencias en la tabla 8-5.

5.3. Resultados de caudales y velocidades.

Para el análisis de la situación inicial y determinar el caudal para el cual fue diseñado desde un inicio la tubería se procedió a realizar los cálculos con los datos que se obtuvieron en el levantamiento de información en donde se conoció los diámetros de la tubería principal y de cada ramal, la cota de cada punto o accesorio presente en toda la red de tuberías, la demanda que requiere cada ramal hacia los reservorios y el caudal de derivación del canal principal.

Tabla 64-5: Resultados del caudal, velocidad y las pérdidas de carga en la situación inicial

| Tramo | D Diseño (m) | Qo (m ³ /s) | Velocidad (m/s) | Pérdidas de carga (m.c.a.) |
|-----------|--------------|------------------------|-----------------|----------------------------|
| IT-NA | 0,8 | 1,58 | 3,13 | 54,82 |
| NA-VMR51 | 0,35 | 0,12 | 1,29 | 11,37 |
| NA-NB | 0,8 | 1,41 | 2,80 | 7,30 |
| NB-VMR64 | 0,25 | 0,05 | 1,09 | 4,80 |
| NB-NC | 0,8 | 1,17 | 2,33 | 9,60 |
| NC-VMR65 | 0,3 | 0,05 | 0,77 | 1,60 |
| NC-ND | 0,8 | 0,79 | 1,58 | 3,02 |
| ND-VMR66 | 0,45 | 0,15 | 0,96 | 0,31 |
| ND-NE | 0,6 | 0,33 | 1,18 | 4,40 |
| NE-VMR67A | 0,3 | 0,05 | 0,65 | 0,32 |
| NE-VMR67B | 0,35 | 0,09 | 0,98 | 1,90 |
| | | | | 99,44 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2021

En el análisis de la situación inicial se obtiene un total de pérdidas de 99,44 m.c.a a las velocidades en cada tramo se encuentran en el intervalo de 0,65 – 3,13 m/s, el caudal para el cual ha sido diseñado el sistema es de 1,58 m³/s. Se calculó la velocidad en dos pequeños tramos que tuvieron una modificación en la entrada al ramal y otra a la entrada del reservorio de los ramales 51 y 64 respectivamente, a continuación, se indica los valores obtenidos de la velocidad:

Reservorio 51: Teniendo en cuenta que en este reservorio existe una válvula de compuerta 110 mm abierto a la mitad que está conectada en paralelo a la válvula de interconexión que se encuentra completamente cerrada, por ende, se calcula la velocidad con la mitad del área de la válvula de compuerta como se muestra a continuación

$$A1 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A1 = \frac{\pi * 0,11^2}{4}$$

$$A1 = 0,0095 \text{ m}^2$$

Área de flujo de la válvula (abierta a la mitad)

$$A2 = \frac{A1}{2}$$

$$A2 = \frac{0,0095 \text{ m}^2}{2}$$

$$A2 = 0,00475 \text{ m}^2$$

La velocidad del fluido en la válvula es:

$$V = \frac{Q}{A}$$
$$V = \frac{0,124 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00475 \text{ m}^2}$$
$$V = 26,16 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, la velocidad con la que circula el fluido en la válvula es de 26,16 m/s lo cual indica que es una velocidad erosiva en consecuencia un desgaste prematuro de la válvula de compuerta del reservorio 51. Posterior a esta bifurcación en paralelo vuelve a su tubería de 350 mm por lo que se mantiene su velocidad de 1,29 m/s

Reservorio 64: De la misma manera existe una modificación en la válvula mariposa del reservorio 64 la cual ha sido cambiada a una válvula de compuerta de 200 mm. Así mismo se presenta el cálculo de la velocidad con este diámetro:

$$A1 = \frac{\pi * D^2}{4}$$
$$A1 = \frac{\pi * 0,2^2}{4}$$
$$A1 = 0,0314 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, la velocidad es:

$$V = \frac{Q}{A}$$
$$V = \frac{0,050 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0314 \text{ m}^2}$$
$$V = 1,59 \text{ m/s}$$

5.4. Trayectorias para ramales

Dentro del recorrido realizado por la línea principal y los ramales, se ha considerado dejar la misma trayectoria en la tubería principal y se ha analizado la trayectoria de dos ramales, los ramales reubicados son el 65 y el 67B, en los anexos G “Trayectoria actual y propuesta del ramal 65” y H “Trayectoria actual y propuesta del ramal 67B” se presenta la trayectoria actual y las dos propuestas. El ramal 65 presenta una longitud de 536 m, un diámetro de diseño de 0,299 m (diámetro interior) y diámetro nominal de 0,315 m que soporta una presión nominal de PN12,5 bares en donde circula un caudal de 0,076 m³/s, a una velocidad de sección llena de 1,08 m/s.

El ramal 67B tiene una longitud de 768m, con un diámetro de diseño (interior) 0,213 m y diámetro nominal de 0,225 m, que soporta una presión nominal de PN 12,5 bares por el que circula un caudal de 0,049 m³/s a una velocidad de 1,36 m/s.

