

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Historia

La “avenida” es el resultado del intento de construir un ferrocarril que una Villazón con Tarija y llegue hasta Santa Cruz, como parte del confuso tratado por el que Tarija perdió el Chaco Central a favor de Argentina.

“Argentina dijo que iba a construir el ferrocarril y la doble vía Bermejo –Tarija y sólo se inauguró la estación que era el edificio de lo que hoy es el Rectorado pero nunca se llegó a terminar el ferrocarril, sólo se inauguró una línea de buses que hacía servicio a Villazón y eso fue todo”, explica Chávez, para quien todo esto se dio como producto del poco interés de las autoridades por defender los derechos de Tarija y los acuerdos a los que se llegó (Quiroga, 2015, p.1).

1.1.2 Arborización

En marzo de 2018 con la presencia de más de un centenar de estudiantes de los últimos cursos secundarios de las unidades educativas cercanas a la triple vía al Chaco, en la zona de Torrecillas, el Gobierno Municipal mediante la Secretaría de Medio Ambiente y la Unidad Municipal de Juventudes, realizó el plantado de 200 árboles en esa arteria de ingreso y salida de la ciudad.

Esos 200 árboles, que en su plenitud son de la variedad conocida como Carnaval, forman parte del proyecto para plantar cinco mil árboles en los dos kilómetros que tiene esa vía desde la rotonda de ingreso a la zona de Torrecillas hasta la rotonda de vinculación carretera en la zona de El Portillo.

La especie que se ha escogido para la arborización de esta zona es el Carnaval por el color y la belleza que tiene en la época alta turística de Tarija, cuando el Municipio promociona a la capital chapaca como destino de verano a nivel nacional e internacional (REDACCIÓN CENTRAL, 2018, p.1).

1.1.3 Instalación de luminarias

Esta zona de la ciudad debido a la oscuridad en la que se encontraba, era escenario de constantes accidentes de tránsito como choques, atropellos a peatones y animales, como también continuos hechos delictivos a transeúntes que circulaban a lo largo de la avenida, gracias a la luz que ahora cuenta la Triple Vía al Chaco, la seguridad en la zona se incrementará tanto para peatones como para conductores.

“Esta vía de ingreso a la ciudad no contaba con ningún tipo de iluminación, más aún después que se realizó la ampliación de la triple vía hace algunos años atrás; por lo cual en noviembre de 2018 se ha terminado el colocado de las pantallas LED en todo el trayecto que cubre esta importante arteria de la ciudad”.

El burgomaestre tarijeño Rodrigo Paz Pereira (alcalde de turno) apuntó que: "Hemos sido el primer Municipio que hizo una alianza público privada y estratégica, para lograr el financiamiento y conseguir las pantallas y poder pagarlas a plazos, no pagar de golpe y así como Municipio sigamos teniendo platita para otros proyectos y así ir avanzando de a poco, pero a paso seguro", expresó.

Por su parte el encargado de la unidad de Alumbrado Público, Ricardo Rodríguez, informó que son 200 las pantallas LED instaladas en la Triple Vía, y que cada una cuenta con su respectivo poste (El País, 2018, p.1).

Pese a la importancia dada a la avenida en el transcurso de los años, no se implementó ninguna infraestructura de sistema de riego en el tramo planteado (Morros Blancos- El Portillo). La única infraestructura presente es un tanque de 40.000 litros enterrado ubicado al inicio de los jardines en la zona de Morros Blancos (323951,96 m E; 7616393,22 m S), el cual no es aprovechado, ya que fue implementado con el objetivo de que en un futuro sea parte de un sistema de riego tecnificado.

Estos jardines sólo cuentan con un método de riego convencional que consiste en que un camión cisterna de 20.000 litros de capacidad que recorre los 3,62 km de largo mientras una manguera conectada al tanque es operada por un trabajador y va esparciendo el agua para regar las más de siete hectáreas de jardines.

1.2 Descripción del problema

El problema surge en las jardineras de la triple vía de la avenida Panamericana en el tramo de Morros Blancos al Portillo en la ciudad de Tarija-Bolivia cuando se tiene la necesidad de realizar la irrigación semanal de dichas áreas verdes.

Afectando directamente a la población que transita por la zona sur-este de la ciudad cuando circula por allí, ya que se genera el riesgo de sufrir un accidente vehicular al momento que se riega las áreas verdes, ya que la circulación de un camión cisterna en una avenida es un peligro hacia los otros conductores por la reducción del ancho de vía.

Esta área verde sólo cuenta con un método de riego convencional que consiste en que un camión cisterna de 20.000 litros de capacidad recorra los 3,62 km de largo (que corresponden a longitud paralela de las jardineras) mientras una manguera conectada al tanque es operada por un trabajador va esparciendo el agua para regar las más de siete hectáreas de jardines, haciendo varias paradas incrementando la probabilidad de ocurrencia de un accidente de tránsito ya que es una avenida de alta velocidad y debido a que en todo el tramo no existe un lugar de estacionamiento para que el camión cisterna se detenga para realizar la irrigación.

Dada la creciente preocupación global por el cambio climático y sus efectos, la gestión eficiente del agua se ha vuelto crítica en el desarrollo sostenible de las comunidades. En el contexto de Tarija, Bolivia, donde las condiciones climáticas pueden acentuar la escasez de agua, la necesidad de una administración cuidadosa de este recurso es aún más apremiante.

Las áreas verdes no solo contribuyen a la estética urbana, sino que desempeñan un papel crucial como pulmones verdes para la ciudad. Mantener estas áreas no solo es esencial para la calidad de vida de los residentes, sino que también tiene un impacto directo en la salud ambiental de Tarija. Sin embargo, el método actual de irrigación plantea desafíos significativos en términos de seguridad vial y eficiencia en el uso del agua.

Ante este escenario, es imperativo explorar y adoptar nuevas tecnologías de riego que no solo optimicen el consumo de agua, sino que también reduzcan los riesgos asociados con el método actual. La aplicación de sistemas de riego modernos y sostenibles podría no solo mejorar la seguridad vial al eliminar la necesidad de camiones cisterna en constante

movimiento, sino también promover la eficiencia hídrica y la sostenibilidad medioambiental.

La implementación de nuevas tecnologías de riego no solo abordará los desafíos actuales, sino que también sentará las bases para un desarrollo urbano más sostenible y armonioso.

1.3 Planteamiento del problema

¿Cuál es la mejor alternativa económicamente factible para poder implementar un sistema de riego por aspersión en las jardineras de la avenida Panamericana en el tramo de Morros Blancos a El Portillo en la ciudad de Tarija-Bolivia?

1.3.1 Hipótesis

La combinación de alternativas es la opción económicamente factible para poder implementar riego por aspersión en los jardines de la avenida Panamericana en el tramo de Morros Blancos hasta Portillo en la ciudad de Tarija-Bolivia.

1.4 Justificación

La manera en la que actualmente se riegan estas más de siete hectáreas de áreas verdes genera pérdida de tiempo, pero sobre todo ineficiente uso del agua, ya que no cuenta con un sistema de control minucioso de dotación de agua para la irrigación lo que a largo tiempo provoca un desperdicio de agua.

Ocasionando así gastos de operación que a largo plazo son significativos para el municipio, porque el gasto en chofer, uso de maquinaria pesada (camión cisterna), empleados de ornato público al momento de operación. Restringe la frecuencia de tiempo con la que se debería regar los jardines para una óptima conservación debido a los gastos de operación y riesgos mencionados. Más aun tratándose de un tramo de la avenida Panamericana.

Las zonas verdes de las ciudades se convierten en auténticos pulmones que ayudan a reducir la contaminación del aire. Los parques, jardines y arboledas forman pequeños oasis en medio del hormigón, el asfalto; y además regulan la temperatura y la humedad del ambiente.

Como seres vivos, producen oxígeno, filtran la radiación e incluso reducen la contaminación acústica amortiguando los ruidos ocasionados por el tráfico. También ofrecen un ecosistema urbano que ayuda a la conservación de la biodiversidad.

Está demostrado que las áreas verdes reducen el estrés y ayudan a las personas a conectarse con la naturaleza. La contemplación del paisaje y de un entorno natural relaja, fomenta la creatividad y las capacidades afectivas, y reduce la angustia. Son buenas para la mente (Twenergy, 2019)¹.

Para esto es de vital importancia la optimización y calidad de un sistema de riego con un uso eficiente y racional del agua, aspecto a considerar ya que el agua es un recurso natural de valor económico, estratégico y social, además de ser esencial para la existencia y el bienestar humano y el mantenimiento de los ecosistemas del planeta. A pesar de que la tierra aparentemente dispone de una enorme cantidad de recursos hídricos la distribución de agua en el planeta es desigual (Dias, 2018, p.2).

Indiscutiblemente en la actualidad el mantenimiento y conservación de los jardines de ornato público mediante el riego tecnificado reconoce la importancia que tiene para el aspecto, sosiego, valor catastral para posteriormente generar crecimiento urbano valorizado por agradables entornos visuales caracterizados por áreas verdes; es prometedor en la medida en que lo sean el de sus próximas generaciones de ciudadanos gestionando y/o apoyando proyectos para la mejora y conservación de estas áreas verdes. La solución planteada contribuirá a la implementación de un sistema de riego para mejorar y preservar las áreas verdes de este tramo de avenida. Asimismo, los resultados del estudio ayudarán a generar un muy agradable impacto visual por la ciudadanía local y turística debido a que estas áreas verdes se encuentran en la entrada sur de la ciudad.

1.5 Alcance

El alcance del proyecto es a nivel descriptivo; netamente enmarcado en el área de ingeniería civil, elaborando alternativas de diseño de riego las cuales son: riego con implementación de cámaras de riego con 2 tuberías base que abastezcan los hidrantes de cada lado del tramo, riego con implementación de cámaras de riego con 1 tubería base que abastezcan los hidrantes de los jardines del lado derecho con la implementación de bypass en cada cámara para abastecer los hidrantes del lado izquierdo; y como diseño final tomando como base el diseño más conveniente (alternativa 1 vs alternativa2), se establece el diseño del sistema de riego por aspersión para las más de siete hectáreas de

¹ Twenergy. (13 de enero de 2019). Twenergy. Recuperado el 16 de marzo de 2022, de <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/curiosidades/relevancia-zonas-verdes-ciudades/>

área verde de la avenida Panamericana en el tramo de rotonda Morros Blancos-El Portillo.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar el sistema de riego tecnificado por aspersión del área verde en el tramo Morros Blancos - El Portillo, para su operación por parte del departamento de ornato público de la ciudad de Tarija-Bolivia.

1.6.2 Objetivos específicos

- Generar los datos reales necesarios para la elaboración del diseño final.
- Verificar las características mínimas necesarias que debe cumplir la bomba instalada en la cabecera del sistema de riego.
- Determinar el caudal de demanda en base al requerimiento máximo de agua.
- Dimensionar en los diferentes tramos de las tuberías de la red los diámetros de tuberías necesarias para el adecuado funcionamiento del sistema de riego.
- Elaborar el presupuesto de ejecución de cada una de las alternativas para analizar la viabilidad económico para el diseño final.

1.7 Metodología

El diseño metodológico del proyecto es cuantitativo, pues este consiste en la elaboración de alternativas de riego que servirán como base para el diseño final del sistema de riego tecnificado por aspersión para las jardineras de la avenida Panamericana desde la rotonda de Morros Blancos hasta El Portillo, el cual está basado en la recolección, elaboración y procesamiento de información primaria para su análisis.

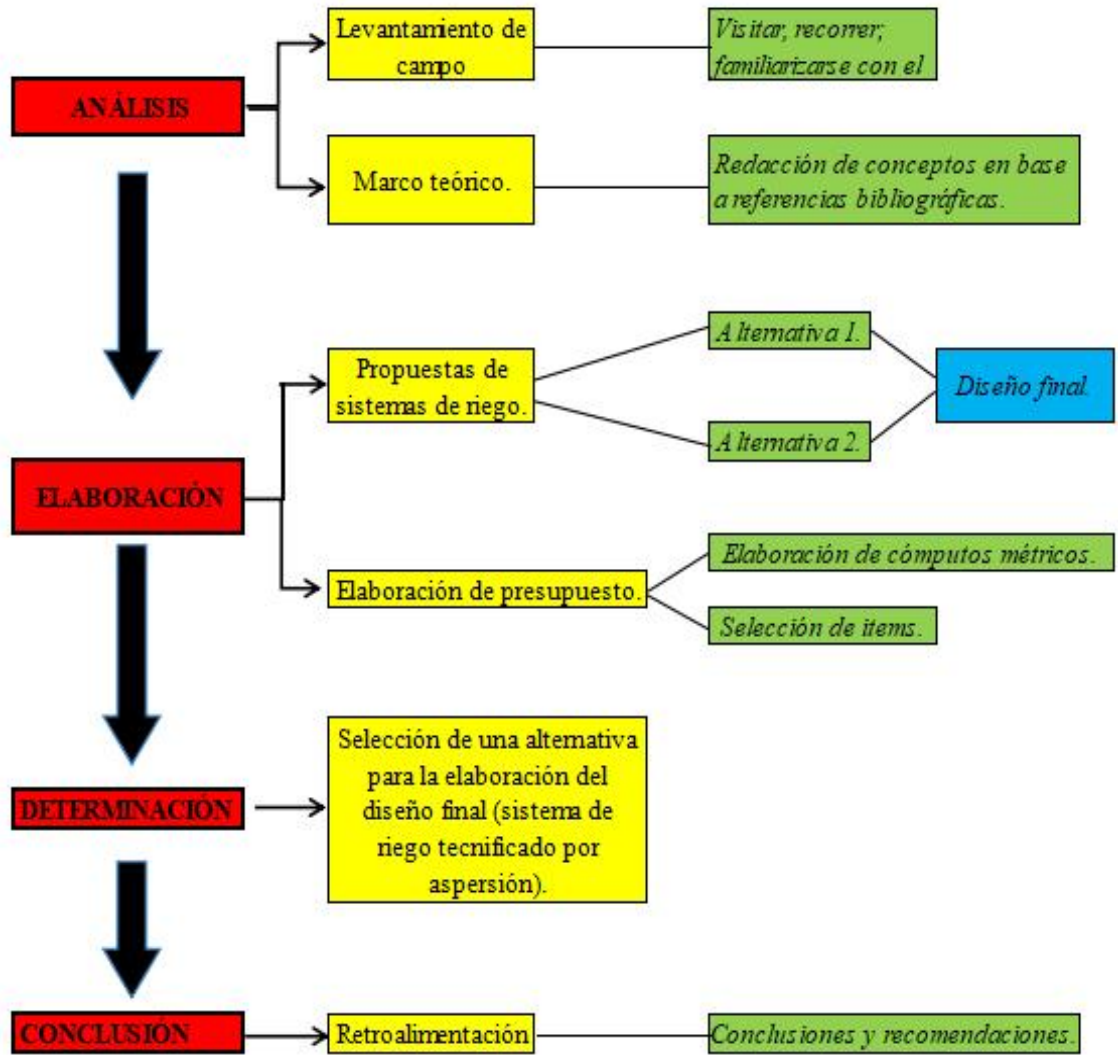


Figura 1. Metodología.
 Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Métodos de riego fundamentales

Delgadillo (2000, p.15), cita los métodos de riego, los cuales pueden ser considerados como la forma en que se aplica el agua a la parcela y los mecanismos que intervienen en ello. Pueden ser:

- Riego por superficie.
- Riego por aspersión.
- Riego por goteo.

En la figura 2 se expone de manera resumida y clara los términos de sistema y métodos de riego.

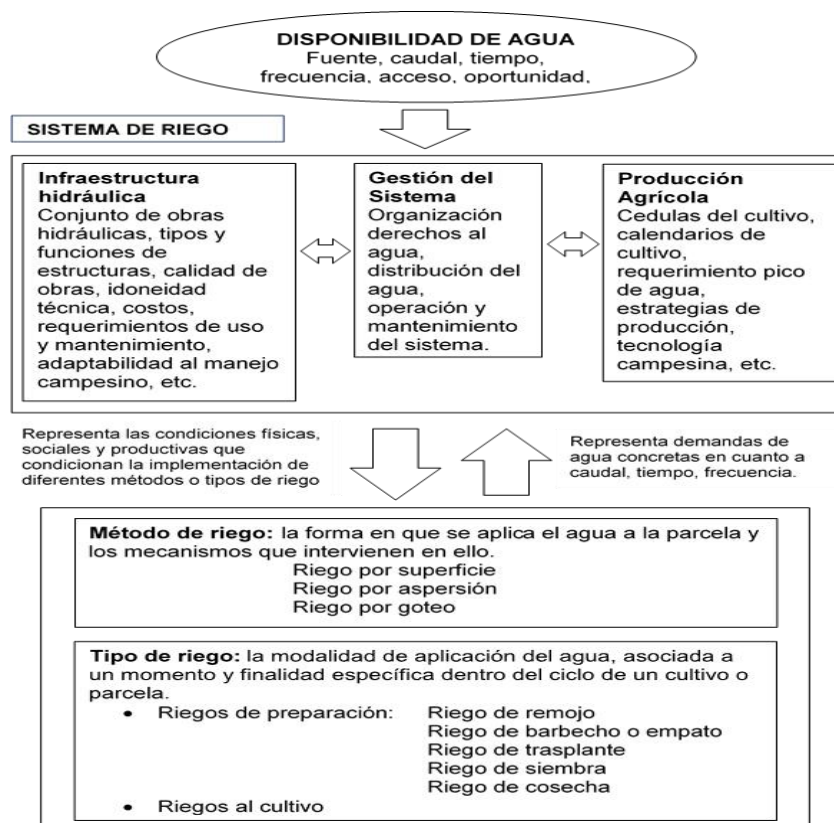


Figura 2. Relación de métodos, tipos de riego y componentes de un sistema de riego.

Fuente: Delgadillo, 2000, p. 18.

Por otra parte, un sistema de riego tecnificado tiene los mismos elementos que un sistema tradicional, pero a consecuencia del cambio de método de aplicación de agua en la parcela que permiten un ahorro de agua, con algunos elementos adicionales: una red de conducción cerrada, una serie de emisores, una fuente de energía y estructuras o equipos auxiliares para controlar presión y calidad física del agua. No obstante, el éxito de este tipo de sistemas depende de la compatibilidad entre la incorporación y aprovechamiento de avances científicos y tecnológicos (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 21).

2.2 Método por aspersión

El riego por aspersión es un método por el cual el agua es distribuida, bajo una presión adecuada, en forma de un gran número de gotas esparcidas en el aire imitando una lluvia artificial más o menos intensa y uniforme por medio de aspersores, con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae. Dependiendo la uniformidad, de la aplicación del agua, del modelo de reparto del aspersor y de la disposición de los aspersores (Tartajuelo ,2005, p.2).

Entre sus principales ventajas respecto al riego por gravedad, (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 169) destaca:

Adaptabilidad: A caudales pequeños, pero continuos, como es el caso de pequeños pozos y minas de agua.

A suelos de textura ligera, de elevada infiltración y baja capacidad de retención, difíciles tanto para el riego de la superficie como para riego por goteo.

A suelos con texturas o perfiles no uniformes y/o suelos poco profundos que no pueden ser nivelados.

A terrenos con topografía ondulada, o en ladera, pero que requieren un cuidadoso diseño y, frecuentemente, reguladores de presión para una adecuada uniformidad de los caudales aplicados.

A la aplicación de riegos pequeños y frecuentes, incluso para la germinación de cultivos que se podrían regar, posteriormente, por gravedad.

Ahorro de mano de obra: Los sistemas de aspersión fijos (de cobertura total) y los laterales móviles eliminan prácticamente las necesidades de la mano de obra, ya que pueden automatizarse totalmente.

Los sistemas de cañón móvil y algunos sistemas estacionarios pueden automatizarse también, y necesitan de poca mano de obra y son de fácil manejo.

Los sistemas de desplazamiento periódico requieren 1 o 2 períodos diarios de trabajo, relativamente cortos, durante los cuales se procede al traslado de la tubería o de los aspersores, no teniendo exigencias de mano de obra especializada.

Economía del agua: que tiene lugar cuando los sistemas están bien elegidos para los cultivos, suelos y parcelas a que van destinados, y están bien dimensionados y funcionan correctamente. En tales condiciones, es posible aplicar las dosis deseadas y evitar pérdidas por evaporación y arrastre por el viento, escorrentía y percolación profunda del agua de riego. Sin embargo, el ahorro del agua respecto a los riegos de gravedad bien diseñados y manejados, sólo, es evidente en el caso de suelos con alta permeabilidad, donde la percolación puede ser muy fuerte.

Por otra parte, los mismos autores indican que sus desventajas y limitaciones que indica (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p.170) son:

Costos elevados: tanto de la inversión, más elevada que en riego de superficie en suelo llanos, como de explotación, destacando los costes de energía para el bombeo, que dependen de la presión requerida por los sistemas.

Limitaciones relativas a la calidad del agua: Porque el uso de aguas salinas en aspersión, mojando hojas y frutos, puede traer consecuencias a la producción; el contacto de las sales con las hojas es frecuentemente tóxico, mientras que las altas concentraciones de bicarbonatos provocan manchas en los frutos.

Cuando se utilizan aguas residuales tratadas, a los problemas debido a las sales transportadas por el agua, se agregan los que se relacionan con la presencia posible de microorganismos patogénicos, que pueden ser transmitidos a los productos y a los trabajadores, siendo entonces causa de problemas de salud pública. Esto limita mucho la adaptabilidad del riego por aspersión al uso de aguas residuales.

