



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y  
RIEGO ALIMENTADO MEDIANTE UN PANEL FOTOVOLTAICO  
CON ELECTROVÁLVULAS Y ASPERSORES PARA LA  
IRRIGACIÓN DE LA HOSTERÍA CASA MAYA.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:**

**IVÁN ALEXANDER ALULEMA BEJARANO**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y  
RIEGO ALIMENTADO MEDIANTE UN PANEL FOTOVOLTAICO  
CON ELECTROVÁLVULAS Y ASPERSORES PARA LA  
IRRIGACIÓN DE LA HOSTERÍA CASA MAYA.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: IVÁN ALEXANDER ALULEMA BEJARANO**

**DIRECTOR: Ing. NELSON SANTIAGO CHUQUIN VASCO**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Iván Alexander Alulema Bejarano

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

Yo, Iván Alexander Alulema Bejarano, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de noviembre del 2022



**Iván Alexander Alulema Bejarano**

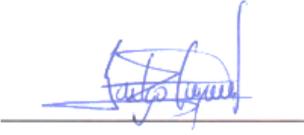
**060405935-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y RIEGO ALIMENTADO MEDIANTE UN PANEL FOTOVOLTAICO CON ELECTROVÁLVULAS Y ASPERSORES PARA LA IRRIGACIÓN DE LA HOSTERÍA CASA MAYA**, realizado por: **IVÁN ALEXANDER ALULEMA BEJARANO**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

|   | FIRMA  | FECHA      |
|---|--|------------|
| Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>                          |  | 2022-11-30 |
| Ing. Nelson Santiago Chuquín Vasco<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b> |  | 2022-11-30 |
| Ing. Esteban Augusto Guevara Cabezas<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>                         |  | 2022-11-30 |

## **DEDICATORIA**

A mis padres Iván y Adelaida, personas ejemplares que me han enseñado que todo es posible cuando eres perseverante. Su disponibilidad, apoyo y cuidado han sido factores esenciales para que yo cumpla con esta meta.

A mis hermanos Jhonny, Pablo y Carlos quienes con su actitud amistosa han sabido alegrarme la vida, por creer en mi capacidad en todo momento. Realmente han sido amigos que me han enseñado el sacrificio, la constancia y la amabilidad.

A mi sobrino Aaron, quien con su personalidad y acciones ha llegado a ganarse mi cariño.

Iván

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por su infinito amor, apoyo y confianza en toda la etapa de mi vida estudiantil.

A mis hermanos por compartir fragmentos importantes en momentos difíciles, principalmente con el deporte, que ha sido fundamental en mi superación personal.

A mis amigos por estar pendiente de mí, especialmente en los momentos más adversos.

A mis docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por haber compartido sus conocimientos a lo largo de este período. De manera particular quiero agradecer al Ing. Nelson Chuquín y al Ing. Esteban Guevara quienes con su disponibilidad y profesionalismo han sabido encaminar este proyecto.

Iván

## TABLA DE CONTENIDO

|   |          |
|---|----------|
| INDICE DE TABLAS.....   | ix       |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | xi       |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....  | xiv      |
| RESUMEN .....   | xv       |
| SUMMARY .....   | xvi      |
| INTRODUCCIÓN .....  | 1        |
| <b>CAPÍTULO I</b>   |          |
| <b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>                         | <b>3</b> |
| 1.1 Antecedentes.....   | 3        |
| 1.2 Delimitación.....   | 4        |
| 1.2.1 <i>Delimitación espacial</i> .....                        | 4        |
| 1.2.2 <i>Delimitación sectorial</i> .....                       | 4        |
| 1.3 Formulación del problema.....                               | 4        |
| 1.4 Objetivos .....   | 5        |
| 1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....                             | 5        |
| 1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....                        | 5        |
| <b>CAPÍTULO II</b>  |          |
| <b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b> | <b>6</b> |
| 2.1 Energía.....  | 6        |
| 2.1.1 <i>Energía eléctrica</i> .....                            | 6        |
| 2.1.2 <i>Energía hidráulica</i> .....                           | 6        |
| 2.1.3 <i>Energía renovable</i> .....                            | 6        |
| 2.2 Instrumentos.....   | 6        |
| 2.2.1 <i>GPS</i> .....  | 6        |
| 2.2.2 <i>Caudalímetro</i> .....                                 | 7        |
| 2.2.3 <i>Voltímetro</i> .....                                   | 7        |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.2.4   | <i>Amperímetro</i> .....                          | 7  |
| 2.3     | <b>Riego por aspersión</b> .....                  | 8  |
| 2.4     | <b>Aspersores</b> .....                           | 8  |
| 2.4.1   | <i>Tipos de aspersores</i> .....                  | 9  |
| 2.4.1.1 | <i>Aspersores de impacto</i> .....                | 9  |
| 2.4.1.2 | <i>Aspersores de turbina o engranaje</i> .....    | 9  |
| 2.4.1.3 | <i>Aspersores rotativos o de recreación</i> ..... | 10 |
| 2.5     | <b>Bombas</b> .....                               | 10 |
| 2.5.1   | <i>Tipos de bombas</i> .....                      | 11 |
| 2.5.1.1 | Bomba rotodinámica.....                           | 11 |
| 2.5.1.2 | Bomba volumétrica.....                            | 11 |
| 2.6     | <b>Válvula de control</b> .....                   | 13 |
| 2.6.1   | <i>Estilos de válvulas de control</i> .....       | 14 |
| 2.6.1.1 | Válvulas de globo .....                           | 14 |
| 2.6.1.2 | Válvula de mariposa .....                         | 14 |
| 2.6.1.3 | Válvula de compuerta .....                        | 15 |
| 2.6.1.4 | Válvula de diafragma.....                         | 15 |
| 2.6.1.5 | Válvula de apriete .....                          | 16 |
| 2.7     | <b>Tuberías</b> .....                             | 17 |
| 2.8     | <b>Accesorios</b> .....                           | 17 |
| 2.9     | <b>Cavitación</b> .....                           | 18 |
| 2.10    | <b>Golpe de ariete</b> .....                      | 18 |
| 2.11    | <b>Balance de energía sistema de bombeo</b> ..... | 18 |
| 2.11.1  | <i>Cabeza estática</i> .....                      | 19 |
| 2.11.2  | <i>Cabeza de velocidad</i> .....                  | 19 |
| 2.11.3  | <i>Cabeza por fricción</i> .....                  | 20 |
| 2.12    | <b>Sistemas de automatización</b> .....           | 22 |
| 2.12.1  | <i>Controlador</i> .....                          | 22 |