5.5. Rediseño de tubería TB11

Para el rediseño se consideró emplear tubería PVC debido a sus ventajas, además es uno de los materiales que más se emplean en la actualidad; para determinar los diámetros del rediseño se trabajó a partir de los datos del caudal de diseño y cotas, que sirvió para calcular la pendiente hidráulica crítica, la trayectoria crítica, los diámetros de diseño, caudal en sección llena y pérdidas de carga. Consecuentemente, se presenta la tabla 10-5 en el cual se resumen lo diámetros de diseño, diámetros comerciales, caudales en sección llena, velocidad y pérdidas de carga de cada tramo del sistema.

Tabla 65-5: Resumen del rediseño para las tuberías TB11

| Tramo | D Diseño (m) | D comercial (m) | Qo (m3/s) | Velocidad (m/s) | Pérdidas de carga (m.c.a.) |
|-----------|--------------|-----------------|-----------|-----------------|----------------------------|
| IT-NA | 0,86 | 0,900 | 0,652 | 1,135 | 6,84 |
| NA-NB | 0,86 | 0,900 | 0,652 | 1,135 | 1,12 |
| NB-NC | 0,76 | 0,800 | 0,476 | 1,049 | 2,01 |
| NC-ND | 0,67 | 0,710 | 0,346 | 0,969 | 1,30 |
| ND-NE | 0,43 | 0,450 | 0,103 | 0,715 | 2,23 |
| NE-VMR67A | 0,34 | 0,355 | 0,055 | 0,610 | 0,18 |
| NA-VMR51 | 0,2136 | 0,225 | 0,064 | 1,79 | 19,59 |
| NB-VMR64 | 0,2136 | 0,225 | 0,106 | 2,95 | 19,11 |
| NC-VMR65 | 0,2374 | 0,250 | 0,071 | 1,60 | 4,96 |
| ND-VMR66 | 0,2992 | 0,315 | 0,357 | 5,08 | 7,23 |
| NE-VMR67B | 0,19 | 0,200 | 0,061 | 2,17 | 14,54 |

Fuente: JURECH, 2021

Realizado por: Autores, 2021

Para el rediseño se cambió el tipo de material de acero y asbesto y se propuso tubería de PVC que soporte una presión nominal de PN12,5 bares que tiene menor rugosidad y evita la oxidación y corrosión con lo cual hace disminuir las pérdidas de carga de 99,44 a 79,16 m.c.a a lo que facilita para que llegue con mayor presión a los reservorios 51, 64, 65, 66, 67A y 67B.

5.6. Mantenimiento del sistema

Se debe realizar un mantenimiento en todos los componentes del sistema de tuberías TB11 como la limpieza de tuberías, válvulas de desfogue, válvulas de aire, válvulas de interconexión, válvulas mariposa, medidores de Venturi y el desarenador.

5.6.1. Mantenimiento del desarenador

Para realizar el mantenimiento del desarenador se debe considerar la geometría del desarenador para lo cual se esquematiza a continuación.

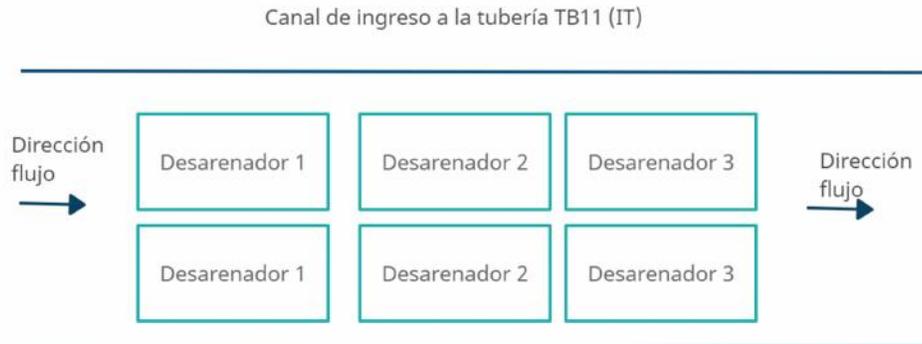


Figura 39-5. Esquema de conjunto de trayectorias de desarenador.

Fuente: Autores, 2020

Se debe calcular la profundidad máxima de almacenamiento de lodos que debe ser 1/10 la longitud del desarenador (Castro, et al., 2019). Por lo que la profundidad máxima de almacenamiento de lodos debe ser de:

Datos:

L_D : 13 m

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{L_D}{10}$$

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{13}{10}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 1,3 \text{ m}$$

$$H = \frac{(L_D * V)}{Vh}$$

$$H = \frac{13 * 0,01154}{0,16}$$

$$H = 0,94 \text{ m}$$

Realizando la visita in situ según los operarios se observó que al cabo de un mes la altura de sedimento es de 1,20 m, la cantidad almacenada en esa altura se puede desarenar en un tiempo aproximado de dos horas, se puede reducir el tiempo empleando dos bombas eléctricas que ayudarían a agilizar el proceso de limpieza, sin embargo, para mantener un sistema con la menor cantidad de arena en el agua se debe repetir el proceso de limpieza del desarenador una vez cada semana dependiendo del estado de sedimentos presentes en el desarenador y procurando q no sobrepase la altura de 94 cm de sedimento. (UNATSABAR, 2005)

5.6.2. Válvulas de desfogue y de interconexión.

Se debe realizar un mantenimiento correctivo de las válvulas de compuerta para lo cual se sugiere realizar las siguientes acciones de manera inmediata.