Por otra parte, el agua del riego puede contener sales corrosivas de los materiales utilizados en las tuberías y en los aspersores, reduciendo la vida útil de las instalaciones de riego.

Problemas de salinidad: Algunos cultivos (viñas, cítricos y la mayoría de frutales y hortícolas) son sensibles a las concentraciones relativamente bajas de sodio y cloro en

las hojas, normalmente en condiciones de baja humedad relativa del aire, lo que puede provocar la caída de las hojas cuando la concentración de sodio y de cloro en el agua de riego excede 70 ó 105 ppm, respectivamente. El problema puede ser controlado efectuando los riegos en los períodos de mayor humedad atmosférica (por la noche), siendo recomendable, en el caso de frutales, el uso de aspersores para el riego por debajo de las copas de los árboles.

La mayoría de cultivos herbáceos extensivos, forrajeros y pratenses, no siendo tan sensibles a los niveles de cloro y sodio como los cultivos anteriores, pueden ser sensibles a las sales que se depositan en las hojas cuando las gotas se evaporan, lo que ocurre con la aplicación del agua por aspersión y no con otros métodos. En la tabla 1 presenta un resumen de los factores que influyen en la elección de un determinado método de riego.

Tabla 1. Factores que favorecen la elección del método de riego.

Factores	Riego por superficie	Riego por aspersión	Riego por goteo
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto
Suministro de agua	Irregular	Regular	Continuo
Disponibilidad de agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza del agua	No limitante	Sin sólidos	Elevada
Capacidad de infiltración del agua	Baja a media	Media a alta	Cualquiera
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media a baja	No limitante
Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta
Valor de producción	Bajo	Medio	Alto
Costo de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Costo de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad de capital	Baja	Media a alta	Alta
Exigencia en tecnología	Limitada	Media a alta	Elevada

Fuente: Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 113.

2.2.1 Solapamiento entre aspersores

Un aspersor no puede dar lugar a un riego uniforme sobre todo el círculo mojado, debido a que normalmente, la lámina de agua aplicada durante un riego es mayor cerca del aspersor; este modelo de aplicación se observa en la figura 3, pudiendo representarse como un triángulo para un aspersor de impacto. La altura de agua aplicada el área que rodea un aspersor varía con la distancia al mismo (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 175).

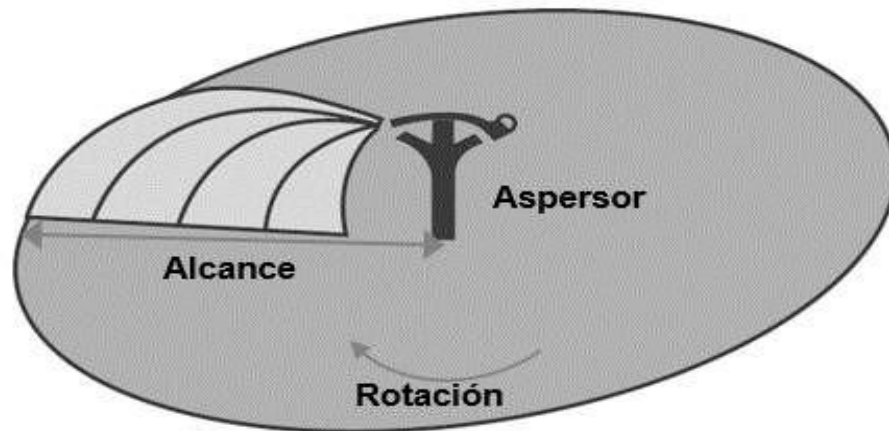


Figura 3. Modelo de distribución del agua en aspersor de impacto.

Fuente: Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 171.

Para lograr una aplicación uniforme evitando espacios secos es necesario colocar varios aspersores funcionando próximos unos de otros, para que sus modelos de aplicación del agua se superpongan, generando modelos de distribución triangulares (figura 4); y señala que este solapamiento suele expresarse en porcentaje o relación entre el alcance del emisor y la parte de éste que es coincidente con el otro emisor (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 175).

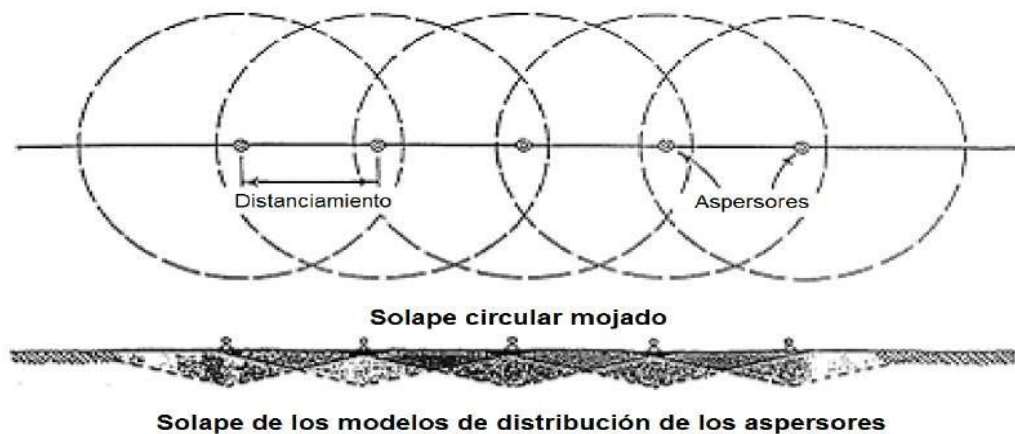


Figura 4. Solapamiento de las áreas mojadas por los aspersores regando en un sistema estacionario.

Fuente: Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 175.

Los diámetros mojados asociados al modelo (o perfil) de distribución deben tenerse en cuenta para la elección del espaciamiento adecuado entre aspersores, como se muestra en la tabla 2 (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 182) .

Tabla 2. Espaciamiento en porcentaje del diámetro mojado (% D_w) sugeridos para los sistemas estacionarios y diversos modelos de distribución pluviométrica bajo velocidades de viento menores a 5 km/h.

Distribución pluviométrica	cuadrangular	triangular	Rectangular
Triangular	55	66	40 x 60
Elíptico	60	66	40 x 60 o 65
Elíptico achatado	40 a 80	80	40 x 80

Fuente: (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 182).

Los perfiles triangular y elíptico son propios de los aspersores de impacto con una o dos boquillas. Los diámetros mojados de los aspersores que constan en los catálogos de fabricación se basan en test efectuados en ausencia de viento y se miden hasta la distancia en que la tasa de aplicación no es inferior a 0,25 mm/h.

En condiciones de campo, con viento de 0 a 5 km h⁻¹, esos diámetros deben ser acortados en un 10%. Realizando una reducción del 2,5% del espaciamiento por cada 1,6 km h⁻¹ por encima de la velocidad del viento de 5 km h⁻¹ (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 182).

2.2.2 Tasa de aplicación o intensidad

La tasa de aplicación, I_a (mm h^{-1}), es la pluviosidad a la que los aspersores suministran el agua cuando están en funcionamiento (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 177).

El aumento del tamaño de la boquilla, o de la presión, y la disminución de los espaciamientos entre aspersores aumentan la intensidad. En general, los fabricantes proporcionan la información necesaria para el cálculo de intensidad, sugiriendo, también, los espaciamientos más idóneos (Tartajuejo, 2005, p. 11).

La tasa de aplicación debe ser menor que la tasa de infiltración del suelo, para evitar problemas de acumulación de agua en la superficie, pérdidas por escorrentía y erosión. La tabla 3 presenta las tasas de aplicación máximas aconsejadas para las condiciones de infiltración, del suelo y la pendiente (Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 178).

Tabla 3. *Tasas máximas de aplicación conforme a la capacidad de infiltración del suelo (expresada por textura y profundidad) y pendiente.*

Perfil y textura del suelo	Tasa máxima de aplicación (mm/h)			
	Pendiente (%)			
	0-5	5-8	8-12	12-16
Suelo arenoso, hasta 1,8 m de profundidad	50	38	25	13
Suelo superficial arenoso sobre horizontes más compactos	38	25	19	10
Suelo areno-limoso, hasta 1,8 m de profundidad	25	20	15	10
Suelo superficial areno-limoso sobre horizonte compacto	19	13	10	8
Suelo franco-limoso, hasta 1,8 m de profundidad	13	10	8	5
Suelo superficial franco-limoso sobre horizonte compacto	8	6	4	2,5
Suelo de textura pesada (limosos a arcillosos)	4	2,5	2	1,5

Fuente: Santos, De Juan, Picornell, y Tartajuelo, 2010, p. 178.

2.2.3 Red de distribución

Se entiende como red de riego al sistema de tuberías que permite la distribución del agua de riego desde el cabezal hasta los emisores de riego colocados junto a las plantas (Hydromatic, 2020)².

2.2.3.1 Tuberías de PVC

El PVC, ampliamente conocido como policloruro de vinilo, es un material formado a partir de la combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Como el resto de los materiales plásticos, este producto es con diferencia el que menos depende del petróleo. Es más, su composición adquiere un mayor porcentaje de sal común (cloro) que de petróleo (etileno). Siendo muy flexible y fácil de trabajar, ahora mismo se convierte en el plástico de menos coste y mantenimiento del mercado (Estació, 2021)³.

2.2.4 Tipo de aspersores

2.2.4.1 Aspersor Hunter serie I-25

Es un aspersor emergente que con una presión de 250 kPa a 550 kPa con una trayectoria de boquilla de 25° tiene un alcance promedio 14m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 18 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,28 m³/h hasta 7,24 m³/h (Hunterindustries, p. 26).

Este tipo de aspersor albergan los principios de los jardines del margen derecho hasta la progresiva 1+400,00 aproximadamente, representados con trazos de riego anaranjados.

2.2.4.2 Aspersor Hunter serie I-20 con boquilla 0,75SR

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 450 kPa, con una trayectoria de boquilla de 25° tiene un alcance promedio 7 m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 7 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,07 m³/h hasta 3,23 m³/h (Hunterindustries, p. 23).

Este tipo de aspersor albergan los principios de los jardines del margen izquierdo hasta la progresiva 1+400,00 aproximadamente, representados con trazos de riego negros.

² Hydromatic. (20 de noviembre de 2020). Sistema de riego Hydromatic. Recuperado el 11 de mayo de 2023, de <https://hydromatic.es/servicios/red-de-riego/>

³ Estació, S. (18 de marzo de 2021). Servei Estació. Recuperado el mayo de 2023, de <https://serveiestacio.com/blog/tubos-de-pvc-usos-y-caracteristicas-basicas/>

2.2.4.3 Aspersor Hunter ECO-04MP2000

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 380 kPa, con una trayectoria de boquilla de 20° tiene un alcance promedio 5,8m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 12 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,03 m³/h hasta 2,65 m³/h (Hunterindustries, p. 53).

Este tipo de aspersor albergan los jardines del margen derecho e izquierdo desde la progresiva 1+200,00 hasta 1+400,00 aproximadamente, representados con trazos de riego rosados.

2.2.4.4 Aspersor PGP-ADJ AZUL

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 450 kPa, con una trayectoria de boquilla de 15° tiene un alcance promedio 10,5m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 10mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,1 m³/h hasta 3,22 m³/h (Hunterindustries, p. 17).

Este tipo de aspersor albergan los jardines del margen derecho e izquierdo desde la progresiva 1+500,00 hasta 3+620,00 aproximadamente, representados con trazos de riego azul.

CAPÍTULO III

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para la viabilidad de un proyecto es necesaria la previa información de los parámetros imprescindibles para el arranque del análisis de su viabilidad, siendo el presente un proyecto de riego es imprescindible contar con una base de datos tanto topográficos, hidrometeorológicos e hidráulicos.

En la particularidad del proyecto, la situación inicial de los jardines de la triple vía al chaco desde la rotonda de Morros Blancos hasta el Portillo no cuenta con ninguna información de lo anteriormente dicho, por lo cual con la colaboración e interés del departamento de ornato público del municipio de Tarija, se gestiona las actividades preliminares para generar tan necesaria e imprescindible información como lo son el levantamiento topográfico, requerimiento de agua para riego de los jardines y sobre todo la fuente de agua que abastecerá el diseño seleccionado.

3.1 Ubicación.



Figura 6. *Ubicación del proyecto.*

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Ubicación administrativa.

- Departamento: Tarija.
- Provincia: Cercado.
- Municipio: Tarija.

3.1.2 Ubicación geográfica.

- Latitud: 21° 33' 20,58"
- Longitud: 64° 41' 13,71"
- Altitud: 1.855 m.s.n.m.

3.2 Levantamiento topográfico

Es importante señalar, que todas las obras de ingeniería de cierta importancia, requieren un “levantamiento topográfico previo”, sobre cuyo resultado se basará el proyecto de la obra. (Battistesa, 2018)⁴.

Siendo esto un conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie terrestre. En todo levantamiento topográfico, se debe señalar y marcar puntos en el terreno; trazar líneas entre tales puntos, medir sus distancias horizontales y verticales, determinar ángulos entre las alineaciones, etc.

Estas tareas son complementadas en gabinete aprovechando los elementos que proporcionan la geometría para mediante el cálculo relacionar entre sí los puntos elegidos y posteriormente representarlos gráficamente, proyectándolos sobre un plano, usando escalas apropiadas.

Una herramienta de mucha ayuda en relevamiento topográficos es el “RTK”, receptor (del inglés Real Time Kinematic) el posicionamiento cinemático en tiempo real.

Esta es una técnica que comúnmente se usa para la topografía, maquinaria agrícola y navegación marina la cual está basada en el uso de medidas de fase de navegadores con señales GPS, GLONASS y/o de Galileo.

Se utiliza para mejorar la precisión de un receptor GNSS autónomo. Los receptores GNSS tradicionales, como el de un teléfono inteligente, solo podían determinar la

⁴Battistesa. (25 de abril de 2018). Battistesa. Recuperado el 08 de mayo de 2023, de <https://www.estudiobattistesa.com.ar/relevamientos.htm#:~:text=Podemos%20definir%20un%20relevamiento%20topogr%C3%A1fico,puntos%2C%20sobre%20la%20superficie%20terrestre.>

posición con una precisión de 2 a 4 metros mientras que con el “RTK” puede ser una precisión milimétrica.

Comúnmente los receptores GNSS miden el tiempo que tarda una señal en viajar desde un satélite hasta el receptor.

Las señales transmitidas viajan a través de la ionosfera y la atmósfera, se ralentizan y perturban en el camino dependiendo de distintas situaciones como pudieran ser las condiciones climáticas.

Justamente por lo anterior es difícil para un receptor independiente determinar con precisión su posición, entrando en juego esta nueva tecnología para resolver el problema. (servis, 2021)⁵.

Generando así un Bench Mark, que es el acrónimo en inglés para referirse a un punto de referencia topográfico con coordenadas y elevación; más conocido como “BM”.

3.2.1 Reconocimiento del terreno.

Primeramente, se recorre los 3,6 km del terreno visualizando los posibles puntos de estacionamiento, para después con la implementación de veintidós estacas establecerlos en el terreno, considerando la visibilidad del punto anterior, posterior y la apreciación del terreno a levantar desde ese punto (cordones, ciclovías, jardines, etc.).

Para así de esta manera poder proceder con las actividades consecutivas y no tener inconvenientes que puedan retrasar el desarrollo de las mismas.

Una vez clavadas las estacas en el terreno, con la ayuda del equipo “RTK” se prosigue a estimar los “BM” para cada una de ellas como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. *Coordenadas geodésicas de estaciones.*

BM	Coordenada este (m)	Coordenada oeste (m)	Altitud ortométrica (m.s.n.m.)
1	324032.0020	7616334.2370	1873.6380
2	324112.1540	7616286.2830	1869.7700
3	324197.3707	7616218.7771	1863.9094

⁵ Servis, T. (01 de noviembre de 2021). Topo servis. Recuperado el 08 de mayo de 2023, de <https://toposervis.com/conoce-el-receptor-rtk-y-sus-funciones/>.

BM	Coordenada este (m)	Coordenada oeste (m)	Altitud ortométrica (m.s.n.m.)
4	324285.4450	7616153.8100	1864.1420
5	324382.8970	7616079.9040	1863.9850
6	324550.8037	7615985.2810	1865.3626
7	324641.2379	7615887.4998	1865.9248
8	324728.0535	7615824.6401	1862.6989
9	324786.9872	7615779.0891	1858.7912
10	324885.6392	7615704.1910	1856.6776
11	324969.8209	7615658.0992	1855.0757
12	325122.1399	7615547.4124	1852.6074
13	325269.2535	7615433.6469	1853.4330
14	325438.7570	7615301.1586	1857.3802
15	325632.5825	7615155.0439	1863.5560
16	325786.7115	7615022.3154	1869.4973
17	325910.8702	7614943.5370	1869.6323
18	326099.7686	7614786.7180	1860.3064
19	326314.4582	7614623.8877	1842.9423
20	326545.1736	7614449.8645	1843.9373
21	326737.3870	7614317.1269	1853.8282
22	326903.1526	7614256.6482	1857.2492

Fuente. Elaboración propia.

3.2.2 Levantamiento

Teniendo ya los puntos de estacionamiento definidos, con la ayuda de los siguientes materiales se realizó el levantamiento topográfico:

Tabla 5.Equipo topográfico utilizado.

Equipo topográfico

Estación total “leica”.

Trípode de aluminio.

Prisma.

Flexómetro.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta puntos imprescindible para el trazo y delimitación de los jardines como ser los cordones de los jardines, extremos de la ciclovía; y para la generación de curvas de nivel puntos intermedios entre los cordones, extremos de las vías. Todo esto señalado en un croquis de todo el terreno a levantar.

Dado el caso de la forma particular del terreno (longitudinal), se emplea la estimación de puntos de manera transversal con una equidistancia entre 20 a 30 metros para la comodidad y precisión del posterior trabajo en gabinete.

3.3 Fuente de agua

Una fuente de agua se refiere al agua de origen (como ríos, arroyos, lagos, embalses, manantiales y aguas subterráneas) que proporciona agua a los suministros públicos de agua potable y a los pozos privados (EPA, 2023)⁶.

En la particular situación, se cuenta con un pozo ubicado justamente en la cabecera de la red de riego a implementar, el cual habilitado ofrece un caudal constante de hasta 4L/s.

⁶ EPA. (20 de marzo de 2023). EPA. Recuperado el 08 de mayo de 2023, de <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-sobre-la-proteccion-de-las-fuentes-de-agua#:~:text=Una%20fuente%20de%20agua%20se,potable%20y%20a%20los%20pozos%20privados.>

Tabla 6. Datos hidráulicos de la fuente de agua.

Características	Cantidad	Unidad
Profundidad de perforación	100	m
Nivel estático	30	m
Nivel dinámico	47	m
Caudal de explotación	4	L/s
Profundidad de instalación de bomba	48	m.

Fuente: Ficha técnica de agua elaborada por LUZAM s.r.l.

3.4 Requerimiento de agua

Se debe conocer la lámina de riego a aplicar de acuerdo a las condiciones climáticas, características del suelo, disponibilidad de agua. En resumen, los momentos y cantidades a aplicar.

Para su estimación contamos con las precipitaciones de la zona, en este caso, se trabajó con los datos hidrometeorológicos de la estación del Aeropuerto de la ciudad de Tarija, Las temperaturas promedio durante todas las estaciones, los requerimientos del cultivo con las características de transpiración, y evapotranspiración de las especies forestales presentes en la zona, la infiltración del suelo y los sistemas de riego que se utilizarán.

3.4.1 Requerimiento hídrico del cultivo.

Para estimar y determinar el requerimiento de agua se utilizó el software ABRO 3.1 (Área Bajo Riego Optimo), el que permite estimar el área de riego potencial considerando información meteorológica (evapotranspiración, precipitación y otros) y la tecnología de riego (caudales y pérdida).se estimó los requerimientos mensuales con lo cual se identifica el mes de abril como el mes más desfavorable, debido a que es el mes que requiere un menor intervalo de riego (detallado en los anexos “intervalos de riego”), el déficit de riego es mayor debido a la casi nula precipitación efectiva de este mes, el volumen de demanda total se presenta en este mes.

Tabla 7. Parámetros de riego.

Intervalo de riego de 3 días.