|                         |  |    |
|-------------------------|--|----|
| 2.12.2                  | <i>Electroválvulas</i> .....                               | 23 |
| 2.13                    | <b>Caja de control</b> .....                               | 24 |
| 2.14                    | <b>Selección del cable de conexión</b> .....               | 25 |
| 2.15                    | <b>Sistema renovable</b> .....                             | 26 |
| 2.15.1                  | <i>Radiación solar</i> .....                               | 26 |
| 2.15.2                  | <i>Panel fotovoltaico</i> .....                            | 27 |
| 2.16                    | <b>Almacenamiento de energía</b> .....                     | 28 |
| 2.16.1                  | <i>Baterías</i> .....                                      | 28 |
| 2.17                    | <b>Requisitos de riego</b> .....                           | 28 |
| 2.17.1                  | <i>Tiempos característicos del riego</i> .....             | 29 |
| 2.17.2                  | <i>Tipos de suelo</i> .....                                | 30 |
| 2.18                    | <b>Metodología de Scrumban</b> .....                       | 30 |
| <br><b>CAPÍTULO III</b> |  |    |
| 3.                      | <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....                            | 31 |
| 3.1                     | <b>Conceptualización del sistema</b> .....                 | 31 |
| 3.1.1                   | <i>Recopilación de la información</i> .....                | 31 |
| 3.1.1.1                 | Condiciones ambientales.....                               | 32 |
| 3.1.1.2                 | Dimensiones del tanque .....                               | 32 |
| 3.2                     | <b>Diseño conceptual</b> .....                             | 33 |
| 3.2.1                   | <i>Funcionamiento del sistema</i> .....                    | 33 |
| 3.2.2                   | <i>Estructura modular</i> .....                            | 34 |
| 3.2.2.1                 | Módulo electromecánico y mecatrónico .....                 | 34 |
| 3.3                     | <b>Diseño de materialización</b> .....                     | 34 |
| 3.3.1                   | <i>Diseño del sistema hidráulico</i> .....                 | 34 |
| 3.3.1.1                 | <i>Geometría de los espacios ajardinados</i> .....         | 34 |
| 3.3.1.2                 | <i>Análisis de la presión en los puntos críticos</i> ..... | 38 |
| 3.3.1.3                 | <i>Selección de aspersores</i> .....                       | 38 |
| 3.3.1.4                 | <i>Ubicación de los aspersores</i> .....                   | 39 |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 3.3.1.5      | <i>Selección diámetro de tuberías</i> .....                    | 41        |
| 3.3.1.6      | <i>Análisis del sistema de distribución</i> .....              | 53        |
| 3.3.1.7      | <i>Instalación de tuberías</i> .....                           | 56        |
| 3.3.1.8      | <i>Grado de apertura de la primera válvula de 25mm</i> .....   | 57        |
| 3.3.1.9      | <i>Grado de apertura de la segunda válvula de 25mm</i> .....   | 60        |
| 3.3.1.10     | <i>Grado de apertura de la primera válvula de 40mm</i> .....   | 62        |
| 3.3.1.11     | <i>Instalación de válvulas</i> .....                           | 63        |
| 3.3.1.12     | <i>Selección de la bomba</i> .....                             | 64        |
| 3.3.1.13     | <i>Instalación de la bomba</i> .....                           | 68        |
| 3.3.1.14     | <i>Eficiencia de la bomba</i> .....                            | 68        |
| 3.3.1.15     | <i>Curva característica de la bomba</i> .....                  | 69        |
| 3.3.1.16     | <i>Cálculo de cavitación</i> .....                             | 72        |
| <b>3.3.2</b> | <b><i>Diseño del sistema electrónico</i></b> .....             | <b>72</b> |
| 3.3.2.1      | <i>Análisis entre un PLC y un controlador</i> .....            | 72        |
| 3.3.2.2      | <i>Automatización</i> .....                                    | 73        |
| 3.3.2.3      | <i>Frecuencia y tiempo de riego</i> .....                      | 76        |
| 3.3.2.4      | <i>Procedimiento para montaje de las electroválvulas</i> ..... | 78        |
| 3.3.2.8      | <i>Selección de electroválvulas</i> .....                      | 79        |
| 3.3.2.5      | <i>Ubicación de las electroválvulas</i> .....                  | 81        |
| 3.3.2.6      | <i>Diseño del sistema fotovoltaico</i> .....                   | 82        |
| 3.3.2.7      | <i>Cálculo y selección del panel fotovoltaico</i> .....        | 82        |
| 3.3.2.8      | <i>Cálculo y selección del controlador de carga</i> .....      | 84        |
| 3.3.2.9      | <i>Cálculo y selección de las baterías</i> .....               | 86        |
| 3.3.2.10     | <i>Cálculo y selección del inversor</i> .....                  | 87        |
| <b>3.4</b>   | <b><i>Análisis de costos</i></b> .....                         | <b>88</b> |
| <b>3.4.1</b> | <b><i>Costos directos</i></b> .....                            | <b>88</b> |
| 3.4.1.1      | <i>Elementos hidráulicos</i> .....                             | 88        |
| 3.4.1.2      | <i>Elementos electrónicos</i> .....                            | 90        |

|         |                                       |           |
|---------|---------------------------------------|-----------|
| 3.4.1.3 | <i>Elementos eléctricos</i> .....     | 90        |
| 3.4.1.4 | <i>Mano de obra</i> .....             | 90        |
| 3.4.1.5 | <i>Costos de transporte</i> .....     | 90        |
| 3.4.2   | <b><i>Costos indirectos</i></b> ..... | <b>91</b> |
| 3.4.3   | <b><i>Costo total</i></b> .....       | <b>91</b> |