- Ñ Delimitar un área de protección para la cámara de la válvula de desfogue para evitar la corrosión y deterioro de la obra civil.
- Ñ Limpiar la maleza del área delimitada en la cámara de válvula de desfogue para evitar el deterioro de la obra civil.
- Ñ Limpieza escombros y sedimentos dentro de la cámara de la válvula de desfogue.
- Ñ Realizar el mantenimiento preventivo de las compuertas de todas las válvulas de desfogue (engrasado de bisagras, pintado, etc.)
- Ñ Cambiar el tramo de la tubería corroída en las válvulas VD9, VD11, VD16.
- Ñ Reactivar la válvula de desfogue 12 en el tramo NC(R65)-ND(R66), la válvula de desfogue del reservorio 65 (VDR165) y la válvula de desfogue del reservorio 67B (VD1R67B), del reservorio para evitar la acumulación de sedimentos y taponamientos de la tubería.
- Ñ Realizar el mantenimiento correctivo de construir la tapa metálica de la cámara de protección en la válvula de desfogue 14 y en consecuencia evitar la presencia de agua lluvia y oxidación en tubería y la válvula.

Estas válvulas deben habilitarse al menos una vez al mes, excepto las que prestan el servicio del agua de riego a los mini proyectos San Luis, San Jacinto, Romero, Pedro Loma, 9 de octubre y 11 de noviembre que toman el agua de riego de las válvulas de desfogue 4, 5.1, 5.2, 6, 7 y 8 respectivamente, estas son abiertas cada fin de semana por un periodo de 36 horas aproximadamente.

Se recomienda realizar una inspección visual de las válvulas de compuerta específicamente en la empaquetadura y en las juntas de las bridas, si se observan fugas se deben cambiar la empaquetadura, o la junta de las bridas conforme lo sugiera el fabricante.

5.6.3. Válvulas de aire

Se debe realizar las acciones correctivas de manera inmediata en los siguientes aspectos:

- Ñ Se debe reconstruir la obra civil en las válvulas de aire VA2, VA6, VA10, VA13,
- Ñ Reubicar la válvula de aire VA9 ya que el suelo ha sido removido y puede presentarse deslizamiento de tierra
- Ñ Cambiar la tubería que presenta corrosión y está conectada con la válvula de aire 11 (VA11).

- Ñ En la válvula de aire 6 (VA6) y la válvula de aire 3 del reservorio 51 (VA3R51) se debe limpiar el exceso de sedimento existente dentro de la cámara de la válvula de aire.
- Ñ En las válvulas de aire 14 y 16 (VA14 y VA16) se debe colocar la tapa metálica para evitar la prematura oxidación en la tubería de la válvula de aire.
- Ñ Reubicar a la vereda la VA4R51 ya que se encuentra en medio de la calle.

Además, se debe realizar una inspección visual periódicamente sobre los siguientes aspectos, disminución del flujo, fugas a los costados o no es uniforme en el orificio de salida, de no ser este el caso el mantenimiento se debe realizar cada 7 años.

5.6.4. Protecciones catódicas

Para el mantenimiento de las protecciones catódicas se deben realizar un estudio de repotenciación en la central, se conoce que se encuentra en funcionamiento por revisiones que realiza un profesional en la materia, pero debido a que los ánodos de sacrificio en algunas protecciones como en la 2P y 5P se observó que cumplieron con su tiempo de vida útil y otras tienen malas condiciones en su estructura además que no se ha realizado el mantenimiento de cada cajetín, se recomienda realizar este estudio lo más rápido posible para disminuir la oxidación y corrosión en la tubería.

5.6.5. Protecciones para Tubería PVC.

La tubería PVC no requiere ninguna protección de recubrimiento, lo cual ahorra gastos en comparación a la tubería metálica que necesita recubrimiento anticorrosivo. Además, está diseñada para trabajar enterrada para lo cual la altura de la zanja debe ser mínimo de 0,6 m, para caso de no existir tráfico superior, y de mínimo 1 metro en caso de que esté sometido a tráfico rodado. Y la anchura mínima de zanja está determinada por la siguiente tabla. (MOLECOR, 2020)

Tabla 66-5: Anchura mínima de zanja

| DN (mm) | Anchura de zanja (mm) |
|----------------|------------------------------|
| 90-250 | 0,6 |
| 315 | 0,85 |
| 355 | 1,1 |
| 400 | 1,1 |
| 450 | 1,15 |
| 500 | 1,2 |

| | |
|------|------|
| 630 | 1,35 |
| 710 | 1,6 |
| 800 | 1,65 |
| 900 | 1,75 |
| 1000 | 1,85 |
| 1200 | 2,05 |

Fuente: MOLECOR, 2020

Realizado por: Autores (2021)

5.6.5.1. Anclajes

Las tuberías están sujeta a la presión hidrostática que genera una fuerza de empuje en codos, tes, reducción de diámetro, cambios de dirección para lo cual se recomienda utilizar anclajes como lo muestra la figura:

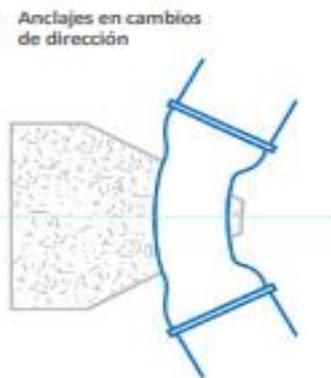


Figura 40-5. Anclaje de dirección

Fuente: Autores, 2020

Estos anclajes no deben tocar las juntas ya que se debe verificar las fugas de agua en las pruebas hidráulicas. Además, la fuerza de empuje se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$F = K * P * D$$