Cámara	Intensidad	Tiempo de aplicación "Tap"		Horario de riego.		Días	
	(mm/h)	(h)	(hrs:min:seg)	Inicio	final		
A1	9,11	0,8957	00:53:45	06:00:00	06:53:45	TURNO 1	DIA 1
A2	18,53	0,4404	00:26:25	06:53:45	07:20:10		
A3	13,77	0,5926	00:35:33	07:20:10	07:55:43		
A4	14,07	0,5800	00:34:48	07:55:43	08:30:31		
A5	15,66	0,5211	00:31:16	08:30:31	09:01:47		
A6	18,3	0,4459	00:26:45	09:01:47	09:28:32		
A7	15,66	0,5211	00:31:16	09:28:32	09:59:48		
A8	18,47	0,4418	00:26:30	09:59:48	10:26:19		
A9	18,23	0,4476	00:26:51	10:26:19	10:53:10		
A10	18,48	0,4416	00:26:30	10:53:10	11:19:40		
A11	15,65	0,5214	00:31:17	11:19:40	11:50:57		
A12	15,83	0,5155	00:30:56	11:50:57	12:21:52		
A13	18,29	0,4461	00:26:46	13:00:00	13:26:46		
A14	15,95	0,5116	00:30:42	13:26:46	13:57:28		
A15	24,29	0,3359	00:20:09	13:57:28	14:17:37		
A16	18,47	0,4418	00:26:30	14:17:37	14:44:08		
B17	18,65	0,4375	00:26:15	14:44:08	15:10:23		
B19	11,06	0,7378	00:44:16	15:10:23	15:54:39		
B21	15,98	0,5106	00:30:38	15:54:39	16:25:17		
A25	7,28	1,1209	01:07:15	16:25:17	17:32:32	TURNO 1	DIA 2
A29	7,44	1,0968	01:05:48	17:32:32	18:38:21		
A31	7,26	1,1240	01:07:26	06:00:00	07:07:26		
B1	7,28	1,1209	01:07:15	07:07:26	08:14:41		
B7	6,95	1,1741	01:10:27	08:14:41	09:25:08		
B11	5,56	1,4676	01:28:03	09:25:08	10:53:12		
B15	7,29	1,1193	01:07:10	10:53:12	12:00:21		
A34	16,06	0,5081	00:30:29	12:00:21	12:30:50		
A35	7,28	1,1209	01:07:15	13:00:00	14:07:15		
A38	9,49	0,8599	00:51:35	14:07:15	14:58:51		
A41	6,76	1,2071	01:12:26	14:58:51	16:11:16		
A44	8,4	0,9714	00:58:17	16:11:16	17:09:33		
A47	7,47	1,0924	01:05:33	17:09:33	18:15:06		
B23	8,77	0,9304	00:55:50	18:15:06	19:10:55		

B25	8,17	0,9988	00:59:56	06:00:00	06:59:56	TURNO 1	DIA 3
B27	7,47	1,0924	01:05:33	06:59:56	08:05:28		
B30	7,48	1,0909	01:05:27	08:05:28	09:10:55		
B32	8,07	1,0112	01:00:40	09:10:55	10:11:36		
B34	16,16	0,5050	00:30:18	10:11:36	10:41:53		
B35	7,27	1,1224	01:07:21	10:41:53	11:49:14		
B38	8,38	0,9737	00:58:25	13:00:00	13:58:25	TURNO 2	
B41	6,71	1,2161	01:12:58	13:58:25	15:11:23		
B44	8,4	0,9714	00:58:17	15:11:23	16:09:41		
B47	7,08	1,1525	01:09:09	16:09:41	17:18:50		
A17	18,19	0,4486	00:26:55	17:18:50	17:45:45		
A20	10,94	0,7459	00:44:45	17:45:45	18:30:30		

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Disponibilidad de agua para riego

No es nada más que la cantidad de agua con la que se cuenta para riego, de acuerdo al sistema de riego que se emplee dado por la fuente de agua que ofrece un caudal de explotación de 4 L/s.

3.4.3 Tipo de suelo

El cultivo raigrás se adapta bien a un amplio rango de tipos de suelo, siendo los franco o franco-arcillosos los más adecuados para su buen desarrollo. Es tolerante a la compactación del suelo, pero no a los encharcamientos.

Sus tallos crecen como matas espesas (cespitoso), erectos o doblados en los nudos, siendo lisos o ásperos en sus extremos. Sus raíces oscilan entre los 5 cm a 15 cm siendo del tipo adventicias y fasciculadas lo cual les facilita el aprovechamiento del agua superficial que se almacena en los primeros centímetros del suelo (infoAgro, 2019)⁷.

El tipo de suelo del valle central de Tarija son francos arcillosos, arcillo arenosos semipesados a pesados.

⁷ infoAgro, D. a. (22 de agosto de 2019). InfoAgro. Recuperado el 08 de mayo de 2023, de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_raigras__em_lolium__em_spp_.asp.

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS DE SISTEMA DE RIEGO

El departamento de ornato público de la alcaldía de Tarija actualmente no cuenta con ningún sistema de riego instalado a lo largo de los jardines; pero, sin embargo, debido a la urgente necesidad y al presupuesto disponible, mediante consulta y demanda de las autoridades de ornato público, se identifica 2 potenciales alternativas para definir la base del sistema de riego.



Figura 7. Descripción de alterativas.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 Cabecera de la red

Referido a la obra de toma para el abastecimiento de toda la red de riego, cuya determinación es fundamental para el correcto funcionamiento de dicho sistema, tomando en cuenta dos aspectos fundamentales como lo son el pozo y la bomba.

También vale recalcar que la alimentación eléctrica en este punto no es un problema, ya que se cuenta con una fuente de energía trifásica obtenida de la red de alumbrado público, la cual durante el día se encuentra en desuso; y dada la colaboración del departamento de alumbrado público del municipio de Tarija, la habilitación no es ningún problema.

4.1.1 Pozo

Dada la existencia de un pozo en el lugar de arranque de la red, se procedió con su habilitación:

Cuchareo y pisteo de pozo que consiste en extraer el material fino que se encuentra en la parte inferior del filtro a través del embolo y una cuchara.

Compresado del pozo a través de un compresor de aire con una capacidad de 6 kg/cm² a 12 kg/cm² generando una presión mayor a la columna de agua sobrepuesta. Originado la salida de un caudal sólido (caudal con una presencia significativa de sedimento); siendo evacuado a lo largo de varias horas de compresado (10 h aproximadamente). Minimizado ya el caudal sólido se puede dar lugar a la instalación de la electrobomba con la implementación de cañerías de fierro galvanizado de 2”.

Tabla 8. *Características de la electrobomba TYPE ST4013 del pozo.*

Características	Cantidad	Unidad
Caudal de trabajo	8	m ³ /h
Altura máxima	82	m
Potencia	22	kW
Revoluciones	2.900	RPM

Fuente: Ficha técnica de electrobomba por LUZAM s.r.l.

Seguidamente se prosiguió con la instalación del tablero de control de la electrobomba y dar pie al aforo del caudal ofrecido por el pozo con una exigencia media y alta, para corroborar las indicaciones de aforo máximo del pozo.

Tabla 9. *Aforos de pozo con exigencia media.*

N°	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
1	10,27	1,95
2	10,12	1,98
3	9,82	2,04
4	9,92	2,01
5	9,97	2,01

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. *Aforos de pozo con alta exigencia.*

N°	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
1	5,08	3,94
2	4,98	4,02
3	4,92	4,06
4	5,12	3,62
5	5,06	3,95

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Tanque enterrado

Se propuso utilizar el tanque enterrado ubicado a 2 metros del pozo.

Siendo el plan abastecer el tanque con el agua explotada del pozo, utilizándolo como reservorio y controlador de la electrobomba mediante la implementación de un flotador en el tanque, es decir la electrobomba del pozo se apaga cuando el tanque se llene.

Tabla 11. *Dimensiones de tanque enterrado 50m³.*

Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
5	5	2

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Bomba

Teniendo un reservorio con un volumen prácticamente constante, el departamento de ornato público dispone de una bomba centrífuga de 5HP T220-230/380-400V, la cual abastecería a los 3.620 m de longitud de cada ramal.

Tabla 12. *Oferta caudales y presiones de la bomba.*

Presión de trabajo (m.c.a)	Caudal (L/min)
54	210
58.3	190
62	170
66.8	140

70.5	110
71.8	100
73	90

Fuente: Catálogo bombas centrífugas Nocchi CB Agencias generales S.A.

4.2 Alternativa 1

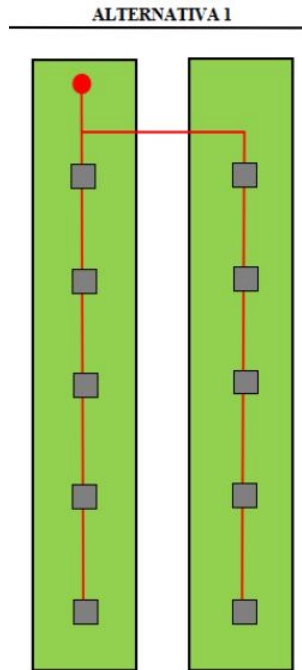


Figura 5. Esquema de alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia.

Esta alternativa se refiere a que en primera instancia se prima el factor económico; por lo cual se opta por un sistema de riego convencional, el cual consta en la implementación de hidrantes equidistantes 80 m entre sí en cada jardín a lo largo de los 3,6 km de cada jardín (izquierdo y derecho).

Dichos hidrantes serán albergados por cámaras de mampostería de ladrillo y alimentados con un caudal medio constante de 1,5 L/s, que escurren por una tubería HDPE de 63mm que equivale a 2 pulgadas de diámetro. La totalidad de estos componentes los denominaremos “ramales”.

En resumen, esta alternativa consta de 2 ramales; como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Componentes principales de alternativa 1.

Componentes	Cantidad por ramal	Cantidad total	Unidad
Cámaras	48	96	pza
Hidrantes	48	96	pza
Longitud de tubería	3.620	7.240	m

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Ramal derecho

Este ramal es referido a los jardines contemplados en el margen derecho de la longitudinalidad del flujo de agua en la red principal de riego, vale decir, los jardines concurrentes en la vía con dirección sureste.

Para la cual se predispone implementar una tubería atóxica de polietileno de alta densidad HDPE (High Density Polyethylene) de 2” en todo este ramal.

Tabla 14. Características de tubería HDPE 63mm para ramal derecho alternativa 1.

Características	Cantidad	Unidad
Peso propio	0,72	kg/m
Presión normal de servicio continuo	100	m.c.a.
Presión máxima de servicio	150	m.c.a. durante 100 h
Vida útil	50	años

Fuente: Ficha técnica proporcionada por Plastiforte Tja.

Las cuales son disponibles en presentaciones enrolladas de 100 m de longitud para la comodidad de su transporte e instalación.



Figura 6. Rollos de tubería HDPE 63 mm.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Especificación de cada rollo de tubería HDPE.

Fuente: Elaboración propia.

El ramal estará completo cuando todos los tramos sean empalmados de manera correcta utilizando las uniones correspondientes, siendo todas iguales ya que el diseño contempla la misma tubería.



Figura 8. Sistema de conexión mecánica para tuberías HDPE 63mm.

Fuente. Hoja técnica de sistema de uniones mecánicas proporcionada por “plastiforte s.r.l.”

4.2.1.1 Paso en puente

En la progresiva 1+395,00 se presenta una consideración a tomar en cuenta, como lo es la presencia de un puente de 25 m de longitud, para el diseño del mismo, se toma en cuenta que por el mismo puente cruzan varias tuberías de PVC de agua potable de 2 “de diámetro soportada con abrazaderas cada 4 metros.



Figura 9. *Tuberías de agua potable.*

Fuente: Elaboración propia.

Con esta consideración, se establece el mismo diseño para el cruce de la tubería sujeta con abrazaderas empotradas con tirafondos cada 3 m debido a su flexibilidad, presentándose los siguientes esfuerzos:

4.2.1.1.1 Carga muerta “D”.

Carga generada por el peso propio de la tubería

$$Peso\ propio = Pp\ tubería * L$$

$$Peso\ propio = 0,72 \frac{kg}{m} * 25\ m$$

$$Peso\ propio = 18\ kg$$

Carga generada por el agua:

$$Peso\ H_2O = Pesp\ H_2O * A(tubería) * L$$

$$Peso\ H_2O = 1000 \frac{kg}{m^3} * (0,031\ m^2) * 25\ m$$

$$Peso\ H_2O = 78\ kg$$

$$D = Pp(tubería) + PH_2O$$

$$D = 18\ kg + 78\ kg$$

$$D = 100\ kg$$

4.2.1.1.2 Esfuerzos admisibles “Q”.

Con una equidistancia de 3,15 m para los soportes, la carga se distribuye a 7 soportes, los cuales consta de una abrazadera de platino de 1”x1/8” empotrado con un tirafondo en cada extremo (2 tirafondos en total) el cual trabaja normalmente con un esfuerzo de hasta 20 kg.

Carga unitaria “d”.

$$d = \frac{D}{N^{\circ}soportes}$$

$$d = \frac{100 \text{ kg}}{7}$$

$$d = 14,3 \text{ kg}$$

Esfuerzo admisible por cada abrazadera “q”.

$$q = q(\text{tirafondo}) * N^{\circ}(\text{tirafndos})$$

$$q = 20\text{kg}/\text{pza} * 2 \text{ pza}$$

$$q = 40 \text{ kg}$$

Esfuerzo admisible “Q”.

$$Q = q * N^{\circ} \text{ abrazaderas}$$

$$Q = 40\text{kg} * 7$$

$$Q = 280 \text{ kg}$$

$$Q > D$$

$$280 \text{ kg} > 100 \text{ kg}$$

4.2.1.2 Cámaras de riego

La sección de la cámara de riego serán todas del mismo tamaño, tendrá dimensiones mínimas recomendables ya que únicamente albergarán un hidrante, dicha sección ofrece practicidad y comodidad para la instalación y mantenimiento del hidrante.

Tabla 15. Dimensiones de cámara de riego.

	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
Exterior	60	60	50
Interior	40	40	50

Fuente: Elaboración propia.

En la particularidad del ramal derecho, cada cámara es denominada con la letra “A”, seguida de su correspondiente número de referencia consecutivo conforme a la progresiva.

4.2.1.2.1 Muros

Los muros que conformarán las cámaras de riego estarán conformados por ladrillos de tipo gambote, adheridos entre sí por un mortero de hormigón con juntas de aproximadamente de 2 cm.



Figura 7. Ladrillo gambote.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16. Material para cámara de riego.

Número de ladrillos	50 pza
Cantidad de mortero	0,04 m ³

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2.2 Hidrante

Debido al diseño de esta alternativa, la manera de riego sería de forma tradicional, vale decir sencillamente se conecta una manguera al hidrante, dichas mangueras constan de una longitud de 50 m, por lo cual tendrían un alcance máximo de hasta 100 m antes de la necesidad de otro hidrante.

Los rollos de tubería HDPE contempladas en el diseño llegan en presentaciones de 100 m, por lo cual se tiene el empalme de las mismas cada 100 m por lo cual una equidistancia entre hidrantes de 100 m se sobrepondría con las uniones de los tramos de la red de riego.

Tomando en cuenta lo previamente remarcado, se concluye una equidistancia de 80 m entre cada hidrante albergados por los muros de las cámaras de riego.

4.2.1.2.3 Tapa

La tapa prevista consta con una sección de 60 cm x 60 cm que debe cubrir toda la cámara, con fines de impedir el ingreso de objetos que puedan comprometer la vida útil o correcto funcionamiento de la misma, y la manipulación de terceras personas ajenas al personal de ornato público.



Figura 8. *Tapa de cámara.*

Fuente. Elaboración propia.

4.2.2 Ramal izquierdo

Este ramal es referido a los jardines contemplados en el margen izquierdo de la longitudinalidad del flujo de agua en la red principal de riego, vale decir, los jardines concurrentes en la vía con dirección noroeste.

Para la cual se predispone implementar una tubería de polietileno de alta densidad HDPE (High Density Polyethylene) de 2” en todo este ramal.

Debido a la similitud de ubicación, cantidad de cámaras, las características como “paso en puente”, “cámaras de riego”, “muros”, “hidrantes”, “tapa de cámaras de riego”, son iguales que en el ramal derecho indicado en el anterior punto.

4.3 Alternativa 2

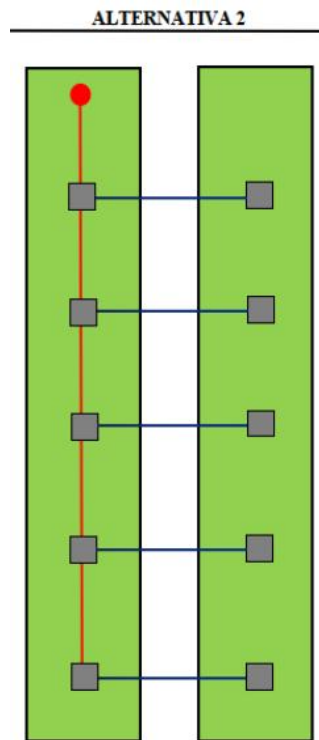


Figura 9. Esquema de alternativa 2.

Fuente. Elaboración propia.

De igual manera, en esta alternativa en primera instancia se prima el factor económico; por lo cual se opta por un sistema de riego convencional, el cual consta en la implementación de hidrantes equidistantes 80 m entre sí en cada jardín a lo largo de los 3,6 km de cada jardín (izquierdo y derecho).

Pero a diferencia de la anterior alternativa; con la prioridad de ahorrar costo en tubería, sólo constará con el ramal derecho y ya no con un ramal individual en los jardines del lado izquierdo; sin embargo, la ubicación de las cámaras no cambiará, y para su dicha alimentación estará dada por un bypass desde la tubería del ramal derecho con una tubería de PVC de 1”.

Dichos hidrantes serán albergados por cámaras de mampostería de ladrillo y alimentados con un caudal constante de 1,5 L/s, que escurren por una tubería HDPE de 63mm que equivale a 2 pulgadas de diámetro. La totalidad los componentes de esta alternativa es aproximadamente:

Tabla 17. Componentes principales de alternativa 2.

Componentes	Cantidad	Unidad
Cámaras	96	pza
Hidrantes	96	pza

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Hidrantes de los jardines izquierdos

Los hidrantes de este lado serán albergados por cámaras enterradas de mampostería de ladrillo gambote, y alimentados por bypass desde la cámara del ramal derecho con una tubería PVC de 1”.

Tabla 18. Características de la tubería de PVC.

Características	Cantidad	Unidad
Peso propio	1,43	g/cm ³
Presión normal de servicio continuo	310	m.c.a.
Presión máxima de servicio	883	m.c.a. durante 1 h
Vida útil	30	años

Fuente. Catálogo de tuberías PVC de la línea Plamat.

4.4 Diseño final

Es el diseño del sistema de riego tecnificado por aspersión que toma como base el diseño de la alternativa más económica (alternativa 1 vs alternativa 2) para el municipio (alternativa 2).

Por seguridad y conservación del sistema de riego se implementarán aspersores emergentes, los cuales serán distribuidos en ramales de riego que deben cumplir las condiciones de presiones requeridas en los aspersores para su correcto funcionamiento, las cuales serán abastecidas con los hidrantes de la alternativa base. Para la automatización de cada bloque de riego, se instalan electroválvulas en cada hidrante reguladas con programadores de riego.

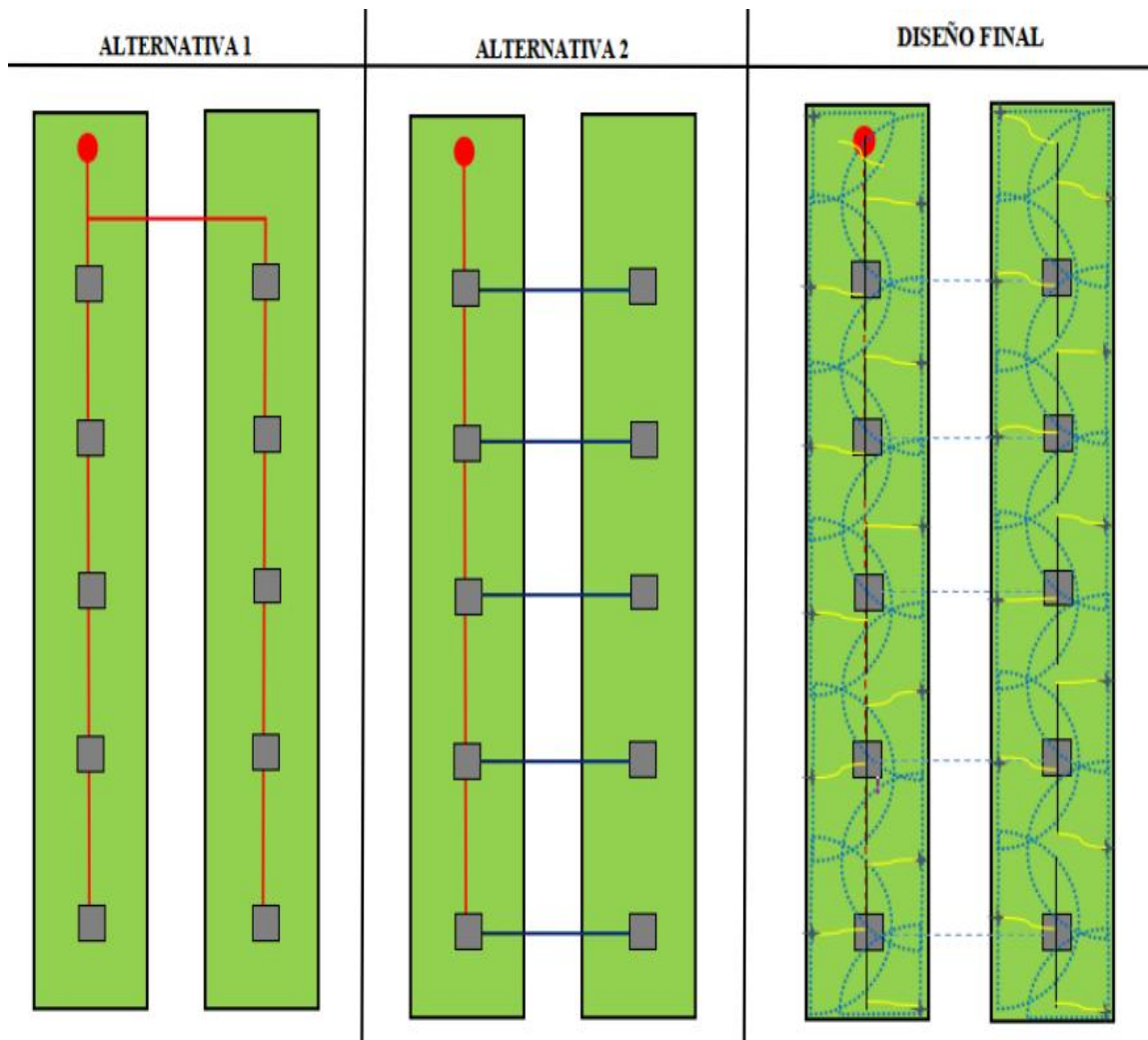


Figura 10. *Croquis de alternativas.*

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 Electroválvula

Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esta forma, el flujo de fluidos.