## **CAPÍTULO IV**

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>4.</b>  | <b>RESULTADOS</b> .....                                | <b>93</b>  |
| <b>4.1</b> | <b>Simulación de la red ramificada en EPANET</b> ..... | <b>93</b>  |
| 4.1.1      | <i>Demanda base</i> .....                              | 93         |
| 4.1.2      | <i>Cota</i> .....                                      | 94         |
| 4.1.3      | <i>Caudal</i> .....                                    | 95         |
| 4.1.4      | <i>Velocidad</i> .....                                 | 96         |
| 4.1.5      | <i>Curva característica</i> .....                      | 97         |
| 4.1.6      | <i>Presión</i> .....                                   | 98         |
| 4.1.7      | <i>Altura piezométrica</i> .....                       | 99         |
| <b>4.2</b> | <b>Simulación sistema electrónico</b> .....            | <b>99</b>  |
| 4.2.1      | <i>Simulación electroválvulas</i> .....                | 100        |
| 4.2.1.1    | <i>Electroválvula área canchas</i> .....               | 100        |
| 4.2.1.2    | <i>Electroválvula jardín 1</i> .....                   | 100        |
| 4.2.1.3    | <i>Electroválvula jardín 2</i> .....                   | 101        |
| <b>4.3</b> | <b>Simulación sistema eléctrico</b> .....              | <b>102</b> |
| 4.3.1      | <i>Activación de la caja de control</i> .....          | 102        |
| <b>4.4</b> | <b>Análisis sistema fotovoltaico</b> .....             | <b>102</b> |
|            | <b>CONCLUSIONES</b> .....                              | <b>104</b> |
|            | <b>RECOMENDACIONES</b> .....                           | <b>105</b> |
|            | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                    |            |
|            | <b>ANEXOS</b>  |            |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1-3:</b> Condiciones ambientales .....  | 32 |
| <b>Tabla 2-3:</b> Módulo electromecánico – mecatrónico .....                                     | 34 |
| <b>Tabla 3-3:</b> Descripción de las zonas de la hostería Casa Maya .....                        | 37 |
| <b>Tabla 4-3:</b> Diseño de la red ramificada .....  | 44 |
| <b>Tabla 5-3:</b> Parámetros de flujo para el trayecto crítico 1-34 (Figura 18-3).....           | 47 |
| <b>Tabla 6-3:</b> Diámetros normalizados de tubería PVC encolado.....                            | 49 |
| <b>Tabla 7-3:</b> Parámetros de flujo para el trayecto crítico 13-14-15-18-20 (Figura 14-3)..... | 51 |
| <b>Tabla 8-3:</b> Parámetros de flujo para el trayecto crítico 2-3-8-9 (Figura 15-3).....        | 51 |
| <b>Tabla 9-3:</b> Representación diámetros (Figura 21-3).....                                    | 52 |
| <b>Tabla 10-3:</b> Selección de diámetros normalizados en función del caudal aproximado.....     | 53 |
| <b>Tabla 11-3:</b> Cantidad de tubos PVC en el sistema hidráulico.....                           | 53 |
| <b>Tabla 12-3:</b> Pérdidas por longitud de tubería .....  | 66 |
| <b>Tabla 13-3:</b> Pérdidas por accesorios.....  | 66 |
| <b>Tabla 14-3:</b> Pérdidas totales .....  | 67 |
| <b>Tabla 15-3:</b> Características de la bomba.....  | 68 |
| <b>Tabla 16-3:</b> Datos técnicos de la curva característica de la bomba 2 Hp .....              | 69 |
| <b>Tabla 17-3:</b> Caudal y altura de la curva característica .....                              | 70 |
| <b>Tabla 18-3:</b> Datos de la ecuación 1 .....  | 71 |
| <b>Tabla 19-3:</b> Datos de la ecuación 2 .....  | 71 |
| <b>Tabla 20-3:</b> Datos de la ecuación 3 .....  | 72 |
| <b>Tabla 21-3:</b> Análisis comparativo entre PLC y controlador .....                            | 73 |
| <b>Tabla 22-3:</b> Características del controlador 6 HUNTER ECO LOGIC 220V .....                 | 75 |
| <b>Tabla 23-3:</b> Cálculo del tiempo de programación en cada sección.....                       | 78 |
| <b>Tabla 24-3:</b> Características electroválvulas a seleccionar.....                            | 80 |
| <b>Tabla 25-3:</b> Características electroválvula CEPEX .....                                    | 81 |
| <b>Tabla 26-3:</b> Características del panel fotovoltaico .....                                  | 84 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 27-3:</b> Características técnicas del controlador de carga ..... | 86 |
| <b>Tabla 28-3:</b> Características técnicas de la batería .....            | 87 |
| <b>Tabla 29-3:</b> Características técnicas del inversor .....             | 88 |
| <b>Tabla 30-3:</b> Costos elementos hidráulicos .....                      | 88 |
| <b>Tabla 31-3:</b> Costos de elementos electrónicos.....                   | 90 |
| <b>Tabla 32-3:</b> Costos de elementos eléctricos .....                    | 90 |
| <b>Tabla 33-3:</b> Costos de mano de obra .....                            | 90 |
| <b>Tabla 34-3:</b> Costo de transporte .....                               | 91 |
| <b>Tabla 35-3:</b> Costos de equipos y herramientas .....                  | 91 |
| <b>Tabla 36-3:</b> Costos indirectos.....                                  | 91 |
| <b>Tabla 37-3:</b> Costo total.....  | 92 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Figura 1-2:</b>  | Conexión de un voltímetro .....   | 7  |
| <b>Figura 2-2:</b>  | Conexión de un amperímetro .....  | 8  |
| <b>Figura 3-2:</b>  | Riego por aspersión .....   | 8  |
| <b>Figura 4-2:</b>  | Componentes de un aspersor .....  | 9  |
| <b>Figura 5-2:</b>  | Aspersor circular de impacto en cultivo de zanahorias .....   | 9  |
| <b>Figura 6-2:</b>  | Aspersor emergente de turbina o engranajes .....  | 10 |
| <b>Figura 7-2:</b>  | Aspersor rotativo Xcel-Wobbler .....  | 10 |
| <b>Figura 8-2:</b>  | Comparativa entre las bombas rotodinámicas y volumétricas .....   | 12 |
| <b>Figura 9-2:</b>  | Intervalos de aplicación de las bombas.....   | 12 |
| <b>Figura 10-2:</b> | Bomba periférica (izquierda), eyectores (centro) y bomba de empuje ascendente (derecha).....              | 13 |
| <b>Figura 11-2:</b> | Válvula de globo de tres vías.....  | 14 |
| <b>Figura 12-2:</b> | Válvula de control de mariposa de altas prestaciones.....   | 14 |
| <b>Figura 13-2:</b> | Esquema general y corte de una válvula de compuerta .....   | 15 |
| <b>Figura 14-2:</b> | Esquema general de una válvula de diafragma .....   | 16 |
| <b>Figura 15-2:</b> | Esquema general y foto de una válvula de apriete .....  | 16 |
| <b>Figura 16-2:</b> | Partes principales de una válvula de retención horizontal .....   | 17 |
| <b>Figura 17-2:</b> | Accesorios .....  | 18 |
| <b>Figura 18-2:</b> | Diagrama de Moody para pérdidas de la tubería .....   | 21 |
| <b>Figura 19-2:</b> | Controlador alimentado por corriente eléctrica .....  | 22 |
| <b>Figura 20-2:</b> | Electroválvula y controlador de válvula digital en una configuración 1oo2 .....                           | 23 |
| <b>Figura 21-2:</b> | Conjunto de electroválvula de acción directa .....  | 24 |
| <b>Figura 22-2:</b> | Electroválvula pilotada.....  | 24 |
| <b>Figura 23-2:</b> | Esquema de una acometida monofásica .....   | 25 |
| <b>Figura 24-2:</b> | Esquema de radiación solar .....  | 27 |
| <b>Figura 25-2:</b> | Gráficas de corriente, potencia y voltaje de una celda fotovoltaica. ....                                 | 28 |
| <b>Figura 26-2:</b> | Fases del riego por superficie, tiempos característicos y representación del tiempo de infiltración ..... | 29 |
| <b>Figura 1-3:</b>  | Etapas de Diseño concurrente .....  | 31 |
| <b>Figura 2-3:</b>  | Canal Riobamba-Chambo .....   | 32 |
| <b>Figura 3-3:</b>  | Medición tanque de almacenamiento .....   | 33 |
| <b>Figura 4-3:</b>  | Instalar complementos (QuickMapServices) .....  | 35 |
| <b>Figura 5-3:</b>  | Selección de Google Hybrid.....   | 35 |
| <b>Figura 6-3:</b>  | Hostería Casa Maya desde Google Hybrid .....  | 36 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 7-3:</b> Hostería Casa Maya desde Google Hybrid .....                              | 36 |
| <b>Figura 8-3:</b> Planimetría de la hostería Casa Maya.....                                 | 37 |
| <b>Figura 9-3:</b> Características del aspersor Xcel Wobbler .....                           | 38 |
| <b>Figura 10-3:</b> Opciones de ubicación de los aspersores .....                            | 39 |
| <b>Figura 11-3:</b> Ubicación de los aspersores.....   | 39 |
| <b>Figura 12-3:</b> Aspersores del sistema de riego y bombeo .....                           | 40 |
| <b>Figura 13-3:</b> Características del aspersor 2023 HD.....                                | 41 |
| <b>Figura 14-3:</b> Puntos críticos .....  | 42 |
| <b>Figura 15-3:</b> Puntos de consumo.....   | 42 |
| <b>Figura 16-3:</b> Puntos de transición .....   | 43 |
| <b>Figura 17-3:</b> Caudal en los puntos de consumo y tuberías .....                         | 46 |
| <b>Figura 18-3:</b> Trayecto crítico 1-2-13-21-22-23-24-25-27-28-29-34.....                  | 47 |
| <b>Figura 19-3:</b> Trayecto crítico 13-14-15-18-20 .....                                    | 50 |
| <b>Figura 20-3:</b> Trayecto crítico 2-3-8-9.....  | 51 |
| <b>Figura 21-3:</b> Representación asignada en la selección de diámetros .....               | 52 |
| <b>Figura 22-3:</b> Guardar archivo en AutoCAD como .dxf .....                               | 54 |
| <b>Figura 23-3:</b> Requerimientos iniciales en EpaCAD .....                                 | 54 |
| <b>Figura 24-3:</b> Visualización red ramificada en EpaCAD.....                              | 55 |
| <b>Figura 25-3:</b> Importar archivo Epanet.....   | 55 |
| <b>Figura 26-3:</b> Asignación de datos en el embalse, bomba y tubería.....                  | 56 |
| <b>Figura 27-3:</b> Red ramificada en Epanet.....  | 56 |
| <b>Figura 28-3:</b> Instalación tubería principal .....                                      | 57 |
| <b>Figura 29-3:</b> Análisis desde el reservorio a la primera válvula de 25mm.....           | 58 |
| <b>Figura 30-3:</b> Porcentaje de apertura de la válvula 1 en relación al coeficiente k..... | 59 |
| <b>Figura 31-3:</b> Análisis desde el reservorio a la segunda válvula de 25mm .....          | 60 |
| <b>Figura 32-3:</b> Porcentaje de apertura de la válvula en relación al coeficiente k.....   | 61 |
| <b>Figura 33-3:</b> Análisis desde el reservorio a la válvula de 40mm.....                   | 62 |
| <b>Figura 34-3:</b> Porcentaje de apertura de la válvula en relación al coeficiente k.....   | 63 |
| <b>Figura 35-3:</b> Válvulas esféricas PVC E/C TG de 40 y 25 mm .....                        | 64 |
| <b>Figura 36-3:</b> Tuberías para el análisis de pérdidas primarias .....                    | 65 |
| <b>Figura 37-3:</b> Bomba de agua agrícola 2 Hp W4075H .....                                 | 67 |
| <b>Figura 38-3:</b> Instalación de la bomba, tubería corrugada y válvula de pie .....        | 68 |
| <b>Figura 39-3:</b> Curva característica de la bomba de 2 Hp .....                           | 69 |
| <b>Figura 40-3:</b> Controlador 6 HUNTER ECO LOGIC 220V .....                                | 74 |
| <b>Figura 41-3:</b> Instalación del controlador 6 HUNTER ECO LOGIC 220V.....                 | 76 |
| <b>Figura 42-3:</b> Milímetros de agua por m de profundidad del suelo.....                   | 77 |
| <b>Figura 43-3:</b> Necesidades netas de cada mes .....                                      | 77 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 44-3:</b> Ciclo electroválvulas de estudio .....                               | 78  |
| <b>Figura 45-3:</b> Esquema de grupos representativos de electroválvulas .....           | 78  |
| <b>Figura 46-3:</b> Señales de entrada de los grupos .....                               | 79  |
| <b>Figura 47-3:</b> Instalación electroválvula de 1 ½” .....                             | 81  |
| <b>Figura 48-3:</b> Instalación electroválvula de 1” .....                               | 82  |
| <b>Figura 49-3:</b> Configuración del sistema de una microrred fotovoltaica aislada..... | 82  |
| <b>Figura 50-3:</b> Panel solar 400 W RESUN.....   | 84  |
| <b>Figura 51-3:</b> Controlador de carga MPPT 150/45 .....                               | 85  |
| <b>Figura 52-3:</b> Batería TAB 5G – 12v-100Ah .....                                     | 87  |
| <b>Figura 53-3:</b> Inversor de onda pura 1500W 110VAC 12VDC Epever.....                 | 88  |
| <b>Figura 1-4:</b> Simulación red ramificada Epanet.....                                 | 93  |
| <b>Figura 2-4:</b> Demanda base EPANET .....   | 94  |
| <b>Figura 3-4:</b> Cota EPANET .....   | 95  |
| <b>Figura 4-4:</b> Caudal EPANET .....   | 96  |
| <b>Figura 5-4:</b> Velocidad EPANET .....  | 97  |
| <b>Figura 6-4:</b> Curva característica bomba EPANET .....                               | 98  |
| <b>Figura 7-4:</b> Presión EPANET .....  | 98  |
| <b>Figura 8-4:</b> Altura piezométrica EPANET .....                                      | 99  |
| <b>Figura 9-4:</b> Activación electroválvula para el riego de la cancha.....             | 100 |
| <b>Figura 10-4:</b> Activación electroválvula para el riego del jardín 1 .....           | 101 |
| <b>Figura 11-4:</b> Activación electroválvula para el riego del jardín 2 .....           | 101 |
| <b>Figura 12-4:</b> Funcionamiento del diagrama de mando del sistema.....                | 102 |
| <b>Figura 13-4:</b> Sistema fotovoltaico conectado .....                                 | 103 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** ASPERSORES XCEL-WOBBLER
- ANEXO B:** ESPESORES NOMINALES TUBERÍA PVC
- ANEXO C:** VÁLVULA UNIVERSAL PVC
- ANEXO D:** VÁLVULA DE PIE
- ANEXO E:** BOMBA DE AGUA AGRÍCOLA 2HP W4075H
- ANEXO F:** MANUAL CONTROLADOR
- ANEXO G:** ELECTROVÁLVULA CEPEX