Donde:

Fuerza: en (Kg)

P: Presión en (bar)

D: Sección (cm²)

K: Coeficiente

Tabla 67-5: Valores de coeficiente K

| Descripción | K |
|-------------------------|--|
| Tapone ciegos y T a 90° | 1 |
| Reducciones | $K = 1 - \frac{S_1}{S_2} \frac{m}{M}$ |
| Cambios de dirección | $K = 2 * S \left(\frac{\beta}{2}\right)$ |

Fuente: (MOLECOR, 2020)

Realizado por: Autores (2021)

5.6.6. Válvulas Mariposa de ingreso al reservorio

Son válvulas que no necesitan de abundante lubricación y en caso de desperfectos en las componentes como vástago, disco, asiento, buje y sello de vástago que pueden ser remplazados cuando el sistema estas despresurizado.

Se debe asegurar de su correcto funcionamiento con una inspección visual periódica de operación y cierre satisfactorio. (EMERSON, 2017).

5.7. Comparación de diámetros, pérdidas del sistema actual y rediseño

En el sistema actual se cuenta con diámetros de 800 mm y 600 mm en la tubería principal, existen diámetros entre 300 mm – 450 mm para los ramales, el material para la línea principal es de acero comercial y para los ramales son de asbesto; en el rediseño se consideraron las especificaciones bajo las cuales funciona el sistema en la actualidad, se considera un caudal característico de 0,4 l/s. el material considerado es tubería de PVC para todo el sistema, los diámetros que se necesitan son de 855 mm, 760 mm, 675 mm, 475 mm y 337 mm en la trayectoria de la tubería principal y en los ramales se requiere de diámetros entre 190 mm – 299 mm.

Tabla 68-5: Resumen comparativo de diámetros y pérdidas del sistema actual y rediseño

| Sistema TB11 | | Tubería actual | | | Tubería de rediseño | | |
|--------------|-----------|----------------|---------|------------|---------------------|-----------|------------|
| Ref. | Tramo | D(m) | Q(m3/s) | hl(m.c.a.) | Diseño (m) | Qo (m3/s) | hl(m.c.a.) |
| IT | | | | | | | |
| NA (VIR51) | IT-NA | 0,8 | 1,575 | 54,82 | 0,855 | 0,652 | 6,84 |
| VMR51 | NA-VMR51 | 0,35 | 0,124 | 11,37 | 0,214 | 0,064 | 19,59 |
| NB (VIR64) | NA-NB | 0,8 | 1,408 | 7,30 | 0,855 | 0,652 | 1,12 |
| VMR64 | NB-VMR64 | 0,25 | 0,054 | 4,80 | 0,214 | 0,106 | 19,11 |
| NC (VIR65) | NB-NC | 0,8 | 1,172 | 9,60 | 0,760 | 0,476 | 2,01 |
| VMR65 | NC-VMR65 | 0,3 | 0,055 | 1,60 | 0,237 | 0,071 | 4,96 |
| ND (VIR66) | NC-ND | 0,8 | 0,793 | 3,02 | 0,675 | 0,346 | 1,30 |
| VMR66 | ND-VMR66 | 0,45 | 0,152 | 0,31 | 0,299 | 0,357 | 7,23 |
| NE (PC8) | ND-NE | 0,6 | 0,334 | 4,40 | 0,43 | 0,103 | 2,23 |
| VMR67A | NE-VMR67A | 0,3 | 0,046 | 0,32 | 0,337 | 0,055 | 0,18 |
| VMR67B | NE-VMR67B | 0,35 | 0,094 | 1,90 | 0,190 | 0,061 | 14,54 |

| | | | | | |
|--|--|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| | | Total pérdidas | 99,44 | Total pérdidas | 79,16 |
|--|--|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|

Fuente: JURECH (2020)

Realizado por: Autores, 2020

5.8. Análisis de costos

Se analizan los costos de válvulas y tuberías que fueron obtenidos del distribuidor comercial Mundo Riego; para la instalación, excavación y relleno de zanjas se referenció de los costos estimados para el Proyecto Sanitario Mapasingue Este.

Tabla 69-5: Descripción de costos aproximados de tubería, válvulas, instalación y excavación