Al tratarse de un sistema de riego tecnificado se opta por la implementación de una electroválvula de la línea hunter en los hidrantes que abastecen las diferentes sub redes.

El control de las electroválvulas es regulado por un controlador, dicho controlador tiene la capacidad de monitorear hasta 12 electroválvulas.

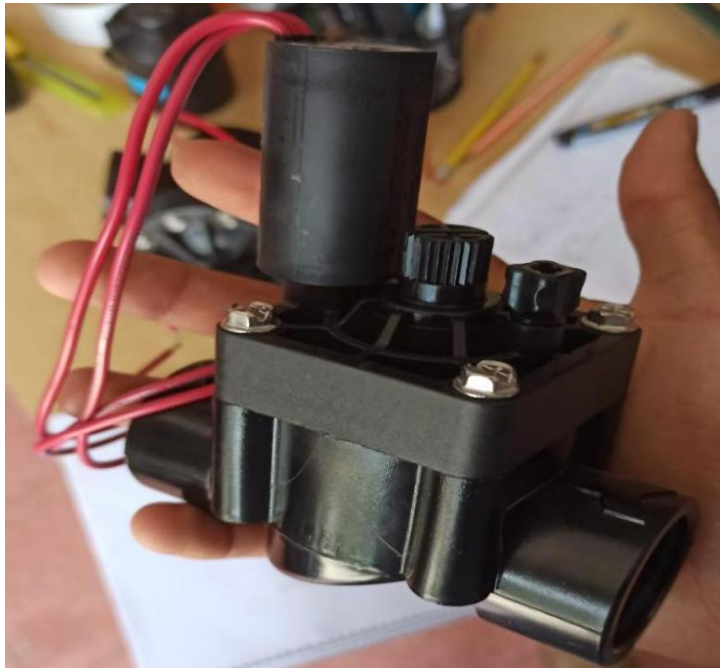


Figura 11. Electroválvula Hunter.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 12. Controlador de electroválvulas.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Aspersores

4.4.2.1 *Aspersor Hunter serie I-25*

Es un aspersor emergente que con una presión de 250 kPa a 550 kPa con una trayectoria de boquilla de 25° tiene un alcance promedio 14m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 18 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,28 m³/h hasta 7,24 m³/h (Hunterindustries, p. 26).

Este tipo de aspersor albergan los principios de los jardines del margen derecho hasta la progresiva 1+400,00 aproximadamente, representados con trazos de riego anaranjados.



Figura 13. *Aspersor emergente I-25.*

Fuente: Catálogo de productos, riego comercial, residencial y de golf “Hunter”, (volumen 39, p. 26).

4.4.2.2 *Aspersor Hunter serie I-20 con boquilla 0,75SR*

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 450 kPa, con una trayectoria de boquilla de 25° tiene un alcance promedio 7 m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 7 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,07 m³/h hasta 3,23 m³/h (Hunterindustries, p. 23).

Este tipo de aspersor albergan los principios de los jardines del margen izquierdo hasta la progresiva 1+400,00 aproximadamente, representados con trazos de riego negros.



Figura 14. Aspersor emergente I-20.

Fuente: Catálogo de productos, riego comercial, residencial y de golf, “Hunter” (volumen 39, p. 23).

4.4.2.3 *Aspersor Hunter ECO-04MP2000*

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 380 kPa, con una trayectoria de boquilla de 20° tiene un alcance promedio 5,8m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 12 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,03 m³/h hasta 2,65 m³/h (Hunterindustries, p. 53).

Este tipo de aspersor albergan los jardines del margen derecho e izquierdo desde la progresiva 1+200,00 hasta 1+400,00 aproximadamente, representados con trazos de riego rosados.



Figura 15. Aspersor ECO-04MP2000.

Fuente: Catálogo de productos, riego comercial, residencial y de golf, “Hunter” (volumen 39, p. 53).

4.4.2.4 *Aspersor PGP-ADJ AZUL*

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 450 kPa, con una trayectoria de boquilla de 15° tiene un alcance promedio 10,5m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 10mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,1 m³/h hasta 3,22 m³/h (Hunterindustries, p. 17).

Este tipo de aspersor albergan los jardines del margen derecho e izquierdo desde la progresiva 1+500,00 hasta 3+620,00 aproximadamente, representados con trazos de riego azul.



Figura 16. Aspersor PGP-ADJ-AZUL.

Fuente: Catálogo de productos, riego comercial, residencial y de golf, “Hunter” (volumen 39, p. 17).

4.4.3 Sub redes

Son los ramales de tuberías que abastecen los diferentes aspersores mediante la transmisión de presiones necesarias para su funcionamiento.

Estos ramales están conformadas por tuberías de PVC E40 de 1”, a las cuales equidistantemente (dependiendo del tipo de aspersor en la sub red) afluye una junta flexible de 3/4” para cada aspersor.

4.4.4 Oferta de presiones en los hidrantes

La presión de cada hidrante viene dada del diseño de la “alternativa 2”, la cuales generan las presiones necesarias para abastecer cada sub red y satisfacer las presiones requeridas de trabajo dadas por el tipo de aspersores de cada red.

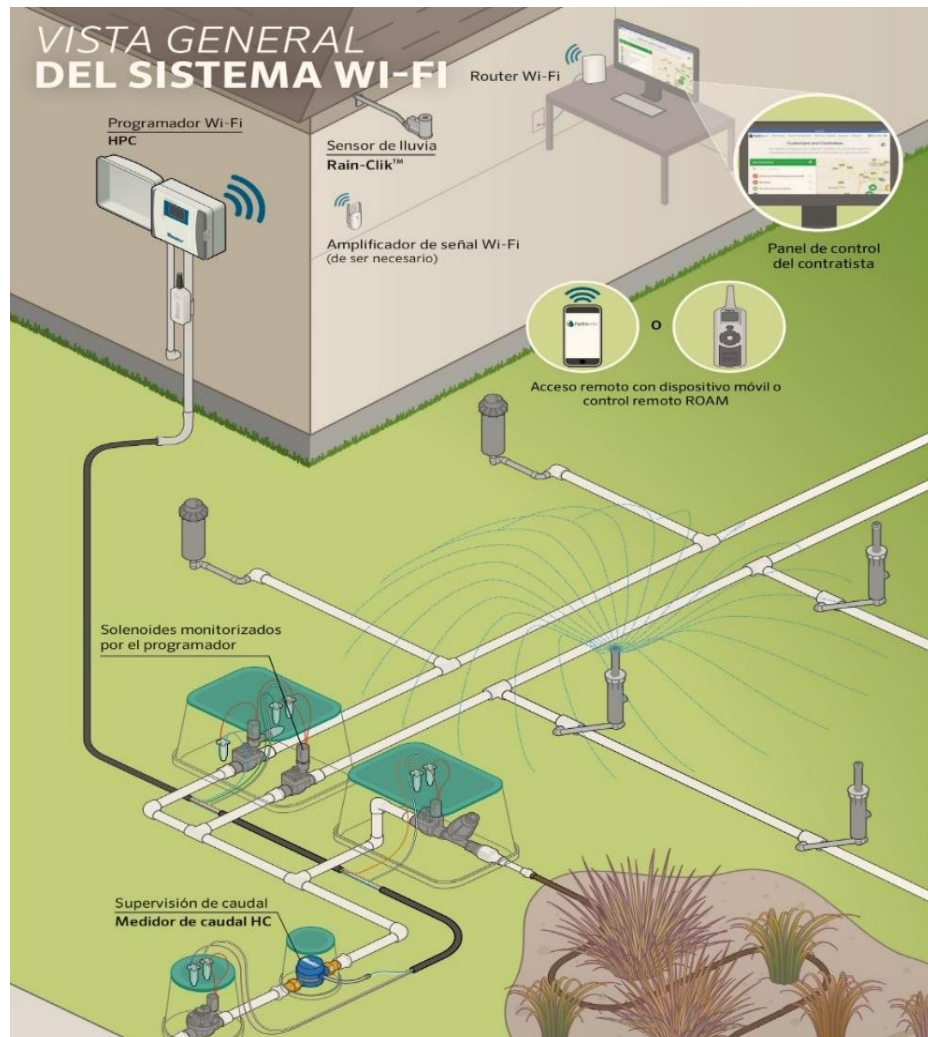


Figura 17. Esquema de funcionamiento tecnificado.

Fuente: Catálogo de productos, riego comercial, residencial y de golf “Hunter”, (volumen 39, p. 119).

CAPÍTULO V

DISEÑO AGRONÓMICO

5.1 Requerimiento de agua

Para estimar y determinar el requerimiento de agua se utilizó el software ABRO 3.1 (Área Bajo Riego Optimo), el que permite estimar el área de riego potencial considerando información meteorológica (evapotranspiración, precipitación y otros) y la tecnología de riego (caudales y pérdida). se estimó los requerimientos mensuales con lo cual se identifica el mes de abril como el mes más desfavorable, debido a que es el mes que requiere un menor intervalo de riego (detallado en los anexos “intervalos de riego”), el déficit de riego es mayor debido a la casi nula precipitación efectiva de este mes, el volumen de demanda total se presenta en este mes.

5.2 Necesidad de riego

Las siguientes expresiones son para estimar las necesidades agronómicas (Hoogendam & Ríos, 2008, p.62)

Evapotranspiración diaria máxima “ET_m”.

$$ET_m = ET_o * k_c$$

Lámina neta a reponer en el suelo “L_n”.

$$L_n = (Cc - Pm) * d_a * NAP * z$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Suelo franco arcilloso} \\ \left\{ \begin{array}{l} Cc = 23\% \\ Pm = 15\% \\ d_a = 1,3 \text{ t/m}^3 \end{array} \right. \\ NAP = 0,75 \end{array} \right.$$

Fracción de lavado “LR”.

$$LR = \frac{CE_i}{(5 * CE_e - CE_i) * f}$$

Lámina bruta a aplicar “L_b”.

$$L_b = \frac{L_n}{E_a * (1 - LR)}$$

Intervalo de riego “IR”.

$$IR = \frac{L_b}{ET_m}$$

5.2.1 Necesidad de agua para abril

5.2.1.1 Evapotranspiración diaria máxima “ ET_m ”

$$\begin{aligned}ET_m &= ET_o * k_c \\ET_m &= 101 \text{ mm/mes} * 0,8 \\ET_m &= 80,81 \text{ mm} \\ET_m &= \frac{80,81 \text{ mm}}{30 \text{ días}} \\ET_m &= 2,59 \text{ mm/día}\end{aligned}$$

5.2.1.2 Lámina neta a reponer en el suelo “ L_n ”

$$\begin{aligned}L_n &= (Cc - Pm) * d_a * NAP * z \\&\left\{ \begin{array}{l} \text{Suelo franco arcilloso} \\ \left\{ \begin{array}{l} Cc = 23\% \\ Pm = 15\% \\ d_a = 1,3 \text{ t/m}^3 \end{array} \right. \\ NAP = 0,75 \end{array} \right. \\L_n &= \left(\frac{23 - 15}{100} \right) * 1,3 \text{ t/m}^3 * 0,75 * 70 \text{ mm} \\L_n &= 5,46 \text{ mm}\end{aligned}$$

5.2.1.3 Fracción de lavado “ LR ”

$$\begin{aligned}LR &= \frac{CE_i}{(5 * CE_e - CE_i) * f} \\LR &= \frac{1,1}{(5 * 1,9 - 1,1) * 0,8} \\LR &= 0,16\end{aligned}$$

5.2.1.4 Lámina bruta a aplicar “ L_b ”

$$\begin{aligned}L_b &= \frac{L_n}{E_a * (1 - LR)} \\L_b &= \frac{5,46 \text{ mm}}{0,8 * (1 - 0,16)} \\L_b &= 8,16 \text{ mm}\end{aligned}$$

5.2.1.5 *Intérvalo de riego “IR”*

$$IR = \frac{L_b}{ET_m}$$

$$IR = \frac{8,16 \text{ mm}}{2,59 \text{ mm/día}}$$

$$IR = 3,15 \text{ días}$$

$$IR = 3 - 4 \text{ días}$$

5.2.2 Caudal de demanda.

Es necesario calcular el caudal de trabajo, el mismo se obtiene a partir del volumen a aplicar, el tiempo operativo surge del turno que se considere y del número de horas diarias de trabajo.

Siendo el volumen de demanda de 1.918,1 m³ para el mes crítico como lo indica los resultados obtenidos del ABRO, se plantea:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{1.918,1 \text{ m}^3}{12 \text{ h} * 30}$$

$$Q = 5,328 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \left(\frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right)$$

$$Q = 1,48 \text{ L/s}$$

Del cual podemos determinar un caudal de **1,5 L/s** equivalente a **90 L/min**.

Tabla 19. *Factores agronómicos.*

Factores agronómicos	Cantidad
Evapotranspiración diaria máxima “ET _m ”.	2,59 mm/día.
Lámina neta a reponer en el suelo “L _n ”.	5,46 mm
Fracción de lavado “LR”	0,16
Lámina bruta a aplicar “L _b ”.	8,16 mm
Intervalo de riego “IR”.	3 días
Caudal de demanda “Q”.	1,5 L/s

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

DISEÑO HIDRÁULICO

6.1 Tasa de aplicación

6.1.1 Caudales de aspersores

Los emisores de riego tienen descargas de caudal “ q_e ” en función de la presión “ P_e ” a que son sometidos y las características de fabricación del emisor.

$$q_e = k * P_e^x$$

Muchos catálogos presentan los valores k y x de sus emisores, pero hay otros que no, por lo que es necesario obtenerlos a partir de un sencillo análisis de la curva de rendimiento del emisor (Hoogendam & Ríos, 2008, p.70).

Dado el caso de este proyecto, no presenta valores de coeficientes “ k ” ni “ x ”; pero si datos de caudal en función a la presión a la que es sometida, por lo cual para la estimación del caudal de cada aspersor fue hecha tomando en cuenta estos datos presentados por el fabricante.

6.1.2 Tasa de aplicación

Con el dato del caudal del emisor “ q_e ” es posible obtener la tasa de aplicación del emisor. Dividiendo este caudal “ q_e (m^3/h)” entre el espaciamiento entre aspersores “ $b_{(m)}$ ” por el espaciamiento entre laterales “ $r_{(m)}$ ”.

$$I_{mm/h} = \frac{q_e}{b * r} * 1000$$

En anexos de “caudales e intensidades de aspersores” se detalla la estimación de cada uno de los aspersores para todos los bloques de riego.

6.2 Espaciamiento entre aspersores

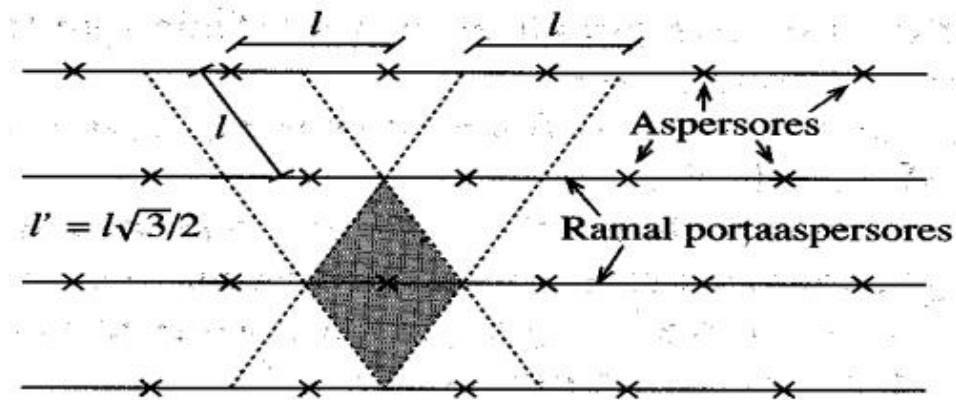


Figura 18. Disposición triangular de aspersores.

Fuente: (Peralta y Simpfendorfer, 2001, p.19).

El viento es uno de los factores más condicionantes del riego por aspersión. Las gotas de lluvia que simula el método son arrastradas fácilmente por éste, lo que impide un mojado parejo. En estos casos, se recomienda regar en horas de menor o ausencia total del viento, incluyendo el riego nocturno. El efecto del viento se compensa disminuyendo la separación entre aspersores (Peralta & Simpfendorfer, 2001, p.27).

En el siguiente cuadro se presenta datos generales para definir la separación entre aspersores en función de la velocidad del viento y del diámetro de mojadura.

(Hoogendam & Ríos, 2008, p.80) recomienda algunos criterios tanto para los espaciamientos entre aspersores “b” y los espaciamientos entre laterales “r” en función de la velocidad del viento y el diámetro de mojado de los aspersores como se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 20. Espaciamiento entre aspersores (en % del diámetro mojado).

Viento (m/s)	b	r
< 0,5	62%	70%
0,5 - 2,0	50%	70%
2,0 - 4,0	40%	60%
4,0 - 6,0	30%	50%

Fuente: (Hoogendam & Ríos, 2008, p.80).

La velocidad tomada en cuenta es de 15,3 km/h (equivalente a 4,25 m/s) presente en el mes de mayo, la cual data de la estación del Aeropuerto de la ciudad de Tarija medida a 5 m de altura.

Por lo cual se determinó un espaciamiento entre aspersores de 62% del diámetro mojado y una separación entre laterales del 70%; de los cuales se muestran las estimaciones en los anexos de “Espaciamiento entre aspersores” para cada uno de los bloques de riego, como también en los planos.

6.3 Pérdidas de carga localizadas en ramales de aspersores

6.3.1 Pérdida de carga en tuberías de distribución para aspersores “ h_f ”

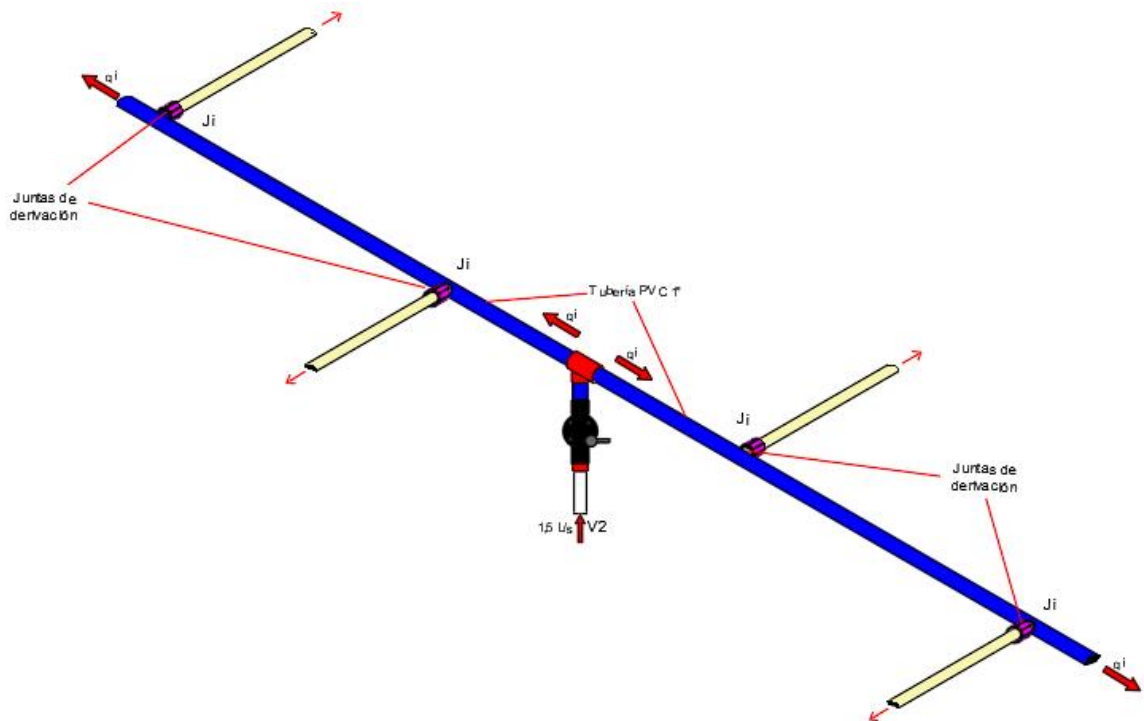


Figura 19. Distribución de subred de aspersión.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a la implementación de 779 aspersores a lo largo de 7.200 m, con variación significativas de cotas distribuidos en parcelas/áreas verdes con múltiples dimensiones; la variación de pérdidas de carga por fricción interna en tuberías se considera de junta a junta (para estimar la presión en cada aspersor), cuyas equidistancias por lo

anteriormente explicado genera una gran variedad de longitudes a considerar para conocer las pérdidas de carga “ h_f ”.