## RESUMEN

El presente trabajo consistió en diseñar y construir un sistema de bombeo y riego cuya fuente es un panel fotovoltaico que proporciona energía a la bomba hidráulica y electroválvulas con el fin de irrigar los espacios verdes de la hostería Casa Maya. En lo referente al sistema hidráulico se ha establecido el diseño de tuberías, porcentaje de apertura de las válvulas, selección de la bomba, aspersores y accesorios partiendo del principio de Bernoulli y cumpliendo criterios de presión. En lo correspondiente al sistema electrónico se ha realizado un análisis de selección de electroválvulas y con la ayuda de un controlador de fácil disponibilidad y fabricado especialmente para la programación de riegos, se ha adaptado en el control de la irrigación de las áreas verdes; así mismo se ha hecho un análisis de tiempo y frecuencia con la finalidad de al programar el riego se logre tener eficacia en el crecimiento de los espacios ajardinados. Finalmente, en lo que respecta al sistema renovable partiendo de la demanda energética que presenta la bomba hidráulica se ha diseñado un sistema fotovoltaico, en donde se ha realizado un análisis de selección del panel fotovoltaico, batería, inversor y controlador, con el objetivo de que pueda reemplazar el funcionamiento de la energía eléctrica y, además, sea amigable con el medio ambiente. Mediante Epanet, FluidSIM y CADeSIM se realizó la simulación del sistema hidráulico, electrónico y eléctrico con la finalidad de comparar los resultados obtenidos experimentalmente. Se concluye que el sistema de bombeo y riego automatizado se encuentra en óptimo funcionamiento proporcionando eficiencia en el crecimiento de los espacios ajardinados de la hostería. Se recomienda utilizar adecuadamente parámetros y criterios hidráulicos, electrónicos y eléctricos con el fin de reducir costos y aumentar la eficacia de cada componente del sistema.

**Palabras Clave:** <BOMBA HIDRÁULICA> <ELECTROVÁLVULAS>  
<ASPERSORES> <SISTEMA RENOVABLE> <PANEL FOTOVOLTAICO>.

2461-DBRA-UPT-2022



## SUMMARY

The present work consisted of designing and building a pumping and irrigation system whose source is a photovoltaic panel that provides energy to the hydraulic pump and electrovalves to irrigate the green spaces of the Casa Maya inn. Regarding the hydraulic system, the design of pipes, valve opening percentage, selection of the pump, sprinklers and accessories has been established based on the Bernoulli principle and meeting pressure criteria. Regarding the electronic system, an analysis of the selection of solenoid valves has been carried out and with the help of an easily available controller and specially manufactured for irrigation programming, it has been adapted to control the irrigation of green areas; Likewise, an analysis of time and frequency has been made with the purpose of scheduling irrigation to achieve efficiency in the growth of landscape spaces. Finally, with regard to the renewable system, based on the energy demand presented by the hydraulic pump, a photovoltaic system has been designed, where an analysis of the selection of the photovoltaic panel, battery, inverter and controller has been carried out, with the aim of It can replace the operation of electrical energy and, in addition, its friendly to the environment. Using Epanet, FluidSIM and CADeSIM, the simulation of the hydraulic, electronic and electrical system was carried out in order to compare the results obtained experimentally. It is concluded that the automated pumping and irrigation system is in optimal operation, proving efficiency in the growth of the landscaped spaces of the inn. It is recommended to properly use hydraulic, electronic, and electrical parameters and criteria to reduce costs and increase the efficiency of each component of the system.

**Keywords:** <PUMPING SYSTEM> <PHOTOVOLTAIC PANEL> <HYDRAULIC PUMP> <SOLENOID VALVES> <SPRINKLERS>.



Lic. Luis Fernando Mantilla Cabrera Mgs.

CI: 0603747809

## INTRODUCCIÓN

El recurso agua está sometido a la presión de una demanda cada vez más exigente en cantidad y calidad, condicionada por aspectos sociales, políticos y ambientales. La creciente dificultad para garantizar la satisfacción de las demandas se traduce, por un lado, en una mayor competencia entre los sectores usuarios tradicionales -agricultura, industria y abastecimiento urbano- por los escasos recursos disponibles; esta competencia ya está restringiendo las actividades de desarrollo de muchos países. Por otro lado, la creciente escasez de recursos hídricos está originando una mayor competencia entre regiones o países por el acceso a los mismos (Cañas et al., 2010).

El agua que se emplea en la actualidad para el riego de tierras agrícolas representa el 70% del consumo de este líquido a nivel mundial (Cañas et al., 2010) y se estima que el 60% de los alimentos extra requeridos para garantizar la alimentación mundial en el futuro tendrán que provenir de la agricultura bajo riego; donde los países en vías de desarrollo disponen del 75% del área de riego (Fao, 1999).

Los sistemas de riego localizados contribuyen al mejoramiento de la eficiencia del manejo del agua; debido a que las dosis relativamente pequeñas multiplican la producción; pero es evidente la necesidad de perfeccionar el diseño y manejo para que se logre mayor rentabilidad (María & Ferreira, 2014).

El diseño de un sistema de micro irrigación comienza con la determinación del caudal y el número de emisores necesarios para humedecer un determinado volumen de suelo, siendo necesario la estimación previa de la forma y dimensiones del bulbo húmedo en dependencia de las propiedades y características físicas del suelo, del volumen, caudal de agua aplicado por el emisor y de la topografía del terreno (Cervantes, 2012).

Mediante el diseño de este sistema se pretende minimizar el consumo del agua y mejorar el servicio de riego en los espacios verdes de la Hostería tanto en eficiencia, economía y confiabilidad. Resulta de especial interés el hecho que agricultores como personas dueñas de residencias con vegetación emplean inadecuadamente este recurso reflejando malos resultados de su trabajo.

Por lo tanto, surge de la necesidad de obtener una visualización mejorada de su espacio ajardinado para el agrado de los huéspedes que la visitan, así mismo el diseño de este sistema será innovador y factible para el montaje hidráulico, electrónico y eléctrico. Puesto que se trata de una idea innovadora, proporcionará un incentivo para que agricultores u otras personas opten por mejorar sus zonas de cultivo, jardines, canchas de césped, etc.

Los beneficios que presenta el proyecto es que reducirá el tiempo de trabajo del operador, puesto que actualmente se realiza el riego con una manguera, otro factor es que, mediante los aspersores, las electroválvulas y la programación se tendrá una irrigación equitativa y controlada. Además, este sistema será ambientalmente factible y aceptable, pues para el accionamiento de la bomba,

Apertura y cierre de electroválvulas se efectuará el diseño del sistema renovable mediante un panel fotovoltaico.

En el capítulo I – *Diagnóstico del problema*, se presentan los antecedentes, la delimitación espacial y sectorial con el fin de realizar la formulación del problema y finalmente plantear los objetivos.

En el capítulo II – *Revisión de la literatura o fundamentos teóricos*, se presentan los fundamentos teóricos conformados por la parte hidráulica, electrónica, eléctrica y renovable del sistema, con la finalidad de aprovechar los criterios, principios, ecuaciones y detalles de los elementos que se utilizarán en el siguiente capítulo.

En el capítulo III – *Marco metodológico*, en lo referente a este capítulo se presenta la metodología que se va a seguir para el desarrollo del sistema de bombeo y riego. Básicamente se ha dividido en tres secciones que son: diseño y construcción del sistema hidráulico, diseño y construcción del sistema electrónico y eléctrico y diseño del sistema fotovoltaico.

En el capítulo IV – *Resultados*, se presentan los resultados que se han alcanzado en este proyecto técnico que son: hidráulicos (Epanet), electrónicos (FluidSIM), eléctricos (CADSIM) y el esquema del sistema fotovoltaico.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

Cerca del 10% de las áreas con riego en el mundo son por aspersión, siendo este porcentaje más elevado en países desarrollados, con altos costos de mano de obra y bajos costos de energía. Las innovaciones que se introducen mejoran el funcionamiento del riego y favorecen la adaptación de la aspersión a todos los tipos de suelo, de topografía, de cultivos y climas.

El riego por aspersión tuvo su origen a principios del siglo XX, en sus inicios alrededor de los años 30 fue muy costoso. Tiempo después el costo de los sistemas de riego por aspersión se redujo gracias a la aparición de los aspersores, el aligeramiento del peso de las tuberías de acero, así como la incorporación de acoples rápidos para la unión de las tuberías.