| Rubro | Descripción | Unid. | Cant. | P. Unitario (USD) | P. Total (USD) |
|-----------------------------|--|----------------|----------|-------------------|-------------------|
| 1 | excavación de zanja | m ³ | 79597 | 19,85 | 1580002,68 |
| 2 | Tubería 900mm | m | 6100,05 | 57,05 | 348007,85 |
| 3 | Tubería de 800 mm | m | 1604 | 52,27 | 83817,64 |
| 4 | Tubería de 710mm | m | 1194,1 | 34,23 | 40874,04 |
| 5 | Tubería de 450mm | m | 2171,6 | 20,09 | 43627,44 |
| 6 | Tubería de 355 mm | m | 124 | 10,27 | 1273,45 |
| 7 | Tubería de 225mm | m | 2233,4 | 4,13 | 9223,53 |
| 8 | Tubería de 250mm | m | 536,26 | 4,91 | 2630,67 |
| 9 | Tubería de 315 mm | m | 56 | 7,81 | 437,36 |
| 10 | Tubería de 200 mm | m | 768,64 | 3,17 | 2437,75 |
| 11 | Válvulas de aire de doble efecto de 80 mm | unid | 18 | 433 | 7794,00 |
| 12 | Válvula de compuerta de 110 mm | unid | 6 | 228,20 | 1369,19 |
| 13 | Válvula de compuerta de 160 mm | unid | 14 | 327,63 | 4586,81 |
| 14 | Válvula mariposa de 800 mm | unid | 1 | 9169,16 | 9169,16 |
| 15 | Válvula de interconexión de 355mm | unid | 1 | 2606,58 | 2606,58 |
| 16 | Válvula de interconexión de 315 mm | unid | 1 | 1141,75 | 1141,75 |
| 17 | Válvula de interconexión de 250mm | unid | 1 | 658,63 | 658,63 |
| 18 | Válvula de interconexión de 225 mm | unid | 2 | 658,63 | 1317,25 |
| 19 | Válvula de interconexión de 200 mm | unid | 1 | 566,15 | 566,15 |
| 20 | Medidores de Venturi de 355 mm | unid | 1 | 500,00 | 500,00 |
| 21 | Medidores de Venturi de 315 mm | unid | 1 | 500,00 | 500,00 |
| 22 | Medidores de Venturi de 250 mm | unid | 1 | 500,00 | 500,00 |
| 23 | Medidores de Venturi de 225 mm | unid | 2 | 500,00 | 1000,00 |
| 24 | Medidores de Venturi de 200 mm | unid | 1 | 500 | 500,00 |
| 25 | Válvulas mariposa de 355 mm | unid | 2 | 18413,05 | 36826,10 |
| 26 | Válvulas mariposa de 315 mm | unid | 2 | 1056,00 | 2112,00 |
| 27 | Válvulas mariposa de 250 mm | unid | 2 | 813,19 | 1626,37 |
| 28 | Válvulas mariposa de 225 mm | unid | 4 | 594,41 | 2377,64 |
| 29 | Válvulas mariposa de 200 mm | unid | 2 | 543,41 | 1086,82 |
| 30 | Rellenos de zanjas con material especificado en catalogo | m ³ | 79597 | 9,84 | 783235,58 |
| 31 | Instalación de tubería | m | 14787,02 | 4,77 | 70534,09 |
| Total cotos directos | | | | | 3042340,54 |
| | Administración | | 15% | | 456351,08 |

| | | | | | |
|--------------------------|-------------|--|----|--|-------------------|
| | Imprevistos | | 5% | | 152117,0 |
| Total presupuesto | | | | | 3650808,65 |

Fuente: (Mundoriego, 2021), (Singueza, 2014)

Realizado por: Autores, 2021

De este modo un presupuesto aproximado de la instalación del sistema de tuberías es de \$ 3' 650 808, 65 dólares americanos.

5.8.1. Costo de señalización

Tabla 70-5: Descripción de costos de señalización

| Descripción | Cantidad | P. Unitario (USD) | P. Total (USD) |
|--------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------|
| Señalética | 11 | 35 | 385 |
| Instalación | 11 | 9 | 99 |
| Total | | | 484 |

Fuente: JURECH (2021)

Realizado por: Autores, 2021

Por lo tanto, el costo de la señalética es de \$ 385,00 dólares americanos y el costo de instalación es de \$ 99,00 dólares americanos lo cual nos dan un total de \$ 484,00 dólares americanos para ubicar la señalética.

CONCLUSIONES

- Ñ Se evaluaron las condiciones actuales del sistema de tuberías TB11 en el cual se identificaron 75 accesorios, de los cuales 35 de ellos o lo que respecta al 46,66 % presentan alguna inconformidad como: la obra civil en mal estado, exceso de sedimentos en las cámaras de las válvulas de desfogue y de aire; por consiguiente, causa oxidación y corrosión además de fugas de agua en algunas válvulas.
- Ñ Mediante la visita in situ se recopiló información de datos técnicos, coordenadas y cotas de los accesorios. La información se utilizó en el trazado de la trayectoria de la TB11. No existe documentación del diseño de la trayectoria real debido al transcurso de los 25 años que tiene funcionando el sistema.
- Ñ Para aumentar el tiempo de vida útil de la tubería TB11 se debe limpiar el desarenador una vez por semana para retirar alrededor de 600 m³ de arena, de manera que éstos no ingresen a las tuberías. Se debe repotenciar las protecciones catódicas para evitar la corrosión galvánica en la tubería enterrada, colocar señalética para proteger la estructura de la red del sistema, organizar un mantenimiento preventivo a todas las válvulas de desfogue, aire, de interconexión y mariposa para evitar el desgaste.
- Ñ Se evaluaron las trayectorias en donde se encontró que la tubería principal en la válvula de aire 2 (VA2) se encuentra muy cerca de una vivienda. Debido a que no se encontró ningún otro inconveniente, se mantiene la trayectoria de la tubería principal, en tanto se hace factible en los ramales 65 y 67B, pues se encontraron dos viviendas que se encuentran sobre la tubería para lo cual se propuso la trayectoria siguiendo la vía de segundo orden para evitar las construcciones en tiempo de vida útil de 50 años para tuberías.
- Ñ Se colocaron la señalética en 11 puntos que se consideraron importantes para la tubería principal y ramales ya que presentan algún inconveniente como construcción de viviendas, futuras urbanizaciones y posibles excavaciones cercanas a la tubería. Se presentan las evidencias en el anexo I “Colocación de señalética”
- Ñ Se rediseñó la tubería considerando el material de PVC que soporta una presión nominal PN12,5 bares y la pendiente hidráulica de los nodos, con una presión mínima de 15 m.c.a para los reservorios. De esta manera se obtuvieron los **diámetros** de 855 mm, 760 mm, 675 mm, 430 mm y 337 mm en la tubería principal IT-VMR67A y en los ramales se requiere de diámetros entre 190 mm – 299 mm.