Por lo cual en el presente proyecto, en esta parte específicamente para considerar estas pérdidas y estimar las presiones en cada junta de aspersor se utilizó el programa watercad como herramienta de trabajo, el cual es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión (sistemas de distribución o de riesgo), propiedad de la Empresa de Software Bentley Systems, Incorporated que produce soluciones para el diseño, construcción y operación de infraestructuras en diversos campos.

WaterCAD permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.)

Dichos resultados son de fácil apreciación en los planos y tablas presentados en los anexos.

6.3.2 Pérdida de carga en junta flexible de aspersor “ h_j ”

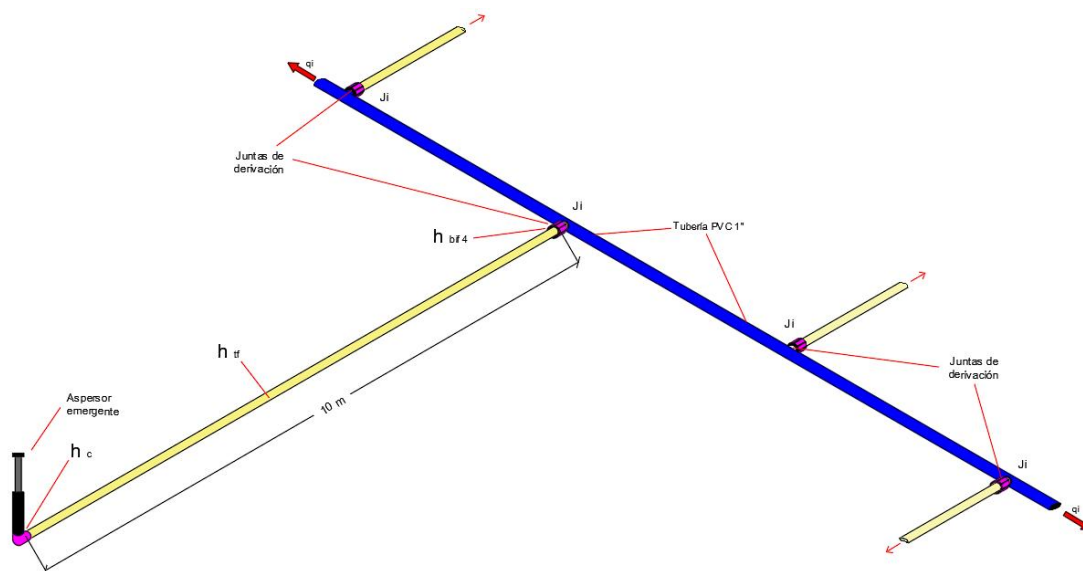


Figura 20. Conexión de aspersor y junta.

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2.1 Pérdida de carga por codo “ h_c ”

El coeficiente de pérdida de carga considerado para este tipo de accesorio es 1,8 (Jiménez, 2017)⁸.

$$h_c = k_c * \frac{V^2}{2 * g}$$
$$h_c = 1,8 * \frac{(1,05 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$
$$h_c = 0,022 \text{ m}$$

6.3.2.2 Pérdida de carga por tubería flexible “ h_{tf} ”

Tomando en cuenta la situación más desfavorable para la estimación de esta pérdida de carga, se consideró la longitud más larga necesaria presente en el requerimiento de la distribución de los aspersores tipo I-25, el cual requiere estar a una distancia mínima de 7 m de la junta de abastecimiento; primando la seguridad y comodidad de instalación por criterio del postulante, para la estimación de este tipo de pérdidas de carga se mayoró ésta longitud un 40 % originando así una longitud de 10 m de tubería flexible.

Dado el material de la tubería flexible (PVC), con coeficiente de Hazen Williams de 130.

$$h_{tf} = 10,674 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * \frac{L}{D^2}$$
$$h_{tf} = 10,674 * \left(\frac{0,0015}{130}\right)^{1,852} * \frac{10 \text{ m}}{(0,019 \text{ m})^2}$$
$$h_{tf} = 0,93 \text{ m}$$

6.3.2.3 Pérdida de carga por bifurcación 1”→3/4”

El coeficiente de pérdida de carga considerado para este tipo de accesorio es 1,8 (Jiménez, 2017)⁹.

$$h_{bif 4} = k_{bif} * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

⁸ Jiménez, S. (7 de Julio de 2017). *Hidráulica fácil*. Recuperado el 17 de Octubre de 2023, de <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>

⁹ Jiménez, S. (7 de Julio de 2017). *Hidráulica fácil*. Recuperado el 17 de Octubre de 2023, de <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>

$$h_{bif4} = 1,28 * \frac{(1,05 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{bif4} = 0,072 \text{ m}$$

La pérdida de carga de la instalación del aspersor hacia la junta no es nada más que la sumatoria de las pérdidas recientemente estimadas:

$$h_j = \sum h_f$$

$$\sum h_f = h_c + h_{tf} + h_{bif4}$$

$$h_j = 0,022 \text{ m} + 0,93 \text{ m} + 0,072 \text{ m}$$

$$h_j = 1,02 \text{ m}$$

Tomando en cuenta la presión mínima necesaria para el funcionamiento de los aspersores, por criterio del postulante se dio un margen para el funcionamiento, mayorando esta pérdida en un 70 %; entonces:

$$h_j = 1,7 * 1,02 \text{ m}$$

$$h_j = 1,74 \text{ m}$$

6.3.3 Selección de aspersores

Dadas las condiciones de la morfología del terreno se identificó 4 variantes significativas de ancho de área verde a lo largo de los 7200 m de ambas jardineras que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 21. *Anchos de áreas verdes de ramal derecho.*

Progresiva (m)		ANCHO DE JARDÍN (m).
Desde:	Hasta:	
0+000	0+130	14
0+130	0+220	14
0+220	0+300	14
0+300	0+370	14
0+370	0+450	14
0+450	0+520	14

0+520	0+620	13,9
0+620	0+700	13,9
0+700	0+780	13,9
0+780	0+850	13,9
0+850	0+930	13,9
0+930	1+010	13,9
1+010	1+100	13,8
1+100	1+180	13,8
1+180	1+240	13,8
1+240	1+310	13,8
1+320	1+400	5,8
1+430	1+690	5,8
1+720	2+110	7
2+120	2+310	7
2+310	2+550	7
2+570	2+670	10,3
2+670	2+860	10,3
2+860	3+020	10,4
3+020	3+300	10,5
3+300	3+450	10,5
3+450	3+660	10,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Ancho de áreas verdes ramal de izquierdo.

Progresiva (m)		TIPO DE ASPERSOR
Desde:	Hasta:	
0+000	0+280	7,5
0+280	0+680	7,5
0+680	1+040	7,5
1+060	1+300	7,5
1+320	1+400	14

1+430	1+560	14
1+560	1+640	14
1+660	1+830	10,5
1+830	1+990	10,5
1+990	2+170	10,5
2+170	2+390	10,3
2+390	2+570	10,3
2+570	2+680	10,3
2+680	2+860	10,5
2+860	3+020	10,5
3+020	3+300	10,5
3+300	3+460	10,5
3+460	3+660	10,5

Fuente: Elaboración propia.

De la cual se puede resumir que se requiere cubrir 4 tipos de anchuras: 14 m, 10,5 m, 7 m, 5,8 m.

Por lo cual, tomado principalmente este parámetro como base en la elección del tipo de aspersores, luego varios tanteos con diferentes aspersores y disposiciones de posiciones, se eligió los siguientes 4 tipos de aspersores:

6.3.3.1 Aspersor Hunter serie I-25.

Es un aspersor emergente que con una presión de 250 kPa a 550 kPa con una trayectoria de boquilla de 25° tiene un alcance promedio 14m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 18 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,28 m³/h hasta 7,24 m³/h (Hunterindustries, p. 26).

6.3.3.2 Aspersor Hunter serie I-20 con boquilla 0,75SR

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 450 kPa, con una trayectoria de boquilla de 25° tiene un alcance promedio 7 m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 7 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,07 m³/h hasta 3,23 m³/h (Hunterindustries, p. 23).

6.3.3.3 *Aspersor Hunter ECO-04MP2000*

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 380 kPa, con una trayectoria de boquilla de 20° tiene un alcance promedio 5,8m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 12 mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,03 m³/h hasta 2,65 m³/h (Hunterindustries, p. 53).

6.3.3.4 *Aspersor PGP-ADJ AZUL*

Es un aspersor emergente que, con una presión de 170 kPa a 450 kPa, con una trayectoria de boquilla de 15° tiene un alcance promedio 10,5m de radio con un barrido de 180° generando una precipitación con una intensidad aproximada de 10mm/h; con un rango de caudal de operación de 0,1 m³/h hasta 3,22 m³/h (Hunterindustries, p. 17).

Identificadas ya los diferentes anchos de jardines, se prosiguió a distribuir los aspersores seleccionados en todas estas áreas.

Con los aspersores ya establecidos e identificadas las áreas de operación, se prosiguió determinar las diferentes ubicaciones de las juntas de conexión para cada uno de ellos con la ayuda del programa watercad para estimar las diferentes presiones de servicio en cada junta, las cuales se pueden apreciar en los planos adjuntos en los anexos.

Ya conocidas las cantidades de aspersores, y tomando en cuenta que cada electroválvula trabaja con un caudal de 1,5 L/s; se pudo estimar el caudal “q_i” que se generará en cada aspersor para luego corroborar si dichos caudales están dentro del rango de operación como lo indican sus especificaciones técnicas.

$$q_i = \frac{Q}{N^{\circ} \text{ aspersores}}$$

Tabla 23. *Caudal unitario de electroválvulas.*

N°	Electroválvula	Tipo deaspersor	N° Aspersores	q i (L/s)
1	A1	I-25	11	0,14
2	A2	I-25	5	0,30
3	A3	I-25	7	0,21
4	A4	I-25	7	0,21
5	A5	I-25	6	0,25
6	A6	I-25	5	0,30

7	A7	I-25	6	0,25
8	A9	I-25	5	0,30
9	A8	I-25	5	0,30
10	A10	I-25	5	0,30
11	A11	I-25	6	0,25
12	A12	I-25	6	0,25
13	A13	I-25	5	0,30
14	A15	I-25	4	0,375
15	A14	I-25	6	0,25
16	A16	I-25	4	0,375
17	B17	I-25	5	0,30
18	B19	I-25	9	0,167
19	B21	I-25	6	0,25
20	B1	I-20	35	0,04
21	B7	I-20	43	0,0349
22	B11	I-20	50	0,03
23	B15	I-20	37	0,0405
24	A25	I-20	37	0,0405
25	A29	I-20	27	0,0556
26	A31	I-20	36	0,0417
27	A17	MP2000	31	0,0484
28	A20	MP2000	78	0,0192
29	B34	ADJ.AZUL	11	0,136
30	B25	ADJ.AZUL	16	0,094
31	B23	ADJ.AZUL	14	0,107
32	B27	ADJ.AZUL	18	0,083
33	B30	ADJ.AZUL	18	0,083
34	B32	ADJ.AZUL	17	0,088
35	B35	ADJ.AZUL	19	0,079
36	B38	ADJ.AZUL	15	0,10
37	B41	ADJ.AZUL	26	0,058
38	B44	ADJ.AZUL	15	0,10
39	B47	ADJ.AZUL	20	0,075
40	A34	ADJ.AZUL	10	0,15
41	A35	ADJ.AZUL	19	0,0789
42	A38	ADJ.AZUL	15	0,10
43	A41	ADJ.AZUL	26	0,0577
44	A44	ADJ.AZUL	15	0,10
45	A47	ADJ.AZUL	18	0,0833

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4 Revisión de caudales parciales en aspersores

6.3.4.1 *Aspersor Hunter serie I-20 con boquilla 0,75SR*

Dadas las especificaciones técnicas de este tipo de aspersores, el rango de operación de estos es desde 0,07 m³/h hasta 3,23 m³/h. equivalentes a 0,019 L/s y 0,89 L/s respectivamente.

En el caso de este proyecto, para este tipo de aspersores, los caudales parciales que se generaron son 0,025 L/s como mínimo y 0,056 L/s como máximo; los cuales se encuentran dentro del rango de operación:

Tabla 24. *Verificación de caudal de operación de aspersor I-20.*

mínimo admisible (L/s)	qi (L/s)	máximo admisible (L/s)
0,019 <	mín: 0,025	< 0,89
	máx: 0,056	

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4.2 *Revisión de aspersores tipo Hunter serie I-25*

Dadas las especificaciones técnicas de este tipo de aspersores, el rango de operación de estos es desde 0,32 m³/h hasta 7,24 m³/h. equivalentes a 0,0889 L/s y 2 L/s respectivamente.

En el caso de este proyecto, para este tipo de aspersores, los caudales parciales que se generaron son 0,1364 L/s como mínimo y 0,375 L/s como máximo; los cuales se encuentran dentro del rango de operación:

Tabla 25. *Verificación de caudal de operación de aspersor I-25.*

mínimo admisible (L/s)	qi (L/s)	máximo admisible (L/s)
0,0889 <	mín: 0,1364	< 2,00
	máx: 0,375	

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4.3 *Aspersor Hunter ECO-04MP2000*

Dadas las especificaciones técnicas de este tipo de aspersores, el rango de operación de estos es desde 0,03 m³/h hasta 2,65 m³/h. equivalentes a 0,008 L/s y 0,736 L/s respectivamente.

En el caso de este proyecto, para este tipo de aspersores, los caudales parciales que se generaron son 0,018 L/s como mínimo y 0,048 L/s como máximo; los cuales se encuentran dentro del rango de operación:

Tabla 26. *Verificación de caudal de operación de aspersor ECO-04MP2000.*

mínimo admisible (L/s)	qi (L/s)	máximo admisible (L/s)
0,008 <	mín: 0,018	< 0,736
	máx: 0,048	

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4.4 *Aspersor PGP-ADJ AZUL*

Dadas las especificaciones técnicas de este tipo de aspersores, el rango de operación de estos es desde 0,1 m³/h hasta 3,22 m³/h. equivalentes a 0,028 L/s y 0,89 L/s respectivamente.

En el caso de este proyecto, para este tipo de aspersores, los caudales parciales que se generaron son 0,057 L/s como mínimo y 0,15 L/s como máximo; los cuales se encuentran dentro del rango de operación:

Tabla 27. *Verificación de caudal de operación de aspersor PGP-ADJ AZUL.*

mínimo admisible (L/s)	qi (L/s)	máximo admisible (L/s)
0,028 <	mín: 0,057	< 0,89
	máx: 0,15	

Fuente: Elaboración propia.

Una vez ya ubicadas las juntas, utilizando el programa watercad se prosiguió con la estimación de las presiones generadas por cada presión de servicio en cada cámara

tomando en cuenta las pérdidas de carga presentes debido a la instalación de las electroválvulas.

Dicha presión de servicio es igual a:

$$P_{SA_i} = P_{A_i} - h_a - h_{elv} - h_t$$

6.4 Análisis de presiones

6.4.1 Presión nominal y variación de presiones

Variaciones de presiones generan variaciones de caudales en aspersores. Para garantizar la uniformidad entre los aspersores es necesario garantizar una presión suficiente y uniforme en todos los aspersores. En sistemas fijos este cálculo puede realizarse hasta el nivel de cada aspersor en parcela (Hoogendam & Ríos, 2008, p.80).

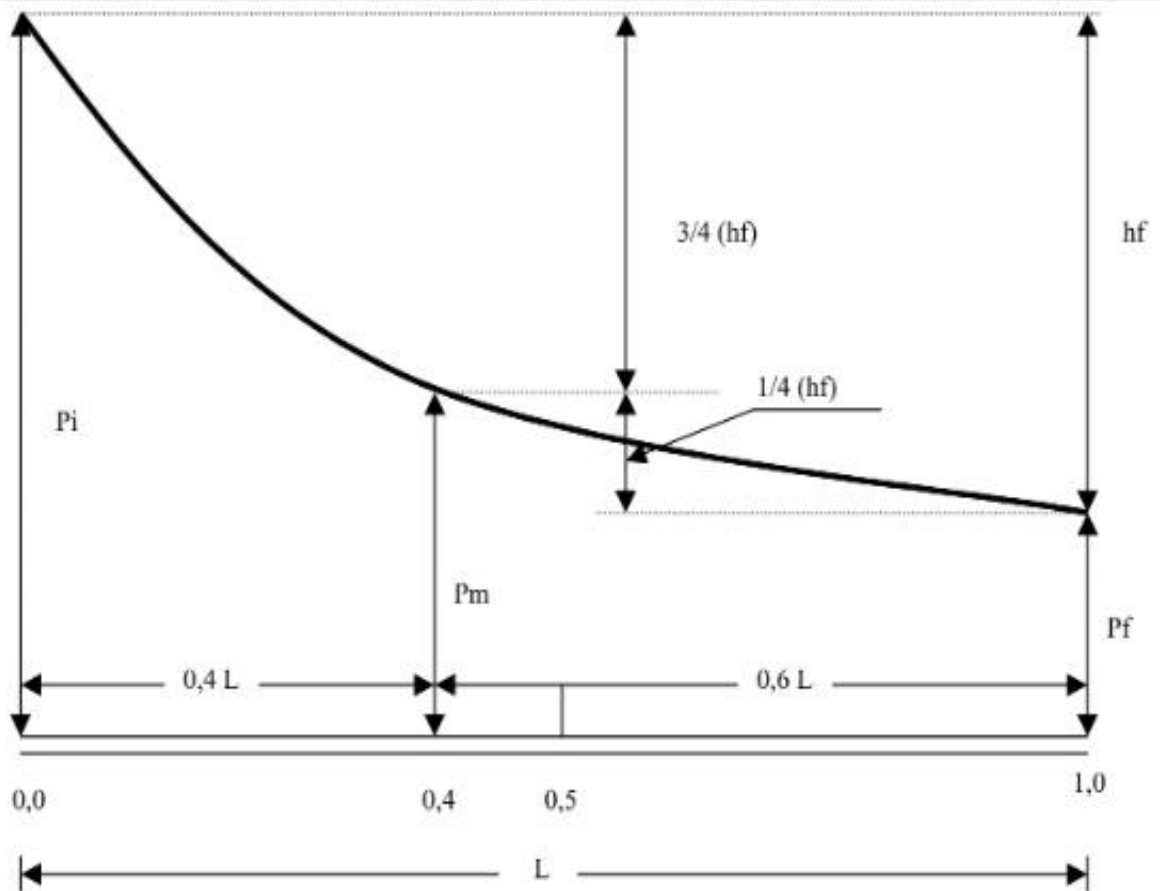


Figura 21. Distribución de presiones en ramal de aspersores.

Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda que los aspersores funcionen bajo presiones similares. Para ello se controla la diferencia de presión entre el primer y último aspersor sea menor que el 20% de la presión nominal (Hoogendam & Ríos, 2008, p.81).

$$P_{primer} - P_{último} < 0,2 * P_n$$

$$P_n = P_{último} + 0,25 * (P_{primer} - P_{último})$$

El diámetro seleccionado para los ramales de los aspersores es de 1" el cual cumple con esta condición satisfactoriamente tal como se detalla en los anexos de "condiciones de presiones en aspersores". Vale indicar que con diámetros menores esta condición no se cumplía debido al incremento de la variación de presión; y si bien con diámetros mayores también cumple con la condición, se considera que un mayor diámetro implica también una elevación en el costo de la tubería.

6.5 Tubería matriz

6.5.1 Diámetro de tubería

El diámetro de la tubería está dado en función del caudal y la distancia de conducción.

Algunos criterios que pueden usarse son:

6.5.1.1 Admitir una velocidad máxima de conducción de 1.5 m/s.

- Con una tubería de diámetro 1" → 0,0254 m:

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

$$V = \frac{0,0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,0254 \text{ m})^2}$$

$$V = 2,96 \text{ m/s} > 1,5 \text{ m/s (muy alta)}$$

- Con una tubería de diámetro 2" → 0,0508 m:

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

$$V = \frac{0,0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,0508 \text{ m})^2}$$

$$V = 0,74 \text{ m/s} < 1,5 \text{ m/s (cumple)}$$

- Con una tubería de diámetro 3" → 0,0508 m:

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

$$V = \frac{0,0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,0762 \text{ m})^2}$$

$$V = 0,33 \text{ m/s} < 1,5 \text{ m/s (cumple)}$$

Para esta condición los diámetros que cumplen son los de 2" y 3", pero sin embargo se recomienda optar por el diámetro de 2" debido a que velocidades cercanas a 0,3 m/s favorecen a la sedimentación.

6.5.1.2 Admitir una pérdida máxima de carga de 0.7 m. cada 30 m. de conducción

(Giles, Evett, y Liu, 1994, p. 164) hace mención que la fórmula de Darcy-Weisbach es la fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías y conductos, la ecuación es la siguiente:

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

hf= pérdida de carga (m)

f= Coeficiente de fricción (-)

L= longitud de la tubería (m)

d= diámetro de la tubería (m)

V= velocidad media del flujo (m/s)

g= aceleración de la gravedad (m/s²)

6.5.1.2.1 Con un diámetro de 1" → 0,0254 m:

- Número de Reynolds.

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{2,96 \text{ m/s} * 0,0254 \text{ m}}{1,02 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 73.709,8$$

- Factor de fricción.

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$f = \frac{0,316}{73.709,8^{0,25}}$$

$$f = 0,0192$$

- Pérdida de carga.

$$hf = 0,0192 * \frac{30 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} * \frac{(2,96 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$hf = 10,11 \text{ m. c. a.} \gg \gg 7 \text{ m.c.a. (no cumple)}$$

6.5.1.2.2 Con un diámetro de 2" → 0,0508 m:

- Número de Reynolds.