Los sistemas de riego por aspersión han evolucionado de una forma muy rápida, mejorando la eficiencia de aplicación de agua con una amplia automatización, la cual reduce ampliamente las necesidades de mano de obra (Tarjuelo Martín-Benito, 2005).

En la actualidad los sistemas de bombeo suponen casi el 20% de la demanda de energía eléctrica mundial y los sistemas de riego alrededor de un 70%. Por tal razón, optimizar el recurso del agua como la reducción del consumo de energía son factores importantes a enfatizar en el diseño de sistemas de bombeo y riego (Msc Juan Carlos Rocha Cuadros, 2008).

Gracias al avance de la tecnología se puede automatizar actividades tanto de cuidado como de mantenimiento de diversas actividades, como lo es el riego de jardines y zonas verdes, la fertirrigación, la limpieza de los filtros de cabezal de riego, etc.; esto ha permitido a las personas e industrias tener un mejor control de sus instalaciones y un ahorro en los costos del mantenimiento (Martinez, y otros, 2016).

En el mercado se encuentran diversas opciones de sistemas de automatización, desde programación básica como es el abrir o cerrar una válvula, hasta una programación integral del riego (Martinez, y otros, 2016).

La automatización se puede aplicar a todos los sistemas de riego conocidos, pero es más evidente su utilización en los sistemas de riego por aspersión y difusión, y también en los sistemas que se emplean para riego de jardines o zonas verdes (Martinez, y otros, 2016).

La facilidad para encontrar en el mercado elementos como electroválvulas o equipos de medición de caudal y programadores adecuados, permite una fácil programación, haciéndola sencilla, cómoda y contribuyendo a que la implementación de automatización sea viable para este tipo de sistemas (Tobergte & Curtis, 2013).

La era moderna de los paneles fotovoltaicos empezó en el año 1953 con una publicación en la revista de la Sociedad Americana de Física; en el año 1990 en el mundo ya se producían 46,5 megavatios de electricidad (Loferski 1993). Para el año 2017, la energía solar alcanzó los niveles

más altos a nivel mundial con la mayor instalación de sistemas fotovoltaicos, más que cualquier otra tecnología de generación de electricidad, incluida las renovables (Rigo et al. 2019). La energía fotovoltaica se ha convertido en la tecnología dominante para aprovechar el potencial del sol para la generación de electricidad, de hecho; la energía fotovoltaica es la energía con el mayor crecimiento (40% cada año desde la última década) (Creutzig et al. 2017).

## **1.2 Delimitación**

### ***1.2.1 Delimitación espacial***

El presente proyecto está delimitado espacialmente a todas las áreas verdes de la Hostería Casa Maya, aprovechando el recurso hídrico que proporciona el canal de riego que abastece el reservorio.

### ***1.2.2 Delimitación sectorial***

El presente proyecto se sitúa de acuerdo al Objetivo Quino del Plan Nacional del Buen Vivir que promueve el desarrollo y transferencia tecnológica de proyectos, articulado con las necesidades sociales, por lo tanto, existe la necesidad de impulsar sistemas de riego bombeo que proporcionen un cambio en la matriz productiva.

## **1.3 Formulación del problema**

El agua es un componente del jardín, parte estructural de las funciones decorativas de fuentes, chorros, cascadas o follaje, y elemento importante de las plantas que lo componen, ya que forma parte de importantes procesos como la nutrición, el control de la temperatura o transporte de materiales. Esto es suficiente, el mantenimiento del jardín proporciona el riego necesario.

Hoy en día, muchos jardines públicos y privados se riegan utilizando sistemas tradicionales de suelo o pedestal que simplemente utilizan una manguera. En estos casos, la probabilidad de utilizar más agua de la que las plantas realmente necesitan para cubrir sus necesidades es elevada y por tanto se desperdicia una gran cantidad de este fluido. Si se utiliza un sistema de riego ineficiente combinado con el uso de especies con necesidades hídricas sobreestimadas, el consumo de agua para regar el jardín puede llegar a cifras con necesidades en agua elevadas, aunque es difícil de cuantificar.

Otro motivo del elevado consumo de agua de riego en parques y jardines es el estado de gestión, conservación y mantenimiento de los equipos que forman parte del sistema de riego, que no siempre cumplen los requisitos debido a la calidad de estos sistemas o a la antigüedad. En otros casos, los problemas de uniformidad del riego provienen principalmente de una mala selección de los sistemas utilizados o errores en el diseño de la red, por ejemplo, lo que resulta en una superposición insuficiente entre los aspersores en el riego por aspersión o distribución desigual de las emisiones en los sistemas de riego locales.

Considerando que en la práctica hortícola el principal objetivo es obtener el cultivo, la supervivencia de la vegetación y su mantenimiento en condiciones estéticamente aceptables en las mejores condiciones.

Estos incluyen la introducción de sistemas de riego más eficientes donde sea posible; la correcta determinación de las necesidades hídricas de las plantas que componen el jardín; agua al atardecer o por la noche, con la mayor frecuencia posible; prácticas de riego deficitario, esto incluye aplicar menos de lo necesario pero suficiente para que la vegetación sobreviva y diseñar jardines que ahorren agua.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Diseñar un sistema de bombeo y riego automatizado por medio de un panel fotovoltaico para la Hostería Casa Maya que favorezca el servicio de riego de espacios ajardinados, consiguiendo un óptimo regadío; de esta manera se reducirá el consumo de este recurso hídrico.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Realizar un plano topográfico de los espacios verdes de la Hostería en el software Qgis, que ayude en el proceso hidráulico y electrónico del sistema.
- Ejecutar balances de energía que faciliten en el proceso de selección de bombas, válvulas y demás accesorios que integran el sistema de bombeo.
- Emplear un sistema automatizado mediante un autómata programable que permite la optimización de las válvulas y aspersores para la obtención de un regadío equitativo.
- Diseñar un sistema fotovoltaico que permita la utilización de la energía solar con la finalidad de reducir costos de electricidad y sea amigable con el medio ambiente.

## CAPÍTULO II

### **2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1 Energía**

La energía es considerada un insumo fundamental en las actividades productivas, teniendo un importante papel en el proceso de desarrollo de la humanidad. El acceso a las formas modernas de energía, en particular la energía eléctrica, trae una serie de beneficios sociales que mejoran la calidad de vida de la población (Pereira Micena et al., 2018).

##### **2.1.1 Energía eléctrica**

La energía eléctrica es la resultante de un diferencial de potencial entre dos puntos, que permite general una corriente eléctrica mediante un conductor eléctrico, el cual puede utilizarse para realizar un trabajo.

##### **2.1.2 Energía hidráulica**

La energía mecánica, es el resultado de la posición y velocidad de un fluido, que permite aprovechar su caída de un fluido para transformarla en otra clase de energía. Este tipo de energía es aprovechado en las hidroeléctricas (Pérez et al., 2015).

##### **2.1.3 Energía renovable**

La promoción de las fuentes nuevas y renovables de energía se ha vuelto uno de los principales ítems del desarrollo sustentable, aunque las motivaciones principales han diferido hasta el momento entre países desarrollados y en desarrollo. Mientras que en el primer grupo la principal motivación se ha relacionado con el objetivo de reducción de las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en muchos países en desarrollo el fin principal se relaciona más con la necesidad de aumentar la oferta energética y el incremento del acceso a la electricidad en zonas aisladas (Pereira Micena et al., 2018).

#### **2.2 Instrumentos**

##### **2.2.1 GPS**

Es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día.

Para la obtención de coordenadas el sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias a cuatro satélites (como mínimo) de coordenadas conocidas. Estas distancias se obtienen a partir de las señales emitidas por los satélites, las que son recibidas por receptores especialmente diseñados. Las coordenadas de los satélites son provistas al receptor por el sistema (Huerta et al., 2005).

### 2.2.2 Caudalímetro

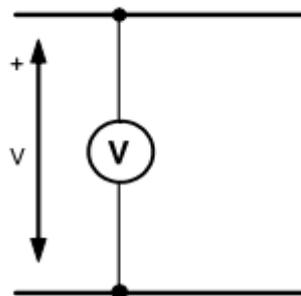
Instrumento empleado para la medición del caudal volumétrico de un fluido o caudal másico. Estos equipos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

Existen versiones mecánicas y eléctricas. Entre las mecánicas se encuentran los viejos contadores de agua instalados a la entrada de una vivienda para determinar cuántos metros cúbicos de agua se consumieron. Un ejemplo de caudalímetro eléctrico se puede encontrar en los calentadores de agua que lo utilizan para determinar el caudal que está circulando o en las lavadoras para llenar su tanque a diferentes niveles (López, 2011).

### 2.2.3 Voltímetro

Un voltímetro debe de estar sometido a la tensión que se desea medir, por lo tanto, estos aparatos se conectan en paralelo (figura 1-2) entre los dos puntos del circuito cuya diferencia de potencial se quiere medir.