RECOMENDACIONES

- Ñ Realizar una lista de inconvenientes que se presentan en los accesorios y componentes de la tubería TB11, ya que analizando el estado en que se encuentran estos, se evalúa su condición y se genera las soluciones para mejorar la eficiencia del sistema.
- Ñ Se debe realizar un recorrido inicial identificando los principales accesorios y componentes hidráulicos de la tubería, para que en la segunda inspección se realice un recorrido más a fondo tomando coordenadas, cotas, especificaciones técnicas, y hacerlo de manera secuencial para evitar posibles errores al momento de transcribir la información. En un sistema por ramales se recomienda realizar el levantamiento de información en dos partes, una es la tubería principal y después la información de los ramales.
- Ñ Se debe determinar las medidas de aprovechamiento del sistema en condiciones actuales, para evitar efectos de desgaste prematuro de las tuberías y pérdidas de carga que disminuyen la cantidad de caudal que circula dentro del sistema de tuberías.
- Ñ Para seleccionar una trayectoria nueva se debe considerar aspectos cualitativos como técnicos, de tal manera que se pueda comparar con problemas actuales de asentamiento de construcciones sobre la tubería.
- Ñ Realizar una visita in situ de toda la trayectoria y ramificaciones de la tubería para identificar los posibles puntos de alto riesgo o peligro.
- Ñ Utilizar el método de cálculo de diámetros teóricos que cumplan con todos los requerimientos del sistema, además se debe escoger tuberías que existan en catálogos y que cumplan con la presión mínima de trabajo que debe soportar el sistema.
- Ñ Realizar la repotenciación de las protecciones catódicas de todo el sistema de tubería TB11
- Ñ En el tramo del paso elevado (tubería expuesta) ubicada en las coordenadas 17M 761336E 9808318N y 17M 76133E 9808367N se debe identificar el tipo de fluido que circula por la tubería, en este caso agua, por lo que se debe pintar con color verde y bajo las especificaciones de la INEN 440 Colores de Identificación de Tuberías
- Ñ La JURECH juntamente con el GAD municipal de Riobamba deben establecer ordenanzas sobre la tubería TB11 para que ayude evitar la construcción de cualquier infraestructura a lo largo trayectoria de la tubería.

Ñ Llevar un registro de los caudales de ingreso al sistema de tuberías para evaluar la disminución de caudal con respecto al tiempo y así identificar de mejor manera las pérdidas de carga del sistema.

GLOSARIO

Altura piezométrica: Es la altura de sección transversal con respecto a un nivel de referencia. (Arnalich, 2008)

Cota: Elevación de la superficie terrestre considerada desde la superficie del nivel de mar (Alonso, 2016).

D Diseño: Diámetro interior de la tubería escogido de catálogo (Bolaños, et al., 2017, p.109).

D teórico: Diámetro calculado con la ecuación de Manning (Bolaños, et al., 2017, p.108).

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2020).

JURECH: Junta de riego Chambo - Guano - Los Chingazos (UNIDOS POR LA VIDA, 2018).

Qo: Caudal en sección llena calculado en base a la Ecuación de Manning (Bolaños, et al., 2017, p.109).

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, Andrea. *Ecuación de continuidad* [blog]. Academia.Edu. [Consulta: 19 de Octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.academia.edu/24608124/ECUACION%20DE%20CONTINUIDAD>.

ALONSO, Diego. *Cómo generar un perfil topográfico con ArcGIS* [blog]. MappingGis, 2016. [Consulta: 27 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://mappinggis.com/2015/12/como-generar-un-perfil-topografico-con-arcgis/>.

APOLONIO, Iris. *Guía de Bernoulli 4MEDIO* [blog]. Colegio Creación, 2020. [Consulta: 25 de Noviembre de 2020] Disponible en: http://www.colegioscreacion.cl/archivos/documentos/20200320202246_4-MA-Fisica-Guia-1.pdf.

ARNALICH, S. *Abastecimiento de agua por gravedad* [En línea]. ISSUU 2008. [Consultado: 16 de Noviembre de 2020.] Disponible en: <https://issuu.com/arnalich/docs/ligrav>.

ASAMBLEA NACIONAL DE ECUADOR. Constitución de la República del Ecuador [En línea]. Montecristi-Ecuador, 2008. [Consulta: 25 de Octubre de 2020.] Disponible en: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf.

BANCO MUNDIAL. *El agua en la agricultura* [blog]. bancomundial.org, 2020. [Consulta: 19 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>.

BOLAÑOS, Stalin & ANRANGO, Byron. Rediseño del canal de riego La Victoria ubicado en las parroquias San Roque, Atuntaqui, Chaltura, Natabuela e Imbaya del cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregadro) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2017. [Consultado: 2020-10-25]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13740>.