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,74 \text{ m/s} * 0,0508 \text{ m}}{1,02 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 36.858,486$$

- Factor de fricción.

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$f = \frac{0,316}{36.858,486^{0,25}}$$

$$f = 0,0228$$

- Pérdida de carga.

$$hf = 0,0228 * \frac{1}{0,0508 \text{ m}} * \frac{(0,74 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$hf = 0,376 \text{ m. c. a.} < 7 \text{ m.c.a. (cumple)}$$

6.5.1.3 Costos

Efectuar el cómputo de costos de la red principal en función del valor a nuevo y vida útil de los caños, cuyo mínimo define el diámetro más conveniente.

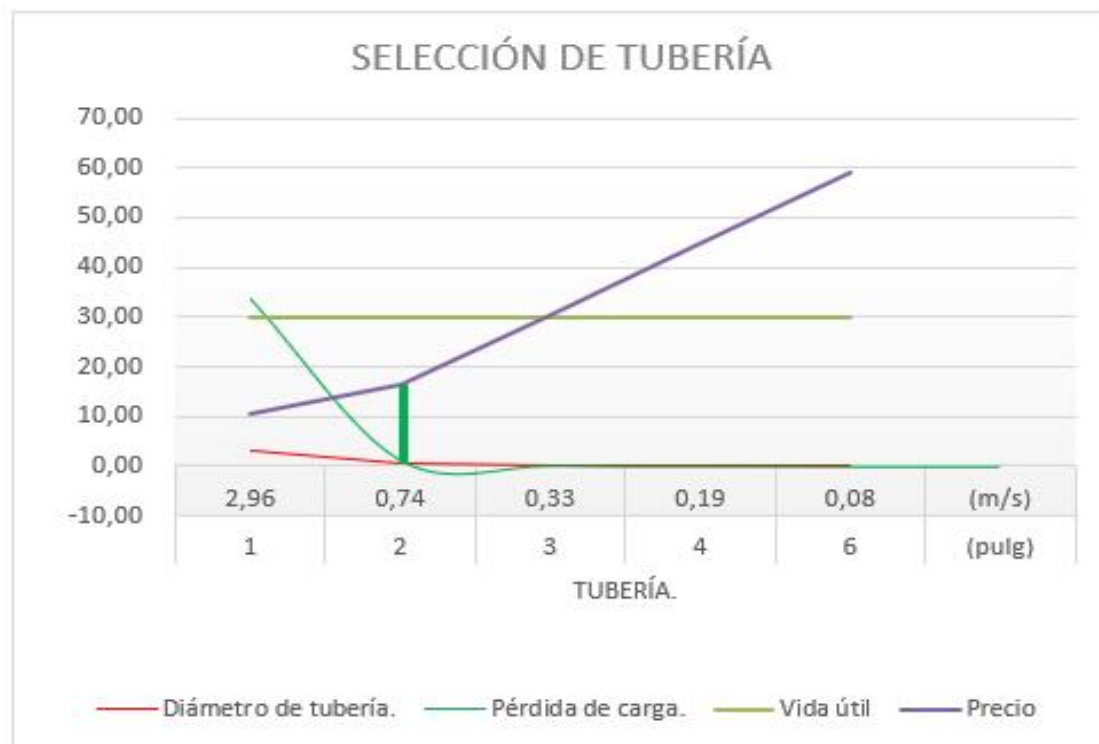


Figura 22. Selección de tubería principal.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran los rangos de presiones que se deben generar en cada hidrante para el adecuado funcionamiento y cumplimiento de los ramales de aspersores estimados anteriormente.

Tabla 28. Presiones requeridas en electroválvulas.

Cámara	Presiones (m.c.a.)		
	Mínima admisible	Máxima admisible	Presión requerida.
A01	32,0	57,0	47,0
A02	35,0	58,0	55,0
A03	32,0	58,0	50,0
A04	38,0	56,0	47,0
A05	40,0	59,0	55,0
A06	36,5	58,0	54,0
A07	45,0	58,0	52,0

A08	45,5	67,0	54,0
A09	44,0	63,5	54,0
A10	40,0	59,0	55,0
A11	36,5	57,0	50,0
A12	36,0	59,0	51,0
A13	38,5	59,0	52,0
A14	42,0	61,0	52,0
A15	40,0	61,0	54,0
A16	36,0	58,0	54,0
A17	20,0	41,0	29,5
A20	20,0	43,0	23,0
A25	27,0	49,0	34,0
A29	28,0	48,0	45,0
A31	29,0	47,0	33,0
A34	30,5	42,5	37,0
A35	29,0	48,5	46,0
A38	33,0	46,0	40,0
A41	36,5	47,0	45,0
A44	32,5	47,5	41,0
A47	30,5	48,0	43,0
B01	33,0	46,0	36,0
B07	20,0	49,0	25,0
B11	28,0	44,0	30,0
B15	26,0	49,0	30,0
B17	35,0	58,0	53,0
B19	35,0	57,5	47,0
B21	39,0	57,0	51,0
B23	29,0	49,0	43,0
B25	27,0	48,0	46,0
B27	33,5	48,5	47,0
B30	36,0	49,0	46,0

B32	36,0	48,5	37,0
B34	26,5	48,5	30,0
B35	32,5	50,0	46,0
B38	34,0	46,0	40,0
B41	36,0	49,0	44,0
B44	34,0	49,0	41,0
B47	28,0	49,0	42,0

Fuente: Elaboración propia.

6.5.2 Válvulas de seguridad.

En prevención de situaciones presentes con frecuencia en tuberías que trabajan a presión, las cuales son desfavorables en el funcionamiento de este tipo de sistemas hidráulicos y debido a la variación de los puntos altos y bajos por los cuales está tendida la tubería matriz; los fenómenos como la acumulación de aire en los puntos altos y la acumulación de lodos en los puntos bajos fueron de consideración en este proyecto, por lo cual se consideró la instalación de válvulas de purga de aire y de lodos.

6.5.2.1 Válvula de purga de aire

HDROTEC (2016)¹⁰ indica que las principales contrariedades que ocasiona el aire en las cañerías son:

6.5.2.1.1 Roturas

Las tuberías pueden romperse cuando circulan bolsas de aire en su interior por culpa de las sobrepresiones e incluso por las depresiones.

6.5.2.1.2 Obstrucción

El aire en las tuberías puede limitar parcial o totalmente la circulación del agua. Antes de que esto suceda, conviene tomar cartas en el asunto cuando escuches el mínimo ruido en las cañerías.

¹⁰ HDROTEC. (2016). Recuperado el 18 de Octubre de 2023, de <https://www.hidrotec.com/blog/como-sacar-aire-canerias/>

Ineficiencia del sistema. Cuando el aire se cuela en las tuberías y se acumula puede provocar pérdidas de la eficiencia del sistema y un incremento de costes en el consumo de agua.

6.5.2.1.3 Cavitación en accesorios

En las válvulas hidrantes y reguladores de presión se produce un proceso de cavitación. Se llama cavitación a la formación de burbujas de vapor o de gas en el seno de un líquido, provocada por las variaciones que este experimenta en su presión.

6.5.2.1.4 Inexactitud en las mediciones de caudal

El aire en las tuberías puede hacer que sea inexacto medir el caudal que circula por las cañerías. También ocasiona desgaste de partes móviles de contadores.

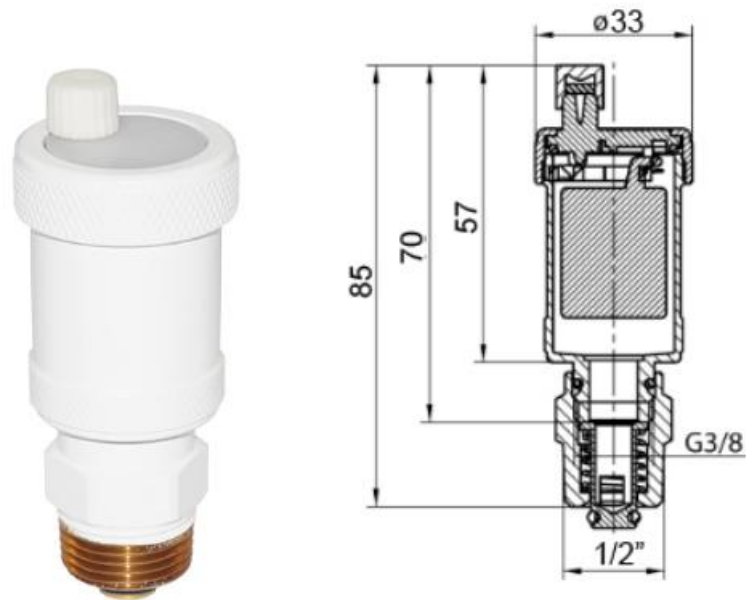


Figura 23. *Válvula de purga de aire.*

Fuente: Servicios Técnicos e importaciones Ltda.

La disposición de estas válvulas será los dos puntos más altos por los cuales estará tendida la tubería, siendo estos puntos en las progresivas 0+800,00 la primera válvula y 2+335,00 la segunda entre las cámaras A10-A11 y A30-A31 respectivamente.

Cada una de estas instalaciones generan una pérdida de carga extra a considerar (h_{air}) en la tubería matriz, debido a que la instalación de la misma será una bifurcación en el flujo, según (Mott R. L., 1980, p.315) el coeficiente de pérdida de carga es 0,95.

La velocidad del flujo por la tubería matriz viene dada por el caudal que circula (1,5 L/s) y por el diámetro de la tubería de 2 pulg equivalente a 0,0508 m.

$$V_1 = \frac{Q}{A}$$

$$V_1 = \frac{0,0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,0508 \text{ m})^2}$$

$$V_1 = 0,74 \text{ m/s}$$

$$h_{air} = k_{air} * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

$$h_{air} = 0,95 * \frac{(0,74 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{air} = 0,026 \text{ m}$$

6.5.2.2 *Válvula de purga de lodos*

Se dispuso de la instalación 2 de válvulas de purga en los puntos más bajos de la línea de conducción con el fin de eliminar los sedimentos como barros y arenillas que se acumulen en los diferentes tramos.

Los sedimentos acumulados en los puntos bajos de la línea de conducción con relieve accidentado, provocan la reducción del área de flujo de agua, siendo necesaria la instalación de válvulas de purga que permitan periódicamente la limpieza de tramos de tubería.

Se logró identificar los 2 puntos más bajos de la línea de conducción ubicados en las progresivas 1+400,00 la primera válvula inmediatamente seguida de la cámara A18 y 3+040,00 la segunda entre las cámaras A39-A40. Dichos puntos son estratégicos debido a que muy cerca de cada punto existe una quebrada que serviría para echar los sedimentos purgados.

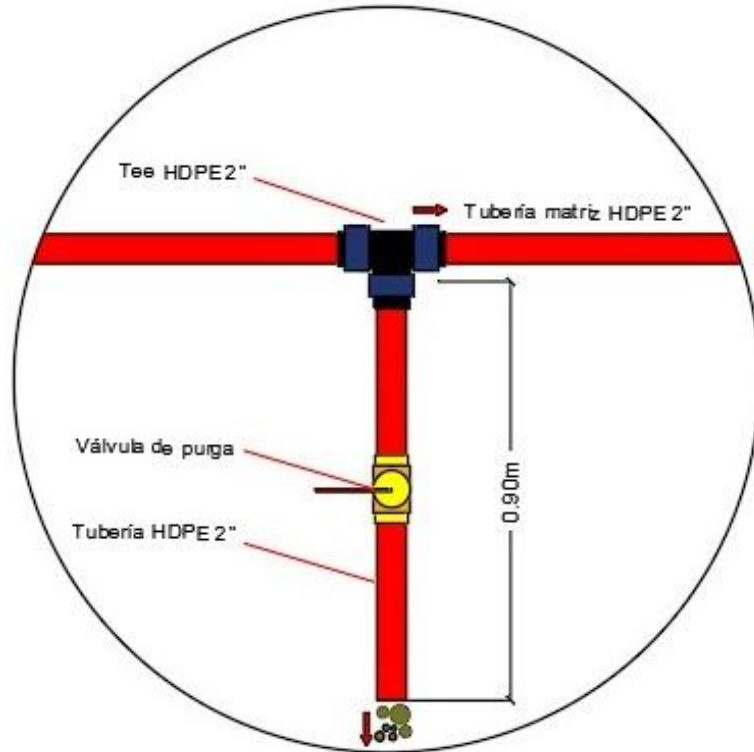


Figura 24. *Válvula de purga de sedimentos.*

Fuente: Elaboración propia.

Cada una de estas instalaciones generan una pérdida de carga extra a considerar (h_{lod}) en la tubería matriz, debido a que la instalación de la misma será una bifurcación en el flujo, según (Mott R. L., 1980, p.315) el coeficiente de pérdida de carga es 0,95.

La velocidad del flujo por la tubería matriz viene dada por el caudal que circula (1,5 L/s) y por el diámetro de la tubería de 2 pulg equivalente a 0,0508 m.

$$h_{lod} = k_{lod} * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

$$h_{lod} = 0,95 * \frac{(0,74m/s)^2}{2 * 9,81 m/s^2}$$

$$h_{lod} = 0,026 m$$

6.5.3 Cámaras

La ubicación de las cámaras será distribuida a lo largo de 2 ramales (uno en cada margen de las jardineras), denominados con el prefijo “A” para las cámaras de la jardinera del

margen derecho, y con el prefijo “B” para las jardineras del margen izquierdo, numeradas consecutivamente como se muestra en la siguiente imagen:

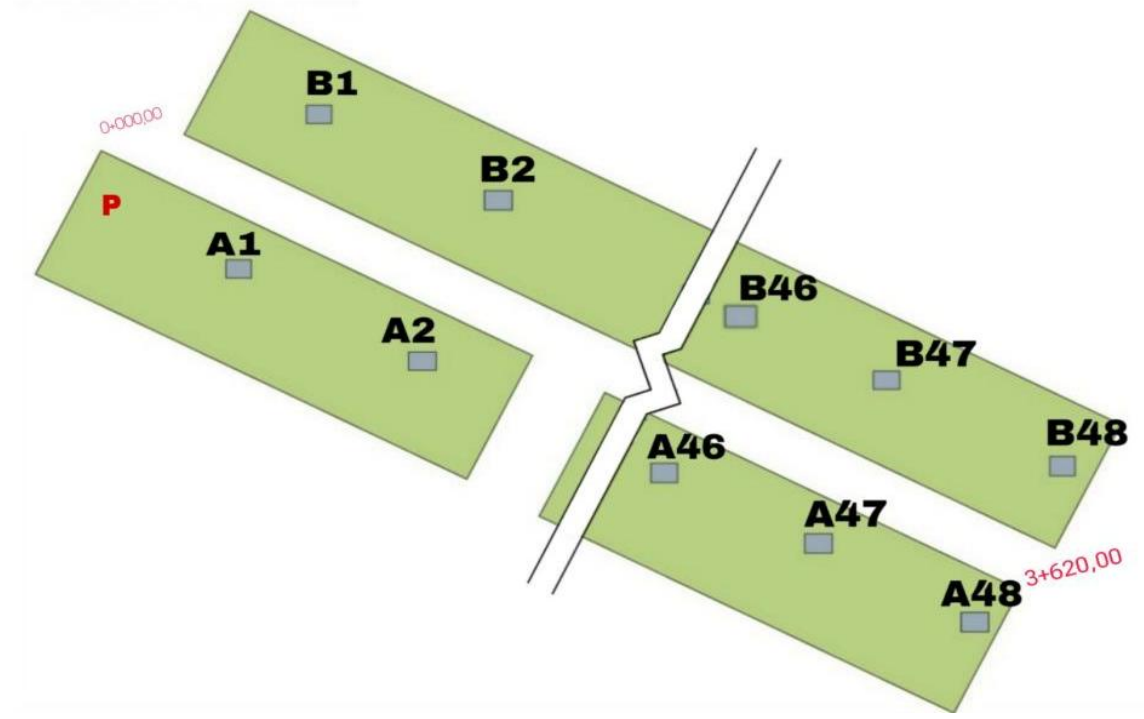


Figura 25. *Distribución de las cámaras.*

Fuente: Elaboración propia.

6.5.4 Tuberías

Las tuberías que se emplearán serán de 2 tipos; la primera es una tubería de HDPE de 2 pulg de diámetro, la cual será tendida a lo largo de todo el margen derecho, es decir, conectará lo que son las cámaras de prefijo “A”. El otro tipo de tuberías es una tubería de PVC-E40 de 1 pulg de diámetro que interconectarán los ramales en cada cámara, es decir serán las derivaciones del ramal derecho hacia el ramal izquierdo.

En la siguiente imagen se puede apreciar la distribución de estas tuberías, siendo la tubería HDPE representada de color rojo y las tuberías de PVC-E40 de color azul.

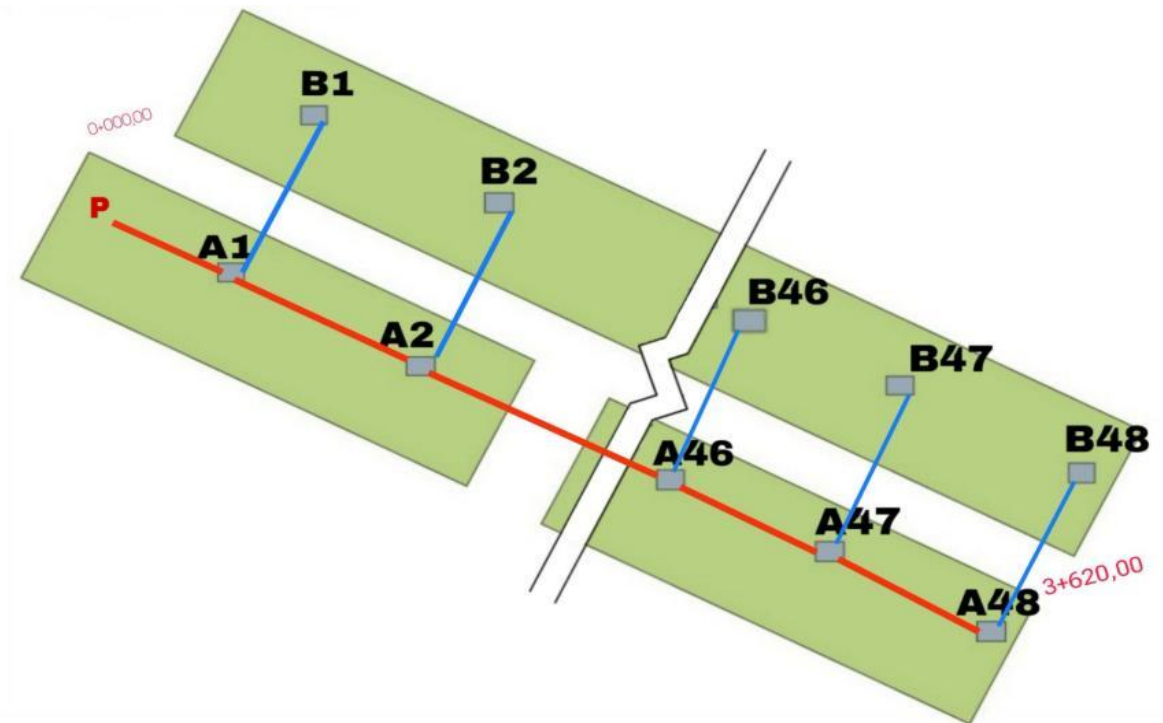


Figura 26. Distribución de las tuberías de la red principal.

Fuente: Elaboración propia.

Contemplados y definidos todos estos aspectos, a continuación se presentan los cálculos del diseño hidráulico de la red principal:

6.5.5 Factores constantes en el ramal derecho

6.5.5.1 Velocidad del flujo “ V_1 ”

Datos:

$$Q = 1,5 \text{ L/s} \approx 0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 2'' \approx 0,0508 \text{ m}$$

$$V_1 = \frac{Q}{A}$$

$$V_1 = \frac{0,0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,0508 \text{ m})^2}$$

$$V_1 = 0,74 \text{ m/s}$$

6.5.5.2 *Número de Reynolds “Re”*

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,74 \text{ m/s} * 0,0508 \text{ m}}{1,02 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 36.858,486$$

6.5.5.3 *Coeficiente de fricción “f₁”*

$$f_1 = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$f_1 = \frac{0,316}{36.858,486^{0,25}}$$

$$f_1 = \frac{0,316}{36.858,486^{0,25}}$$

$$f_1 = 0,0228$$

6.5.5.4 *Pérdida de carga unitaria por fricción en tubería HDPE*

$$h_{f1} = f_1 * \frac{L}{D} * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

$$h_{f1} = 0,0228 * \frac{1}{0,0508 \text{ m}} * \frac{(0,74 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{f1} = (0,0125 \text{ m. c. a./m})$$

6.5.6 Factores constantes en las salidas de cada cámara.

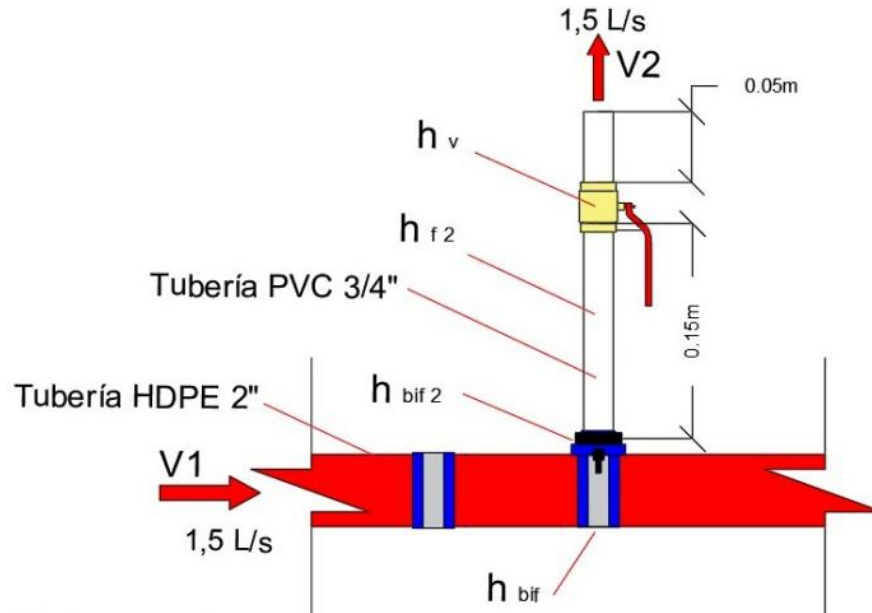


Figura 27. Tuberías en cámaras tipo "A_i"

Fuente: Elaboración propia.