La introducción de un voltímetro en un circuito no debe afectar apreciablemente a sus características. Esto exige que la corriente que circula por este aparato sea despreciable frente a la que circula por las ramas del circuito que se mide. Por lo tanto, los voltímetros poseen una resistencia interna muy elevada (Universitario et al., 2013).

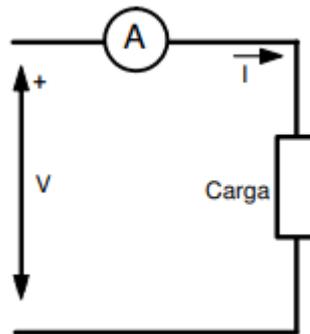


**Figura 1-2:** Conexión de un voltímetro  
Fuente: Universitario et al., 2013

### 2.2.4 Amperímetro

Un amperímetro debe estar recorrido por la corriente que se desea medir, por lo tanto, estos aparatos se conectan en serie (figura 2-2) con la parte del circuito recorrida por dicha corriente.

La introducción de un aparato de medida en un circuito no debe afectar apreciablemente a sus características. Esto exige que la caída de tensión en el amperímetro sea despreciable frente a las que se producen los elementos del circuito que se mide. Por lo tanto, los amperímetros tienen una resistencia interna muy pequeña.



**Figura 2-2:** Conexión de un amperímetro  
Fuente: Universitario et al., 2013

### 2.3 Riego por aspersión

Esta técnica implica regar agua sobre el suelo en forma de lluvia con ayuda de dispositivos conocidos como aspersores, estos esparcen al líquido en forma pulverizada (Fernández Gómez et al., 2010).

Esta agua es canalizada a base de presión desde las tuberías principales, secundarias y las tuberías finales ya instaladas a los aspersores, la longitud y configuración de este sistema depende de la complejidad de terreno a irrigar (Fernández Gómez et al., 2010).

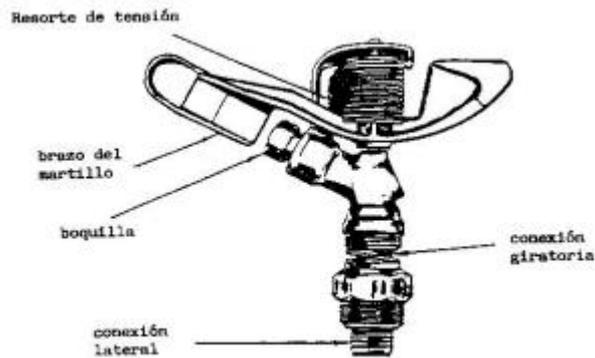


**Figura 3-2:** Riego por aspersión  
Fuente: Fernández Gómez et al., 2010

### 2.4 Aspersores

Los aspersores son los elementos más importantes de un equipo de riego por aspersión. Por medio de su boquilla este elemento pulveriza el chorro de agua convirtiendo en gotas en forma de lluvia. (Peralta & Simpfendörfer, 2001).

La rotación que realiza el aspersor permite que el agua sea repartida por todo el terreno, esta acción es causada por la misma presión del chorro de agua sobre el brazo del martillo, y con la ayuda de un resorte de tensión vuelve a su posición inicial (Peralta & Simpfendörfer, 2001).



**Figura 4-2:** Componentes de un aspersor  
**Fuente:** Peralta & Simpfendörfer, 2001

### 2.4.1 Tipos de aspersores

En general, los diferentes tipos de aspersores pueden clasificarse en función a distintos aspectos, como es según el área mojada, según la presión y según el mecanismo de giro que será detalladamente a continuación.

#### 2.4.1.1 Aspersores de impacto

El giro que realiza el aspersor es logrado gracias al impulso del chorro de agua, este afecta al brazo oscilante del dispositivo y el muelle recuperador hace que regrese a su posición inicial, cuando vuelva a esta posición, el mismo brazo golpea el cuerpo del aspersor y provoca un giro leve. Este giro se realiza con una velocidad muy baja por lo que se denominan aspersores de giro lento (Fernández Gómez et al., 2010).



**Figura 5-2:** Aspersor circular de impacto en cultivo de zanahorias  
**Fuente:** Fernández Gómez et al., 2010

#### 2.4.1.2 Aspersores de turbina o engranaje

La acción giratoria del aspersor es continua gracias a la presión del agua la cual activa un mecanismo de engranajes unido al cuerpo del aspersor. En general, estos aspersores son de gran tamaño y caudal ya que trabajan con altas presiones. Su aplicación esta más enfocada a la jardinería, y no tanto a la agricultura (Maynicta, y otros, 2022).



**Figura 6-2:** Aspersor emergente de turbina o engranajes

**Fuente:** Fernández Gómez et al., 2010

#### 2.4.1.3 *Aspersores rotativos o de recreación*

Cuentan con una o varias boquillas, esto hace que la reacción del cambio de dirección produzca la rotación del aspersor. Su aplicación más común es en horticultura, jardinería, viveros, etc. y al igual que el anterior no tanto en la agricultura (Fernández Gómez et al., 2010).



**Figura 7-2:** Aspersor rotativo Xcel-Wobbler

**Fuente:** Senninger, n.d.

## 2.5 **Bombas**

Es una máquina generadora que trabaja con un fluido incompresible en la que se produce una transformación de energía mecánica en hidráulica.

Con una bomba se busca transferir energía a un líquido, de tal forma que se pueda lograr su transportación. Esto implica aumentar la presión de salida, los que a su vez implica que la transportación del caudal pueda relacionarse con una curva característica, y también de algunas propiedades del fluido (Heras, 2011).

Por ser una curva característica en cada bomba será diferente, dependiendo de su forma, principio de funcionamiento, tamaño y velocidad de accionamiento (Heras, 2011).

### **2.5.1 Tipos de bombas**

Las bombas hidráulicas más usuales son las bombas rotodinámicas o turbomáquinas y las de desplazamiento positivo o volumétricas. Se puede afirmar, sin más pretensión que ser objetivos, que son contados los procesos industriales en los que esté implicado un fluido que no utilice alguna de estas bombas.

#### *2.5.1.1 Bomba rotodinámica*

La bomba rotodinámica comunica energía al fluido, esto al pasar por uno o varios rodetes o impulsores, logrando incrementar su cantidad de movimiento, pero sin influir de manera apreciable en su densidad. Según la dirección del flujo en el rodetes, estas bombas pueden clasificarse en centrífugas o radiales, axiales y de flujo máximo (Heras, 2011).

#### *2.5.1.2 Bomba volumétrica*

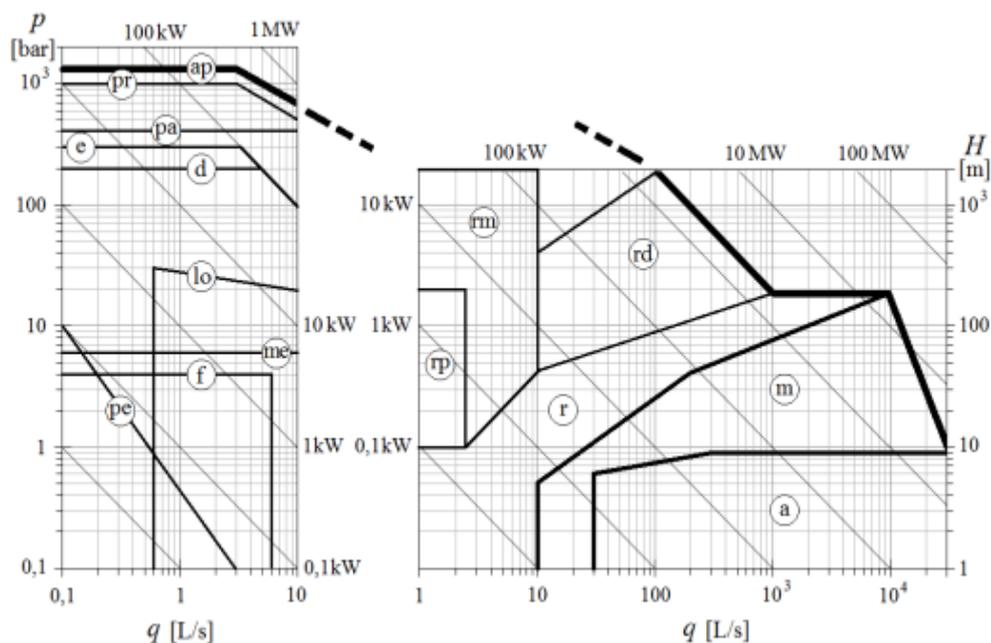
Las bombas volumétricas son ingenios mecánicos que transportan el fluido en forma de paquetes discretos que no interaccionan entre sí. Esta forma de impulsión tiene una serie de consecuencias bastante evidentes: por un lado, interrumpe la vena fluida y, por tanto, la ecuación de la energía sólo se puede aplicar si se realiza un promedio temporal de sus términos; pero, por otro lado, favorece el transporte de fluidos viscosos a alta presión y hace que su caudal sea casi independiente de la presión a unas revoluciones dadas.