BRIERE, F. *Distribucion del agua potable y colecta de desague y agua lluvia* [En línea]. Canada, 2005. [Consultado: 24 de Noviembre de 2020.] Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=kgXhjH-vZ78C&pg=PA26&dq=linea+de+gradiente+hidraulica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjf656ZpJntAhWKGfKfHUQyDXcQ6AEwA3oECAUQA#v=onepage&q=linea%20de%20gradiente%20hidraulica&f=false>

CAIZA, Alex. Diseño de un sistema de riego por aspersión, incorporando estructuras de tratamiento preventivo, con un manual de operación y mantenimiento, en la comunidad “El Galpón”, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregadro) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2017. [Consulta: 2020-10-22]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25829>.

CASTRO, Andres Felipe; OLIVARES, Manuel Antonio & ROZO, Oriana Valery. Evaluación del sistema de lavado de los desarenadores convencionales y Doufour mediante el cálculo del volumen muerto a través de modelos hidráulicos. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregadro) Universidad Cooperativa, Pasto, Colombia, 2019. [Consulta: 2021-02-12.] Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11252/1/2019_evaluacion%20del%20sistema%20de%20lavado.pdf.

CENGEL, Y & CIMBALA , J. *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y aplicaciones.* México: McGraw-Hill Interamericana, 2006. 970-10-5612-4.

CHERRY, Estephani & LOPEZ , Julieth. Sistema de desarenación hidráulica mediante fuerza centrífuga de flujo continuo y autolavable [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregadro) Universidad Piloto de Colombi, Bogota, Colombia, 2017.[Consulta: 2020-25-11]. Disonible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5753/DEEFUCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CRANE. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.* México : Mc Graw-Hill, 1992.

DOMINGO, Agustín Martín. 2011. *Apuntes de mecanica de fluidos* [En línea]. Madrid-España: s.n., 2011. [Consultado: 26 de Noviembre de 2020.] Disponible en: <http://oa.upm.es/6531/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>

ECURED. *Ecuación de Bernoulli* [blog]. EcuRed [Consulta: 25 de octubre de 2020]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Ecuaci%C3%B3n_de_Bernoulli.

EMERSON. *KEYSTONE Válvula Mariposa figura 55, Instrucciones de instalacion y mantenimiento* [En línea]. 2017. [Consultado: 11 de 02 de 2021]. Disponible en: <https://www.emerson.com/documents/automation/manuals-figura-55-v%El1vulas-de-mariposa-keystone-es-es-5193916.pdf>.

GÓMEZ, V. *Fuente de abastecimiento y Obra de capatacion* [En línea]. ISSUU, 2016. [Consultado: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://issuu.com/vicentegomez8/docs/libro-texto-hidraulica-de-tuberias..>

GONZALEZ SANTANDER , J & CASTELLANO ESTORNEL, G. 2014. *Fundamentos de mecánica de fluidos* [En línea]. Alicante-España: ECU, 2014. [Consulta: 20 de noviembre de 2020] Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/43692?page=18>

GOOGLE EARTH. *Trayectorias actual y propuestas del ramal 65* [Blog]. Google earth.2021 [Consultado: Enero de 2021]. Disponible en: https://earth.google.com/web/search/1%c2%b041%270.038%27%27S+78%c2%b037%273.007%27%27W/@-1.68345596,-78.61633285,2750.52636767a,549.47148709d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCQAsmyXnyvq_EU KactLxFPu_GWiKlwkuplPAIZD6R5-1qFPA.

INGENIERÍA DE FLUIDOS. *Valvulas de aire, Descripción funcionamiento y usos* [blog]. 2016. [consulta: 23 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-de-aire#:~:text=Permite%20el%20egreso%20de%20aire,en%20r%C3%A9gimen%20de%20la%20conducci%C3%B3n..>

INNOVATIONE AGROFOOD DESIGN. *Sistema de Riego I* [blog]. Innovatione AgroFood Design, 2019. [Consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://innovatione.eu/2019/07/08/riego-agricultura/>.

JURECH. *Informe técnico Chambo Guano.* Riobamba-Ecuador. 2013.

LEITÓN, J. *Riego y drenaje* [En línea]. San José -Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia, 1985. [Consulta: 19 de noviembre de 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=_yuPFwKJ6ywC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

LOACHAMIN, Jefferson Patricio. Diseño y simulación de protección catódica en industria petrolera [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregadro). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2019. [Consulta: 07 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18175/1/UPS%20-%20ST004385.pdf>.

MARTÍNEZ, F. *Introducción al riego* [En línea]. Valencia-España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2014.[Consulta: 13 de noviembre del 2020]. Disponible en:<https://elibro.net/es/ereader/epoch/57382>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Evaluación de necesidades tecnológicas para el manejo técnico del agua de riego* [En línea]. Quito-Ecuador:UNEPDTU, 2013. [Consulta: 10 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://tech-action.unepdtu.org/wp-content/uploads/sites/2/2013/12/evaluacionnecesidadestecnologicas-adaptacion-aguariego-ecuador-13.pdf>.

MOLECOR. *TOM, una nueva generación de tubería PVC Orientado* [En línea]. España, 2020. [Consulta: 12 de Febrero de 2021]. Disponible en: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/197699/TOM-ES-2020_febrero-20-1.pdf.