6.5.6.1 Velocidad del flujo en el ducto de salida "V₂"

Datos:

$$Q=1,5 \text{ L/s} \approx 0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D= 3/4'' \approx 0,01905 \text{ m}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A}$$

$$V_2 = \frac{0,0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,01905 \text{ m})^2}$$

$$V_2 = 5,26 \text{ m/s}$$

6.5.6.2 Pérdida de carga por bifurcación "h_{bif}"

Para esta situación el coeficiente de pérdida de carga es 0,04 (Mott R. L., 1980, p.315).

$$h_{bif} = k_{bif} * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

$$h_{bif} = 0,04 * \frac{(0,74 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{bif} = 0,0011 \text{ m}$$

6.5.6.3 Pérdida de carga por bifurcación “ h_{bif2} ” de 2” → 3/4 “

Para esta situación el coeficiente de pérdida de carga es 1,28 (Mott R. L., 1980, p.315).

$$h_{bif2} = k_{bif} * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

$$h_{bif2} = 1,28 * \frac{(5,26\text{m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{bif2} = 0,036 \text{ m}$$

6.5.6.4 Número de Reynolds en la tubería de salida “ Re ”

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{5,26 \text{ m/s} * 0,01905 \text{ m}}{1,02 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 98.289,29$$

6.5.6.5 Coeficiente de fricción en las salidas de las cámaras “ f_2 ”

$$f_2 = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$f_2 = \frac{0,316}{98.289,29^{0,25}}$$

$$f_2 = \frac{0,316}{36858,486^{0,25}}$$

$$f_2 = 0,0178$$

6.5.6.6 Pérdida de carga por fricción de tubería “ h_{f2} ”.

$$h_{f2} = f_2 * \frac{L}{D} * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

$$h_{f2} = 0,0178 * \frac{0,2 \text{ m}}{0,01905 \text{ m}} * \frac{(5,26 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{f2} = 0,26 \text{ m}$$

6.5.6.7 Pérdida de carga por válvula de paso “ h_v ”

Para el caso de válvulas de paso, el coeficiente de pérdida de carga es 0,05 (Mott R. L., 1980, p.306).

$$h_v = k_v * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

$$h_v = 0,05 * \frac{(5,26\text{m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_v = 0,07 \text{ m}$$

6.5.6.8 Pérdida de carga en la salida de las cámaras "h_{sal}"

$$h_{sal} = h_{bif 2} + h_{f2} + h_v$$

$$h_{sal} = 0,036 \text{ m} + 0,26 \text{ m} + 0,07 \text{ m}$$

$$h_{sal} = 0,036 \text{ m} + 0,26 \text{ m} + 0,07 \text{ m}$$

$$h_{sal} = 0,37 \text{ m}$$

6.5.7 Factores constantes en las derivaciones A_i→B_i

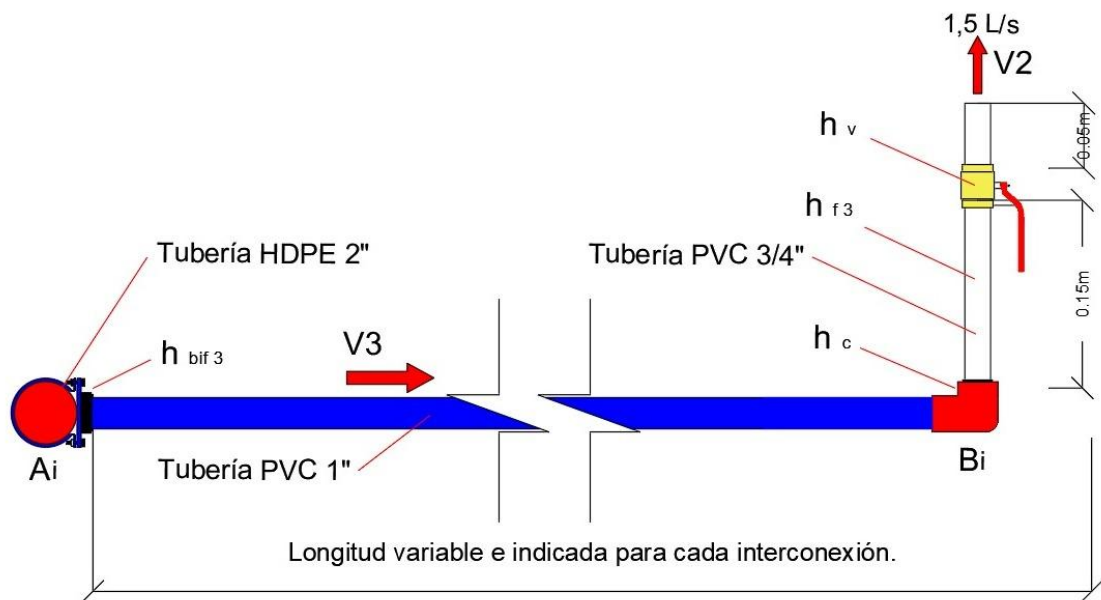


Figura 28. Derivación "A_i" hacia "B_i"

Fuente: Elaboración propia.

6.5.7.1 Velocidad del flujo "V₃"

Datos:

$$Q=1,5 \text{ L/s} \approx 0,0015\text{m}^3/\text{s}$$

$$D= 1'' \approx 0,0254\text{m}$$

$$V_1 = \frac{Q}{A}$$

$$V_1 = \frac{0,0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,0254\text{m})^2}$$

$$V_1 = 2,96 \text{ m/s}$$

6.5.7.2 Número de Reynolds “Re”

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{2,96 \text{ m/s} * 0,0254 \text{ m}}{1,02 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 73.716,97$$

6.5.7.3 Coeficiente de fricción “f₃”

$$f_3 = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$f_3 = \frac{0,316}{73.716,97^{0,25}}$$

$$f_3 = 0,019$$

6.5.7.4 Pérdida de carga unitaria por fricción en tubería PVC e40

$$h_{f3} = f_3 * \frac{L}{D} * \frac{V_3^2}{2 * g}$$

$$h_{f3} = 0,019 * \frac{1}{0,0254 \text{ m}} * \frac{(2,96 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{f3} = (0,334 \text{ m. c. a./m})$$

6.5.7.5 Pérdida de carga por bifurcación “h_{bif3}” de 2” → 1”

Para esta situación el coeficiente de pérdida de carga es 1,28 (Mott R. L., 1980, p.315).

$$h_{bif3} = k_{bif} * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

$$h_{bif3} = 1,28 * \frac{(2,96 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{bif3} = 0,57 \text{ m}$$

6.5.7.6 Pérdida de carga por codo “h_c”

El coeficiente de pérdida de carga utilizado es 0,4 (Jiménez, 2017).

$$h_c = k_c * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

$$h_c = 0,4 * \frac{(5,26 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_c = 0,56 \text{ m}$$

6.5.8 Pérdida de carga en cámaras “ h_{cam} ”.

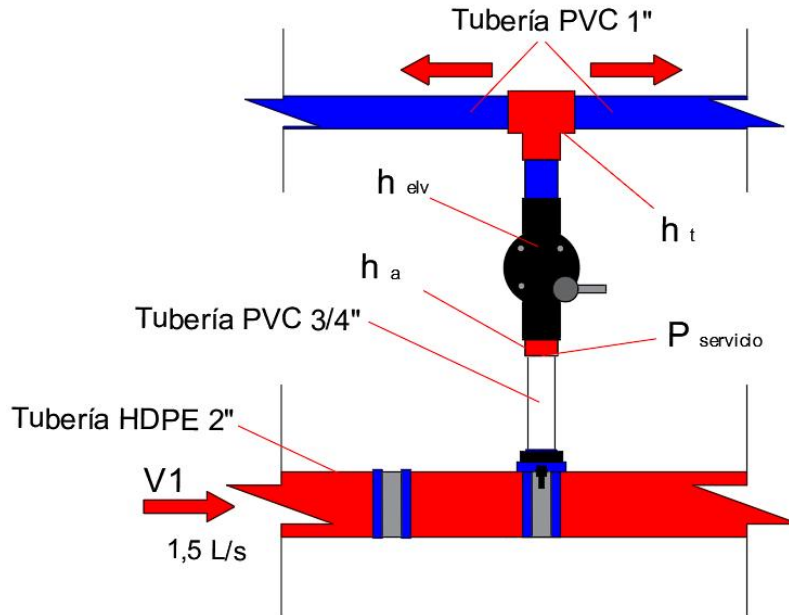


Figura 29. *Electroválvula en cámara "A_i"*

Fuente: Elaboración propia.

6.5.8.1 Pérdida de carga por ampliación 3/4" → 1"

Para esta ampliación se consideró un coeficiente de pérdida de carga igual a 0,3 como lo recomienda (Jiménez, 2017) en estos casos de ampliaciones graduales.

$$h_a = k_a * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

$$h_a = 0,3 * \frac{(5,26\text{m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_a = 0,14 \text{ m}$$

6.5.8.2 Pérdida de carga por electroválvula “ h_{elv} ”.

Del rango de pérdidas de carga en función del caudal que circula, se pudo interpolar la magnitud de esta pérdida como lo indican las especificaciones técnicas de la electroválvula de este proyecto (Hunterindustries, p.91).

$$h_{elv} = 3,8 \text{ m}$$

6.5.8.3 Pérdida de carga por tee “ h_t ”

El coeficiente de pérdida de carga considerado para este tipo de accesorio es 1,8 (Jiménez, 2017).

$$h_t = k_t * \frac{V_2^2}{2 * g}$$
$$h_t = 1,8 * \frac{(2,96m/s)^2}{2 * 9,81 m/s^2}$$
$$h_t = 0,8 m$$

Las pérdidas de carga por la implementación de electroválvula y accesorios en la cámara “ h_{cam} ” viene dada por la sumatoria de las pérdidas de carga previamente estimadas:

$$\sum h_f = h_a + h_{elv} + h_t = h_{cam}$$
$$h_{cam} = 0,14 m + 3,8 m + 0,8 m$$
$$\mathbf{h_{cam} = 4,74 m}$$

6.5.9 Presión requerida

La situación de presión más desfavorable es cuando se debe abastecer la cámara B32, ubicada en la progresiva 2+470,00 a una cota de 1.867,5 m.s.n.m.

La cuál requiere una presión de **37 m.c.a.** para el funcionamiento analizado.

Para la estimación de las pérdidas de carga en los diferentes tramos de la tubería se sistematizó los cálculos usando el software Excel como herramienta, para dicha sistematización de pérdidas de carga, se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach al igual que en las pérdidas de cargas localizadas estimadas anteriormente, y así obtener las pérdidas de carga entre cada cámara o también dicho “presiones de servicio de cada cámara”, tomando en cuenta las pérdidas de carga localizadas ya conocidas:

6.5.9.1 Presiones de servicio en cámaras tipo “ A_i ”.

Complementando los factores estimados anteriormente; para la variación de presión en cada cámara se contempló las diferentes cotas por las cuales está distribuida la red principal “ A_i ”, siendo esta Δh la diferencia de cota de la cámara anterior con la de servicio:

$$\Delta h = CotaA_{i-1} - CotaA_i$$

La sumatoria de pérdidas de carga para cada tramo de cámara a cámara tipo "A" contempla:

$$\sum h_f = h_{f1} + h_{bif} + \frac{h_{f2}}{2}$$

Considerando todos estos factores, la presión de servicio para cada cámara viene dada por la siguiente expresión:

$$PA_i = PA_{i-1} + \Delta h - \sum h_f$$

Conociendo ya las presiones de servicio para cada cámara " PsA_i ", se puede calcular las presiones de salida por cada hidrante, tomando en cuenta las pérdidas por accesorios, siendo estas iguales en cada cámara debido a la igualdad de su diseño:

$$PsA_i = PA_i - \frac{h_{f2}}{2} - h_{cam}$$

6.5.9.2 Presiones de servicio en cámaras tipo "Bi".

Generadas por las derivaciones en paralelo de las cámaras "A_i", y por las pérdidas de carga presentes en cada interconexión.

$$\sum h_f = h_{f3} + h_{bif3} + \frac{h_{f2}}{2} + h_c$$

Las presiones generadas en cada cámara se estimaron con la siguiente expresión:

$$PB_i = PA_i + \Delta h - \sum h_f$$

Conociendo ya las presiones de servicio para cada cámara " PB_i ", se puede calcular las presiones de salida por cada hidrante, tomando en cuenta las pérdidas por accesorios, siendo estas iguales en cada cámara debido a la igualdad de su diseño:

$$PsB_i = PB_i - \frac{h_{f2}}{2} - h_{cam}$$

Tabla 29. Presiones de salida en electroválvulas "Ai".

Tramo			COTA TUBERÍA		Longitud horizontal (m)	Longitud inclinada (m)	Pérdidas de carga		PRESIONES (m.c.a.)		
Nº	De:	a:	Entrada	Salida			hfl	Δh	PAi	PAi+1	PsAi+1
			(m.s.n.m.)	(m.s.n.m.)	(m)	(m)					
1	P	A1	1875,0	1874,0	40,00	40,01	0,50	-1,0	73	72,4	67,3
2	A1	A2	1874,0	1872,0	80,00	80,02	1,00	-2,0	72,4	73,4	68,3
3	A2	A3	1872,0	1868,5	80,00	80,08	1,00	-3,5	73,4	75,9	70,8
4	A3	A4	1868,5	1864,5	80,00	80,10	1,00	-4,0	75,9	78,8	73,8
5	A4	A5	1864,5	1863,0	80,00	80,01	1,00	-1,5	78,8	79,3	74,3
6	A5	A6	1863,0	1864,0	80,00	80,01	1,00	1,0	79,3	77,3	72,2
7	A6	A7	1864,0	1863,5	80,00	80,00	1,00	-0,5	77,3	76,8	71,7
8	A7	A8	1863,5	1863,5	80,00	80,00	1,00	0,0	76,8	75,8	70,7
9	A8	A9	1863,5	1863,5	80,00	80,00	1,00	0,0	75,8	74,8	69,7
10	A9	A10	1863,5	1864,5	80,00	80,01	1,00	1,0	74,8	72,8	67,7
11	A10	A11	1864,5	1865,0	80,00	80,00	1,00	0,5	72,8	71,3	66,2
12	A11	A12	1865,0	1863,0	80,00	80,02	1,00	-2,0	71,3	72,3	67,2
13	A12	A13	1863,0	1859,0	80,00	80,10	1,00	-4,0	72,3	75,3	70,2
14	A13	A14	1859,0	1856,5	80,00	80,04	1,00	-2,5	75,3	76,8	71,7
15	A14	A15	1856,5	1855,5	80,00	80,01	1,00	-1,0	76,8	76,8	71,7
16	A15	A16	1855,5	1854,5	80,00	80,01	1,00	-1,0	76,8	76,8	71,7
17	A16	A17	1854,5	1852,5	80,00	80,02	1,00	-2,0	76,8	77,8	72,7
18	A17	A18	1852,5	1851,5	80,00	80,01	1,00	-1,0	77,8	77,8	72,7
19	A18	A19	1851,5	1852,5	70,00	70,01	0,88	1,0	77,8	75,9	70,8
20	A19	A20	1852,5	1852,0	80,00	80,00	1,00	-0,5	75,9	75,4	70,3
21	A20	A21	1852,0	1852,5	80,00	80,00	1,00	0,5	75,4	73,9	68,8
22	A21	A22	1852,5	1852,5	40,00	40,00	0,50	0,0	73,9	73,4	68,3
23	A22	A23	1852,5	1853,5	80,00	80,01	1,00	1,0	73,4	71,4	66,3
24	A23	A24	1853,5	1855,5	80,00	80,02	1,00	2,0	71,4	68,4	63,3
25	A24	A25	1855,5	1858,0	80,00	80,04	1,00	2,5	68,4	64,9	59,8
26	A25	A26	1858,0	1860,0	80,00	80,02	1,00	2,0	64,9	61,9	56,8
27	A26	A27	1860,0	1862,5	80,00	80,04	1,00	2,5	61,9	58,4	53,3
28	A27	A28	1862,5	1865,0	80,00	80,04	1,00	2,5	58,4	54,9	49,8
29	A28	A29	1865,0	1867,5	80,00	80,04	1,00	2,5	54,9	51,4	46,3
30	A29	A30	1867,5	1869,0	80,00	80,01	1,00	1,5	51,4	48,9	43,8
31	A30	A31	1869,0	1868,5	80,00	80,00	1,00	-0,5	48,9	48,3	43,2
32	A31	A32	1868,5	1867,5	80,00	80,01	1,00	-1,0	48,3	48,3	43,2
33	A32	A33	1867,5	1866,0	80,00	80,01	1,00	-1,5	48,3	48,8	43,7
34	A33	A34	1866,0	1862,5	80,00	80,08	1,00	-3,5	48,8	51,3	46,2
35	A34	A35	1862,5	1858,5	80,00	80,10	1,00	-4,0	51,3	54,3	49,2
36	A35	A36	1858,5	1853,0	80,00	80,19	1,00	-5,5	54,3	58,8	53,7

37	A36	A37	1853,0	1847,5	80,00	80,19	1,00	-5,5	58,8	63,3	58,2
38	A37	A38	1847,5	1842,5	80,00	80,16	1,00	-5,0	63,3	67,3	62,2
39	A38	A39	1842,5	1838,0	80,00	80,13	1,00	-4,5	67,3	70,8	65,7
40	A39	A40	1838,0	1837,5	80,00	80,00	1,00	-0,5	70,8	70,3	65,2
41	A40	A41	1837,5	1839,0	40,00	40,03	0,50	1,5	70,3	68,3	63,2
42	A41	A42	1839,0	1842,0	65,00	65,07	0,82	3,0	68,3	64,5	59,4
43	A42	A43	1842,0	1846,0	80,00	80,10	1,00	4,0	64,5	59,5	54,4
44	A43	A44	1846,0	1848,5	55,00	55,06	0,69	2,5	59,5	56,3	51,2
45	A44	A45	1848,5	1852,0	80,00	80,08	1,00	3,5	56,3	51,8	46,7
46	A45	A46	1852,0	1853,5	80,00	80,01	1,00	1,5	51,8	49,3	44,2
47	A46	A47	1853,5	1855,5	80,00	80,02	1,00	2,0	49,3	46,3	41,2
48	A47	A48	1855,5	1856,5	40,00	40,01	0,50	1,0	46,3	44,8	39,7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Presiones de salida en electroválvulas "Bi".