La tabla siguiente presenta las características principales de estas bombas y la (figura 8-2) muestra su intervalo de aplicación actual. En los apartados siguientes, se hace una descripción más precisa de estos tipos de bombas y de sus características funcionales (Heras, 2011).

| Bombas volumétricas   |  | Bombas rotodinámicas  |  |
|---|---|---|---|
| No pueden trabajar contra válvula de impulsión cerrada. Necesitan una válvula de seguridad que limite la presión máxima.  |   | Pueden trabajar contra válvula de impulsión cerrada pues la presión máxima está limitada por su principio de funcionamiento.  |   |
| El caudal que impulsa la bomba es poco dependiente de la presión de trabajo, dentro de los límites de potencia del accionamiento conforme a las especificaciones de seguridad.  |   | El caudal que impulsa la bomba depende de la presión de trabajo. Al cerrar la válvula de impulsión, la presión aumenta, el caudal efectivo se hace nulo y el líquido recircula por el interior de la máquina.   |   |
| El caudal de impulsión es proporcional a las revoluciones del accionamiento dentro del intervalo de velocidades facilitado por el fabricante.   |   | El caudal impulsado es proporcional a las revoluciones en sistemas hidráulicos de altura estática nula. En otros casos, existe una cierta proporcionalidad, pero no una relación lineal tan evidente como en las volumétricas.  |   |
| Tienen diversos elementos móviles para transportar el fluido de la entrada a la salida e impedir su retroceso. Estos elementos pueden ser válvulas, ruedas dentadas, paletas, pistones, etc., según su principio de funcionamiento. |   | Las bombas rotodinámicas utilizan uno o varios rodets para comunicar la energía al fluido. Por norma general, el rodete o los rodets son los únicos elementos móviles en el interior de la bomba (y el eje motor).  |   |
| El caudal impulsado es pulsante, lo que genera importantes picos de presión en el sistema. La oscilación de la presión provoca vibraciones y ruidos, efectos que han de ser atenuados en lo posible.                                |   | El caudal se impulsa de forma continua. La aparición de pulsos de presión suele ser debida a la frecuencia de paso de los álabes del rodete (y son, en general, de pequeña magnitud) o a la generación de fenómenos transitorios en la instalación (oscilaciones de masa o golpes de ariete) durante la puesta en marcha o la detención del grupo impulsor. |   |
| Las bombas de desplazamiento positivo son autoaspirantes. No obstante, su capacidad de aspiración, definida en términos de la altura de aspiración o de la presión máxima a su entrada, depende del tipo de bomba.                  |   | Por norma general, son de capacidad de aspiración limitada, muy inferior a la de las bombas de desplazamiento positivo. Han de ser cebadas para que puedan impulsar caudal. No obstante, existen tipologías de bombas rotodinámicas autocebantes.   |   |

**Figura 8-2:** Comparativa entre las bombas rotodinámicas y volumétricas

Fuente: Eras, 2011



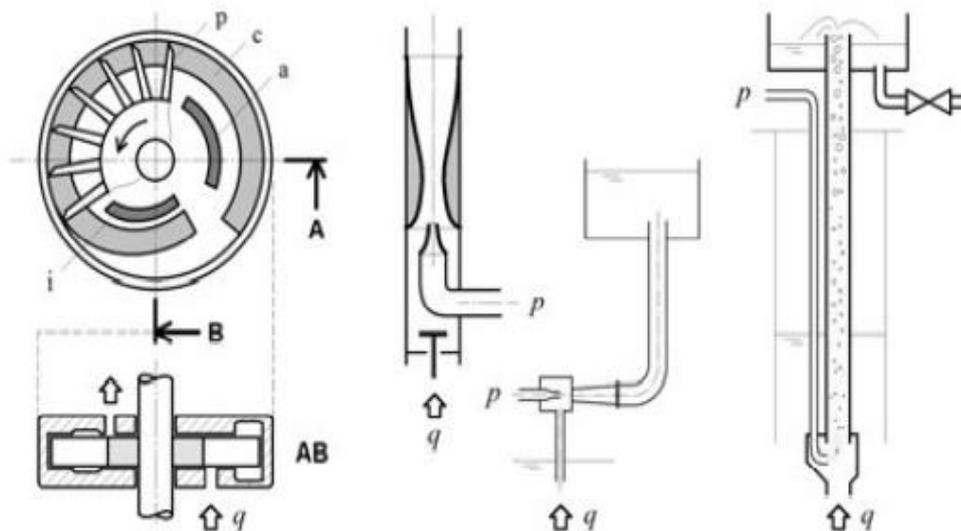
**Figura 9-2:** Intervalos de aplicación de las bombas

Fuente: Eras, 2011

La bomba periférica (figura 9-2), también denominada de canal lateral o regenerativa, es un tipo de bomba rotodinámica preparada para suministrar pequeños caudales, pero a una gran presión (de hasta 300 bares). Estas bombas disponen en su interior uno o dos rodetes en serie, abiertos y en forma de disco, con paletas insertadas en una disposición de estrella.

Los eyectores o trompas de vacío aprovechan la depresión generada por una corriente en el cuello de un tubo de Venturi para aspirar un líquido que se encuentra en un plano inferior. Estas bombas necesitan de un fluido a presión, agua o aire por norma general, que alimente la entrada del tubo de Venturi y genere el vacío necesario (Heras, 2011).

Las bombas de empuje ascendente tampoco tienen partes móviles y también necesitan de una corriente auxiliar, en este caso de aire o gas. El efecto de bombeo se produce en estos dispositivos inyectando aire a presión en la parte inferior y sumergida de un tubo, por el que fluirá el líquido arrastrado por la corriente de aire en su ascenso.



**Figura 10-2:** Bomba periférica (izquierda), eyectores (centro) y bomba de empuje ascendente (derecha).

Fuente: Eras, 2011

## 2.6 Válvula de control

La válvula de control es una parte crítica del bucle de control. Mucha gente que habla de las válvulas de control en realidad se refiere a un conjunto de válvula de control. El conjunto de válvula de control consiste típicamente en el cuerpo de la válvula, las piezas de los internos, un actuador que aporta la fuerza motriz para operar la válvula, y una variedad de accesorios adicionales de válvula, que pueden ser transductores, reguladores de presión de suministro, operadores manuales, amortiguadores o disyuntores (Sabbir Ahmad y Meskin, 2020).

## 2.6.1 Estilos de válvulas de control

### 2.6.1.1 Válvulas de globo

Una válvula de globo es una válvula de movimiento usada para parar, iniciar y regular el flujo de un fluido. El principio básico de operación de una válvula globo es el movimiento perpendicular del obturador separándose del asiento se cierre gradualmente al cerrar la válvula. Esta característica le da a la válvula globo buena capacidad de regulación, lo que permite usarla para regular fluido. Por ello, la válvula globo se puede usar tanto para parar e iniciar el flujo del fluido o para regularlo (Miller, 2013).



**Figura 11-2:** Válvula de globo de tres vías

Fuente: Sabbir Ahmad y Meskin, 2020

### 2.6.1.2 Válvula de mariposa

Estas válvulas de control son empleadas en servicios que no necesitan control de regulación de precisión, se emplean en aplicaciones que necesitan grandes tamaños y temperaturas altas; su rango de control es 1/3 de las válvulas de bola o de globo, son muy buenas en las aplicaciones de carga de proceso constante. Se puede ampliar el rango de control, si se emplea con diseños de contorno caracterizado (Sabbir Ahmad y Meskin, 2020).

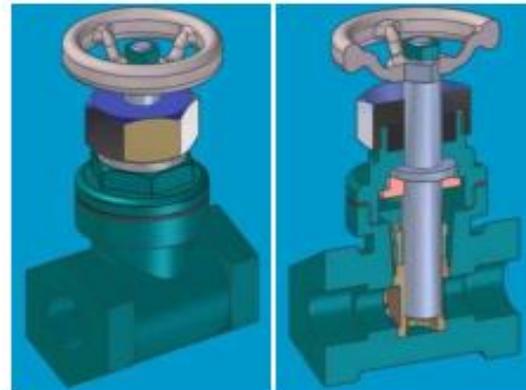


**Figura 12-2:** Válvula de control de mariposa de altas prestaciones

Fuente: Sabbir Ahmad y Meskin, 2020

### 2.6.1.3 *Válvula de compuerta*

Este tipo de válvula posee un cuerpo totalmente encerrado con un disco o puerta de forma rectangular o circular, la cual se mueve perpendicular a la dirección del flujo, esta supera en número a los otros tipos de válvulas en servicio en donde se requiere circulación interrumpida y poca caída de presión. Cuando está totalmente abierta la válvula, se eleva toda la compuerta fuera del conducto del flujo, a través del cual el fluido circula en línea recta por un conducto que tiene el mismo diámetro de la tubería. La válvula de compuerta es de vueltas múltiples. Los tipos más comunes de válvulas de compuerta son las de husillo y puente (Rangel, 2009).