MONTERO, Jesus. Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Castilla de la Mancha, Ciudad Real-España, 2000. [Consulta: 13 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=cSSINOIAEdkC&pg=PA10&dq=riego+definicion&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwixjqOp8ZPtAhUjSjABHTd5B0cQ6AEwBXoECAgQAq#v=onepage&q=riego%20definicion&f=false>.

MOOT. *Mecánica de fluidos*. México : Pearson Educación, 2006. 976-26-0806-8.

MUNDORIEGO. *Riego profesional online* [blog]. [Consulta: 13 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://mundoriego.es/>.

NARVAÉZ , Washington. Rehabilitación del sistema de agua potable Sambache - Salcoto y diseño de línea de impulsión al tanque de reserva [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador, 2011. [Consultado: 20 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2047>.

NTE INEN 878:2013. Rotulos, Placas y Cuadradas dimensiones.

NTE INEN-ISO 3864-1:2013. Símbolos gráficos. Colores de seguridad y señales de seguridad. Parte 1: Principios de diseño para señales de seguridad e indicaciones de seguridad.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA. *Misión. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y Agricultura* [blog]. 2020. [Consulta: 13 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/about/es/>.

PASCUAL, B & PASCUAL, N. *Riego de gravedad y a presión* [En línea]. Valencia-España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2020. [Consultado: 25 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/167009>

PEREZ, Luis. *Conducción por gravedad* [blog]. 2018. [Consultado: 20 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/conducci%C3%B3n-por-gravedad>.

PREFECTURA CHIMBORAZO. *Folleto informativo del sistema de riego Chamo - Guano en Chimborazo* [En línea]. Riobamba-Ecuador:issuu, 2017. [Consulta: 20 de noviembre de 2020]. Disponible en: https://issuu.com/prefecturachimborazo/docs/armado_riego.

ROCHA, A. *Hidráulica de Tuberías y Canales* [En línea]. 2003. [Consulta: 14 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://luisalderonf.files.wordpress.com/2012/01/hidraulica-de-tuberias-y-canales.pdf>.

ROMERO, Fabián. *Agricultura familiar campesina y riego en la serranía ecuatoriana. Medio siglo de dinámicas territoriales en el sistema de riego Chambo - Guano* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) FLASCO Ecuador, Quito, Ecuador, 2018. [Consultado: 18 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/13553/14/TFLA-CSO-2018FPRJ.pdf>.

ROSSMAN, L. *EPANET. EPANET 2 MANUAL DE USUARIO* [En línea]. 2012. [Consulta: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf.

SALDARRIAGA, Juan; et al. *Software para enseñanza de hidraulica de tuberias* [En línea]. Bogota-Colombia, 2017. [Consulta: 25 de Noviembre de 2020]. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3113745.

SECRETARÍA DEL AGUA. *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua.* Quito-Ecuador : Imprenta Mariscal, 2014. pp. 70- 152.

SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida* [En línea]. Quit-Ecuador, 2017. [Consulta: 25 de Octubre de 2020]. Disponible en: https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/siteal_ecuador_0244.pdf.

SILVA, Angel. *Implementación de un sistema autoamanzado para el reservorio 66 del sistema de riego Chambo - Guano* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Escuela Eperior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2016. [Consulta: 27 de noviembre del 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6118/1/20T00789.pdf>.

SINGUEZA, D. *Tabla de rubros, cantidades y precios.* Guayaquil - Ecuador. 2014. pp. 1- 10.

TELLO, Yessenia. *Análisis y optimización del sistema de riego por aspersión de la junta modular Archiliguango, parroquia de Panzaleo, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, perteneciente al sistema de riego biprovincial Latacunga-Salcedo- Ambato* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2016. [Consulta: 23 de Octubre de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24178>.

TORRES, J. *Dinamica de fluidos* [En línea]. 2020. [Consulta: 23 de Noviembre de 2020.] Disponible en: <https://www.ugr.es/~jtorres/t7.pdf>.

UNATSABAR. *GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES* [En línea]. Lima- Peru 2005. [Consulta 15 de febrero 2021]. disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20procedimientos%20para%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf.

VELA, Ramiro. "JURECH JUNTA DE RIEGO CHAMBO-GUANO CHINGAZOS UNIDOS POR LA VIDA". *UNIDOS POR LA VIDA*, Vol. 1, (2018), (Ecuador), pp. 3-43.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE RIEGO. *La textura en los suelos agrícolas* [blog]. 2019. [Consulta: 15 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.universidadderiego.com/la-textura-en-los-suelos-agricolas/>.

UNIVERSIDAD MAYOR SAN SIMÓN. *Abastecimiento de agua potable* [En línea]. *Slideshare*, 2017. [Consulta: 19 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/jjrc1/capitulo-v-hidraulicadetuberias51co>.

VALSUM. *Valvulas de suministro* [En línea]. Valsum, 2017. [Consulta: 15 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://www.vicalsa.com/wp-content/uploads/2017/09/Catalogo-VALSUM.pdf>.

VILLAFUERTE, Mora Sandra. Diseño de captación, conducción principal, reservorios y redes secundarias del proyecto de riego Cariacu- Romerillos [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2010. [Consulta: 23 de Octubre de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/2666/T-PUCE-3426.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.