Tramo			COTA TUBERÍA		Longitud horizontal	Longitud inclinada	Pérdidas de carga		PRESIONES (m.c.a.)		
N°	De:	a:	Entrada	Salida			hf3	Δh	PAi	PBi	PsBi+1
			(m.s.n.m.)	(m.s.n.m.)	(m)	(m)					
1	A1	B1	1874,0	1874,0	24,00	24,00	8,02	0,0	72,4	63,8	58,7
2	A2	B2	1872,0	1871,5	25,00	25,00	8,35	-0,5	73,4	64,9	59,9
3	A3	B3	1868,5	1868,5	23,00	23,00	7,68	0,0	75,9	67,6	62,5
4	A4	B4	1864,5	1865	25,00	25,00	8,35	0,5	78,8	69,4	64,4
5	A5	B5	1863,0	1864,5	26,00	26,04	8,70	1,5	79,3	68,6	63,5
6	A6	B6	1864,0	1865,5	24,00	24,05	8,03	1,5	77,3	67,3	62,2
7	A7	B7	1863,5	1864,5	24,00	24,02	8,03	1,0	76,8	67,3	62,2
8	A8	B8	1863,5	1864,5	24,00	24,02	8,03	1,0	75,8	66,3	61,2
9	A9	B9	1863,5	1864,5	24,00	24,02	8,03	1,0	74,8	65,3	60,2
10	A10	B10	1864,5	1865,5	22,00	22,02	7,36	1,0	72,8	63,9	58,9
11	A11	B11	1865,0	1865,5	23,00	23,01	7,69	0,5	71,3	62,6	57,5
12	A12	B12	1863,0	1863,5	24,00	24,01	8,02	0,5	72,3	63,2	58,2
13	A13	B13	1859,0	1859,5	26,00	26,00	8,69	0,5	75,3	65,6	60,5
14	A14	B14	1856,5	1857	24,00	24,01	8,02	0,5	76,8	67,7	62,7
15	A15	B15	1855,5	1856	26,00	26,00	8,69	0,5	76,8	67,0	62,0
16	A16	B16	1854,5	1854,5	25,00	25,00	8,35	0,0	76,8	67,9	62,8
17	A17	B17	1852,5	1852,5	23,00	23,00	7,68	0,0	77,8	69,5	64,5
18	A18	B18	1851,5	1851,5	18,00	18,00	6,01	0,0	77,8	71,2	66,2
19	A19	B19	1852,5	1852,5	17,00	17,00	5,68	0,0	75,9	69,6	64,6
20	A20	B20	1852,0	1851,5	21,00	21,01	7,02	-0,5	75,4	68,3	63,2
21	A21	B21	1852,5	1852	21,00	21,01	7,02	-0,5	73,9	66,8	61,7

22	A22	B22	1852,5	1852,5	18,00	18,00	6,01	0,0	73,4	66,8	61,7
23	A23	B23	1853,5	1853,5	15,00	15,00	5,01	0,0	71,4	65,8	60,7
24	A24	B24	1855,5	1856	15,00	15,01	5,01	0,5	68,4	62,3	57,2
25	A25	B25	1858,0	1858	12,00	12,00	4,01	0,0	64,9	60,3	55,2
26	A26	B26	1860,0	1860	14,00	14,00	4,68	0,0	61,9	56,6	51,6
27	A27	B27	1862,5	1862,5	15,00	15,00	5,01	0,0	58,4	52,8	47,7
28	A28	B28	1865,0	1865	14,00	14,00	4,68	0,0	54,9	49,6	44,6
29	A29	B29	1867,5	1867,5	15,00	15,00	5,01	0,0	51,4	45,8	40,7
30	A30	B30	1869,0	1869,5	14,00	14,01	4,68	0,5	48,9	43,1	38,1
31	A31	B31	1868,5	1869,5	17,00	17,03	5,69	1,0	48,3	41,1	36,0
32	A32	B32	1867,5	1867,5	15,00	15,00	5,01	0,0	48,3	42,8	37,7
33	A33	B33	1866,0	1864,5	18,00	18,06	6,03	-1,5	48,8	43,7	38,7
34	A34	B34	1862,5	1861,5	16,00	16,03	5,36	-1,0	51,3	46,4	41,3
35	A35	B35	1858,5	1858,5	17,00	17,00	5,68	0,0	54,3	48,1	43,0
36	A36	B36	1853,0	1854	18,00	18,03	6,02	1,0	58,8	51,2	46,2
37	A37	B37	1847,5	1848,5	18,00	18,03	6,02	1,0	63,3	55,7	50,7
38	A38	B38	1842,5	1843	17,00	17,01	5,68	0,5	67,3	60,6	55,5
39	A39	B39	1838,0	1838	18,00	18,00	6,01	0,0	70,8	64,2	59,2
40	A40	B40	1837,5	1837,5	18,00	18,00	6,01	0,0	70,3	63,7	58,6
41	A41	B41	1839,0	1839	20,00	20,00	6,68	0,0	68,3	61,0	56,0
42	A42	B42	1842,0	1840,5	20,00	20,06	6,70	-1,5	64,5	58,7	53,6
43	A43	B43	1846,0	1844	21,00	21,10	7,05	-2,0	59,5	53,8	48,8
44	A44	B44	1848,5	1846,5	19,00	19,10	6,38	-2,0	56,3	51,3	46,3
45	A45	B45	1852,0	1850,5	17,00	17,07	5,70	-1,5	51,8	47,0	41,9
46	A46	B46	1853,5	1853	17,00	17,01	5,68	-0,5	49,3	43,5	38,5
47	A47	B47	1855,5	1855,5	21,00	21,00	7,02	0,0	46,3	38,7	33,6
48	A48	B48	1856,5	1856	21,00	21,01	7,02	-0,5	44,8	37,7	32,6

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que con una presión de arranque de 73 m.c.a. se puede satisfacer la necesidad de generar un poco más de los 37 m.c.a. que requiere la cámara B32.

Sin embargo, cumpliendo con la presión requerida en la situación más crítica, las presiones para las demás cámaras varían de la siguiente manera:

Tabla 31. *Presiones en las cámaras con electroválvulas.*

Cámara	Presiones (m.c.a.)			
	Mínima admisible	Máxima admisible	Presión requerida	Presión generada
A01	32,0	57,0	47,0	67,3
A02	35,0	58,0	55,0	68,3
A03	32,0	58,0	50,0	70,8
A04	38,0	56,0	47,0	73,8
A05	40,0	59,0	55,0	74,3
A06	36,5	58,0	54,0	72,2
A07	45,0	58,0	52,0	71,7
A08	45,5	67,0	54,0	70,7
A09	44,0	63,5	54,0	69,7
A10	40,0	59,0	55,0	67,7
A11	36,5	57,0	50,0	66,2
A12	36,0	59,0	51,0	67,2
A13	38,5	59,0	52,0	70,2
A14	42,0	61,0	52,0	71,7
A15	40,0	61,0	54,0	71,7
A16	36,0	58,0	54,0	71,7
A17	20,0	41,0	29,5	72,7
A20	20,0	43,0	23,0	68,8
A25	27,0	49,0	34,0	59,8
A29	28,0	48,0	45,0	46,3
A31	29,0	47,0	33,0	43,2
A34	30,5	42,5	37,0	46,2
A35	29,0	48,5	46,0	49,2
A38	33,0	46,0	40,0	62,2
A41	36,5	47,0	45,0	63,2
A44	32,5	47,5	41,0	51,2

A47	30,5	48,0	43,0	41,2
B01	33,0	46,0	36,0	58,7
B07	20,0	49,0	25,0	62,2
B11	28,0	44,0	30,0	57,5
B15	26,0	49,0	30,0	62,0
B17	35,0	58,0	53,0	64,5
B19	35,0	57,5	47,0	64,6
B21	39,0	57,0	51,0	61,7
B23	29,0	49,0	43,0	60,7
B25	27,0	48,0	46,0	55,2
B27	33,5	48,5	47,0	47,7
B30	36,0	49,0	46,0	38,1
B32	36,0	48,5	37,0	37,7
B34	26,5	48,5	30,0	41,3
B35	32,5	50,0	46,0	43,0
B38	34,0	46,0	40,0	55,5
B41	36,0	49,0	44,0	56,0
B44	34,0	49,0	41,0	46,3
B47	28,0	49,0	42,0	33,6

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que las presiones generadas exceden las presiones requeridas e incluso los rangos de presiones en algunas cámaras, por lo cual para las demás electroválvulas se optó por la instalación de reguladores de presión del tipo AS-ADJ (Hunterindustries, p 98).

6.5.10 Selección de bomba

Para la selección de la bomba viene dada por la suma de pérdidas de carga originadas para el cumplimiento de la cámara de riego mas crítica, es decir la que mas presión de arranque necesita, siendo la cámara B32 en este proyecto.

La tabla 19 muestra que para generar la presión requerida en la cámara B32 es necesaria una presión de arranque de 73 m.c.a.

6.5.10.1 Potencia requerida

(Hoogendam & Ríos, 2008, p.85) indican que la potencia requerida de una bomba se puede estimar con la siguiente expresión:

$$P = \frac{9,81 * Q * P_t}{E_{fg}}$$
$$P = \frac{9,81 * 0,0015 \text{ m}^3/\text{s} * 72,4 \text{ m. c. a.}}{0,75}$$
$$P = \frac{9,81 * 0,0015 \text{ m}^3/\text{s} * 72,4 \text{ m. c. a.}}{0,75}$$
$$P = 1,42 \text{ kW} \approx \mathbf{2 \text{ HP}}$$

6.5.10.2 Características de bomba adquirida.

Las características de la bomba adquirida son las siguientes:

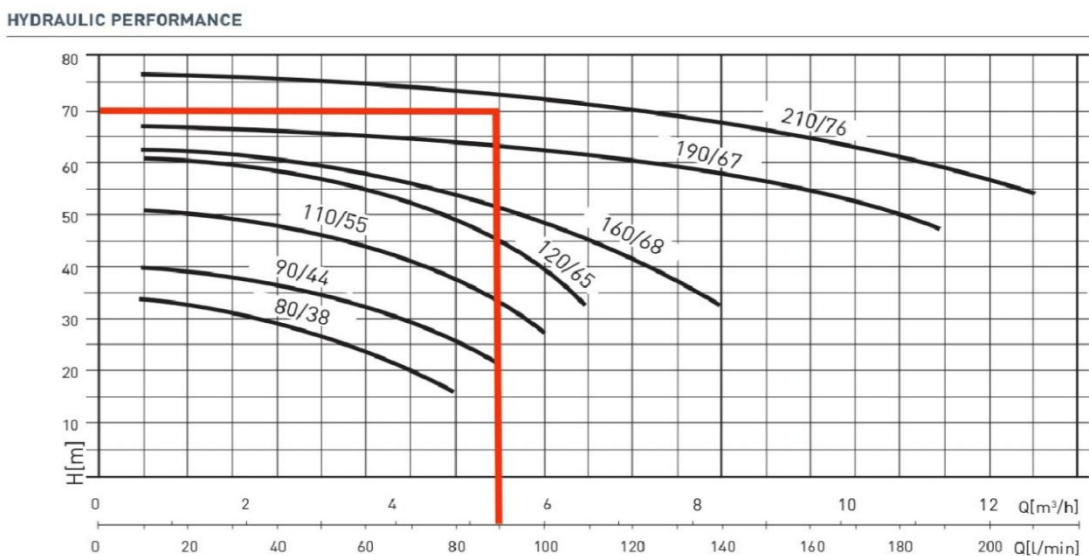


Figura 30. Curva característica de selección de bomba.

Fuente: Catálogo bombas centrífugas Nocchi CB Agencias generales S.A.

MODEL	Motor output (P2)		Motor output (P1)		VOLT	In (A)	μF	Q	L/min	20	40	50	80	90	100	110	140	170	190	210	
	HP	kW	HP	kW						m³/h	1.2	2.4	3.0	4.8	5.4	6.0	6.6	8.4	9.6	10.8	12.0
CB 80/38 M CB 80/38 T	0.75	0.55	1.5 1.4	1.1 1.1	1 - 220 V 3 - 220-380 V	5 3.4-2.0	1.6	m.c.a. / m.w.c.	33	30.2	27.9	17									
CB 90/44 M CB 90/44 T	1	0.74	1.9 1.2	1.4 0.9	1 - 220 V 3 - 220-400 V	6.1 2.9-1.7	20		39.5	37	35.2	27	21								
CB 110/55 M CB 110/55 T	1.5	1.1	2.5 2.4	1.9 1.8	1 - 220 V 3 - 220-400 V	8.6 5.5-3.2	35		50.8	48.8	47.1	38.4	33.4	27.5							
CB 120/65 M CB 120/65 T	2	1.5	3.2 2.8	2.4 2.1	1 - 220 V 3 - 220-400 V	10.8 6.9-4.0	40		60.5	58.6	56.9	49.8	46.5	40.3	32.5						
CB 160/68 T	3	2.2	3.5	2.6	3 - 220-400 V	8.1-4.7			60.5	59.3	54.1	51.6	48.4	44.6	32						
CB 190/67 T	4	3	5.5	4.1	3 - 220-400 V	12.5-7.2				67	64.8	63.9	62.5	62	58	53.5					
CB 210/76 T	5	4	6.1	4.6	3 - 220-400 V	15.1-8.7					76.5	73.9	72.9	71.8	70.5	66.8	62	58.3	54		

Figura 31. Modelo de bombas.

Fuente: Catálogo bombas centrífugas Nocchi CB Agencias generales S.A.

Basados en el requerimiento y siendo el tipo de bomba adquirida la **210/76T**, se corrobora que la misma es la adecuada para el sistema de riego diseñado .

CAPÍTULO VII
PRESUPUESTO GENERAL

7.1 Presupuesto para alternativa 1

La alternativa 1 tiene un costo de 775.795,97 Bs. (Setecientos setenta y cinco mil setecientos noventa y cinco ⁹⁷/₁₀₀ bolivianos); cuyo monto se desglosa en 9 módulos presentados en la tabla 32.

Tabla 32. Presupuesto de alternativa 1.

Módulo	Descripción	Costo	Moneda
1	Obras preliminares	36.902,66	Bolivianos.
2	Medidas de mitigación ambienta	66.603,64	Bolivianos.
3	Red de distribución margen derecho	253.253,43	Bolivianos.
4	Cámara de llaves para riego de margen derecho	65.728,14	Bolivianos.
5	Red de distribución margen derecho	254.641,11	Bolivianos.
6	Cámara de llaves para riego margen izquierdo	65.728,14	Bolivianos.
7	Bomba	11.955,78	Bolivianos.
8	Asfalto	20.023,34	Bolivianos.
9	Anclajes	2.959,74	Bolivianos.

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Presupuesto para alternativa 2

La alternativa 2 tiene un costo de 604.727,15 Bs. (Seiscientos cuatro mil setecientos veintisiete ¹⁵/₁₀₀ bolivianos); cuyo monto se desglosa en 9 módulos presentados en la tabla 33.

Tabla 33. Presupuesto de alternativa 2.

Módulo	Descripción	Costo	Moneda
1	Obras preliminares	36.902,66	Bolivianos.
2	Medidas de mitigación ambienta	66.603,64	Bolivianos.
3	Red de distribución margen derecho	253.253,43	Bolivianos.
4	Cámara de llaves para riego de margen derecho	65.728,14	Bolivianos.
5	Red de distribución margen izquierdo	62.163,60	Bolivianos.
6	Cámara de llaves para riego margen izquierdo	61.327,02	Bolivianos.
7	Bomba	11.955,78	Bolivianos.

8	Asfalto	45.313,02	Bolivianos.
9	Anclajes	1.479,87	Bolivianos.

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Presupuesto para el diseño final

El diseño final tiene un costo de 977.487,90 Bs. (Novecientos setenta y siete mil cuatrocientos ochenta y siete ⁹⁰/₁₀₀ bolivianos); cuyo monto se desglosa en 10 módulos presentados en la tabla 34.

Tabla 34. *Presupuesto diseño final.*

Módulo	Descripción	Costo	Moneda
1	Obras preliminares	36.902,66	Bolivianos.
2	Medidas de mitigación ambiental	66.603,64	Bolivianos.
3	Red de distribución margen derecho	432.302,15	Bolivianos.
4	Cámara de llaves para riego de margen derecho	81.545,94	Bolivianos.
5	Red de distribución margen izquierdo	236.608,79	Bolivianos.
6	Cámara de llaves para riego margen izquierdo	64.776,06	Bolivianos.
7	Bomba	11.955,78	Bolivianos.
8	Asfalto	45.313,02	Bolivianos.
9	Anclajes	1.479,87	Bolivianos.
10	Provisión de aspersores	243.292,00	Bolivianos.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Existen diversos sistemas de riego, los cuales sirven para diferentes tipos de cultivos, diferentes relieves topográficos, zonas climáticas. Depende de cada uno de estos factores para escoger y diseñar el sistema de riego que mejor se adapte y que mayores beneficios brinde para el caso específico.

La geografía y topografía del terreno son factores muy importantes al momento de escoger el método de riego, y la elaboración del diseño del sistema de riego ya que, debido a las diferentes cotas en todo el terreno, la presión de abastecimiento en cada cámara es directamente afectada.

El primer paso para tener un sistema de riego eficiente, es determinar la cantidad de agua que demanda el cultivo.

El agua necesaria también depende de la cantidad de agua que la lluvia proporciona ya que en los meses de lluvia, la demanda de agua es cubierta por las precipitaciones en la zona.

La selección de los aspersores es la adecuada debido a que el patrón de rociado se adecua al espacio y a la presión de agua disponible.

El sistema de riego con implementación de hidrantes es mucho más económico que el sistema de riego tecnificado (alternativa 1 y 2); en este caso en particular es 39,87% y 50,84% más económico respectivamente.

Tabla 35. *Presupuesto general.*

Alternativa 1	Alternativa 2	Diseño final
775.795,97 bs	604.727,15 bs	977.487,90 bs.

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia entre la alternativa 1 y 2 prima en la construcción de la red de distribución del margen izquierdo y en el costo.

Pero al tratarse de un proyecto beneficiario para una entidad pública; lo que rige primordialmente para su ejecución es el factor económico. En consenso con los directivos de obras públicas (Ing. Marcelo Zenteno) y el departamento de ornato público (Ing. Marcelo Escobar e Ing. Raúl Arteaga),

Y comprobada la hipótesis al final de la elaboración del presente trabajo, se concluye que la mejor alternativa base para la implementación del sistema de riego tecnificado para las áreas verdes de la avenida Panamericana, desde la rotonda de Morros Blancos hasta El Portillo en la ciudad de Tarija-Bolivia, inicialmente es la alternativa 2 debido al bajo costo de la implementación de ésta y la base de la alternativa 3 que combinadas comprueba la hipótesis planteada.

Las precipitaciones de los meses de diciembre y enero cubren por completo los volúmenes de riego necesario, por lo cual en estos meses la operación del sistema de riego no es necesaria.

Definida por la calidad y vida útil de los principales materiales, se concluye que la vida útil del sistema de riego es de 30 años.

8.2 Recomendaciones

-Debido a la implementación de una bomba centrífuga alimentada por energía eléctrica suministrada por la empresa de servicios eléctricos de Tarija (SETAR) se recomienda al gobierno municipal de Tarija (G.A.M.T.) tomar en cuenta en la elaboración de su presupuesto de gestión el costo de las 1.105,15 horas de energía eléctrica adicional.

-Si bien la estimación de las pérdidas de carga de manera clásica es fiable, comprensible y sobre todo cuando el diseño es pequeño o uniforme; esta pasa a ser tediosa e incluso confusa cuando hablamos de cientos de tramos de tuberías distribuidas de múltiples maneras; si bien se atenuó en gran parte esta situación con la ayuda del software “watercad”, se recomienda para futuros diseños de similar envergadura usar este y/u otros tipos de softwares similares para facilitar el diseño.

-Se recomienda que los mantenimientos de los componentes del sistema hidráulico se realicen en los meses de diciembre y enero ya que en estos dos meses la operación del sistema de riego no es necesaria.

-Cuando el sistema de riego comience a operar se recomienda que las primeras electroválvulas en funcionar sean las del final de la red, ya que al abrirse estas válvulas se evita la acumulación de aire al final de la red.

-Basado en el eslogan redundante de este trabajo (técnicamente viable y económicamente factible. Siendo más práctica la alternativa 1 ya que en su diseño el trazo de tuberías por superficies asfálticas es menor comparado con la alternativa 2.

Tabla 36. *Cantidad de asfalto retirado.*

Alternativa 1	Alternativa 2
107,22 m ²	242,64 m ²

Fuente: Elaboración propia.

Por ende, mientras se gestionan los recursos económicos para la implementación del sistema tecnificado por aspersión, se recomienda la inmediata implementación de la alternativa 2 para atenuar la problemática de la situación (la inexistencia de un sistema de riego). La cual satisface el riego de las redundantes áreas verdes en el proyecto.

Vale remarcar esta recomendación, ya que la alternativa 2 no quedaría obsoleta al momento de implementar el sistema tecnificado por aspersión, porque este diseño de sistema de riego tecnificado, toma como base la alternativa 2.

-Observándose en las especificaciones técnicas, se recomienda revisar periódicamente cada 2 años el estado de las electroválvulas, las cuales generalmente necesitan un cambio de solenoide.

-La bomba de agua con la que cuenta el municipio la cual se propuso utilizar en el diseño final del sistema de riego, cumple con los requerimientos mínimos necesarios para el funcionamiento del mismo; por lo cual se recomienda utilizar esta bomba.

-El requerimiento de energía eléctrica final del proyecto es considerable. Siendo este un proyecto beneficioso para el medio ambiente y de inversión pública, se recomienda que en un futuro cercano se opte por un abastecimiento de energía eléctrica amigable con el medio ambiente, como puede ser la instalación de paneles solares.

-Un error común en los controladores de riego es cuando la pantalla marca “ERR”, esto se debe a algún corto circuito en el cableado de alguna electroválvula, el controlador indicará la electroválvula en problemas, en ocasiones es necesario reiniciar el controlador para quitar el error.

-Al momento de conectar los cables de corriente y neutro del controlador a cada electroválvula, se recomienda dejar un sobrante de 1 m por cable para comodidad de instalación y mantenimiento.

-En las electroválvulas que requieren un controlador de presión se recomienda colocar en la posición adecuada el indicador de la presión a regular, la cual se indica en las tablas de “rangos de presiones”.

-Para detectar posibles fallas, se recomienda comparar las presiones de servicio indicadas con las presiones que marcan los manómetros en las cámaras de control.

-Debido a las equidistancias entre cada cámara; mientras opere el sistema de riego mediante el uso de hidrantes, se recomienda utilizar mangueras de 50 m de longitud para regar las áreas verdes necesarias antes de requerir cambiar de conexión de hidrante.

-La programación de cada controlador no es complicada pero sí minuciosa debido a la variedad de frecuencias de riego a lo largo de todo el año, por lo cual se recomienda hacer énfasis en la adecuada capacitación de la programación de cada uno de los controladores, las cuales se pueden realizar de manera libre y gratuita debido a la gran variedad de manuales y videos disponibles en internet.