**Figura 13-2:** Esquema general y corte de una válvula de compuerta

**Fuente:** Sabbir Ahmad y Meskin, 2020

### 2.6.1.4 *Válvula de diafragma*

Este tipo de válvula ofrece ventajas sobre otras. Permite un paso suave sin bolsa de fluido y laminar, nos ayuda en el control de caudal aun si existen solidos en suspensión en la tubería. También pueden ser auto purgables. Su mecanismo de operación es totalmente aislado por lo que impide la corrosión y contaminación del mismo, además de que su mantenimiento y montaje es fácil y sencillo. Posee una amplia elección de materiales, recubrimiento de cuerpos y diafragmas lo que las convierte en una opción viable para varias aplicaciones, pues contribuye en la prevención de abrasión, corrosión y contaminación del fluido con solidos disueltos (Rangel, 2009). Es muy utilizado en servicios de fluidos corrosivos, materiales viscosos, agua, gases, lodo o aire comprimido. El diafragma de estas válvulas es flexible y elástico y se encuentra unido al vástago que le comprime, con ayuda de un tornillo embebido dentro del diafragma (Rangel, 2009).

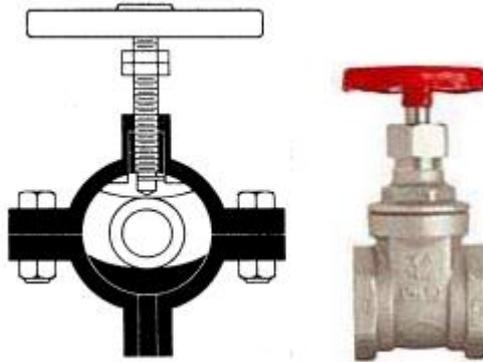


**Figura 14-2:** Esquema general de una válvula de diafragma

**Fuente:** Sabbir Ahmad y Meskin, 2020

#### 2.6.1.5 *Válvula de apriete*

Esta válvula es de vueltas múltiples, su accionamiento de cierre se realiza con ayuda de uno o más elementos flexibles, pueden ser tubos de caucho o diafragmas, los cuales se comprimen entre si cerrando el paso del fluido (Rangel, 2009).

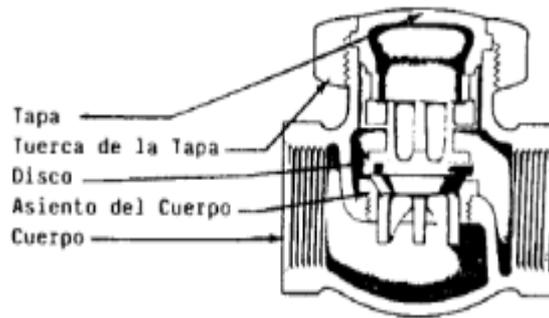


**Figura 15-2:** Esquema general y foto de una válvula de apriete

**Fuente:** Rangel, 2009

#### 2.6.1.6 *Válvula cheque o de retención*

Las válvulas de retención se usan como medida de seguridad para evitar que el flujo retroceda en la tubería, también se usan para mantener la tubería llena cuando la bomba no está funcionando automáticamente. Esta válvula es usada en serie con las válvulas de compuerta, se instalan en posición horizontal o vertical. La presión del fluido apertura la válvula, y si cambia el sentido de flujo del líquido la válvula activa un bloqueo impidiendo el paso (ISO et al., 2010).



**Figura 16-2:** Partes principales de una válvula de retención horizontal

Fuente: ISO et al., 2010

## 2.7 Tuberías

Las tuberías para conducción vienen a ser las venas del sistema, por medio de ellas se transporta el agua a los sitios de riego. Existen varios tipos de tuberías, básicamente diferenciados por el material del que están fabricados, siendo la tubería de PVC el más común, por su precio, la facilidad de instalación y su accesibilidad en el mercado a repuestos y accesorios.

La tubería PVC se puede encontrar en diámetros desde ½” hasta 15”, una de las grandes ventajas es su inercia ante casi cualquier líquido, además que sus paredes son bastante lisas y esto hace que las pérdidas por fricción sean pocas. Su duración puede ser varios años, sobre todo si la misma va enterrada (Cisneros, 2003).

## 2.8 Accesorios

Los accesorios para tubos son las piezas usadas para conectar y formar la tubería. Generalmente son de fundición o de fundición maleable, excepto los acoplamientos, los cuales son de hierro forjado o maleable. El latón y otras aleaciones se emplean para usos especiales. Los accesorios de acero soldados a tope se emplean para unir tuberías de acero. Los accesorios para junta soldada con soldadura de hojalatero se emplean para unir tubos de cobre. Los accesorios de fundición, del tipo de enchufe y cordón, se emplean para unir tubos de fundición.

La identificación de los accesorios se da por el nombre del accesorio, diámetro nominal de la tubería y el material. Por ejemplo, una T emplea diferentes diámetros de unión, motivo por el cual se debe especificar la apertura de mayor diámetro del ramal principal, la apertura opuesta y finalmente la salida (ISO et al., 2010).

| Modelo  | Nombre                                | Símbolo | Designación<br>Código | Modelo  | Nombre                  | Símbolo | Designación<br>Código |
|---|---------------------------------------|---------|-----------------------|---|-------------------------|---------|-----------------------|
|  | CODO UNION Macho Hembra Ajuste cónico | UA 12   | 98                    |  | CRUZ                    | C1      | 180                   |
|  | CODO A 45°                            | A1/45°  | 120                   |  | DISTRIBUIDOR en codo    | Za 1    | 221                   |
|  | CODO A 45° Macho Hembra               | A4/45°  | 121                   |  | MANGUITO REDUCIDO       | M2      | 240                   |
|  | TE                                    | B1      | 130                   |  | TUERCA DE REDUCCION     | N4 III  | 241                   |
|  | TE reducida en bifurcación            | B1      | 130                   |  | MANGUITO Macho reducido | NB      | 245                   |

**Figura 17-2:** Accesorios  
Fuente: ISO et al., 2010

Los accesorios de manera general se agrupan en tres clases: roscados, soldados y de bridas; y si se lo agrupa por su uso, sería: tuberías de hierro fundido, de cobre y para tubos de plástico (ISO et al., 2010).

## 2.9 Cavitación

Es la formación de bolsas localizadas de vapor dentro del líquido inducido por una reducción hidrodinámica de la presión, se encuentra la mayoría de veces en las proximidades de las superficies sólidas que limitan el líquido de rápido movimiento, esta vaporización local puede ser estable o pulsante, el cual altera el campo normal del flujo (Marchegiani, 2006).

## 2.10 Golpe de ariete

Es un fenómeno hidráulico ocasionado por rápidas fluctuaciones de flujo debido a su interrupción o inicio súbito en una tubería (bombeo) produciendo una variación de presión asociada a cambios bruscos en la velocidad del fluido, en definitiva, el Golpe de Ariete se produce como respuesta a la variación brusca de velocidad del fluido conducido.

Consiste en una transformación instantánea de energía cinética a energía de presión generando una onda de oscilación de la presión que se propaga por el tubo y se amortigua con el tiempo (fenómeno transitorio) (Navarra Plana & Martínez García, 2019).

## 2.11 Balance de energía sistema de bombeo

Una de las leyes fundamentales que rigen el flujo es la ley de Bernoulli. En su forma más sencilla, establece las relaciones entre la presión y la velocidad del fluido para un fluido sin fricción. La ley dice: «en una corriente sin fricción, el total de energía es constante». Puede parecer complicado, pero en realidad es similar a lo que ocurre con un columpio en el que la energía potencial se transforma en energía cinética. (La presión sería como la energía potencial y la

velocidad del fluido sería la cinética). Si los dos puntos se encuentran a diferentes elevaciones, también hay que tenerlo en cuenta. La ecuación 1 lo muestra en su forma más simple (Hovstadius & Steven Bolles, 2018):

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L + h_{acc}$$

**Donde:**

$P_1$  y  $P_2$ : presiones en los puntos inicial y final del Sistema (Pa)

$Z_1$  y  $Z_2$ : coordenadas verticales de los puntos iniciales y final del Sistema (m)

$V_1$  y  $V_2$ : velocidades del fluido en los puntos inicial y final del Sistema (m/s)

$H_B$ : altura de bombeo (mca)

$h_L$ : pérdidas por longitud de tubería (mca)

$h_{acc}$ : pérdidas por accesorios (mca)

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

$\gamma$ : peso específico ( $N/m^3$ )

### 2.11.1 Cabeza estática

La cabeza estática es la diferencia de elevación entre la superficie del líquido en contenedores que están en la entrada y en la salida de la bomba. Si la bomba opera en un sistema cerrado con una presión diferente a la presión atmosférica hay que tener en cuenta esta presión también. La presión estática es independiente del caudal. En el diagrama de la curva del sistema, se la representa como una línea recta. La energía necesaria para superar la presión estática depende únicamente de la altura y de la densidad del fluido bombeado. Por lo tanto, no varía si hay cambios en el caudal.

### 2.11.2 Cabeza de velocidad

La cabeza de velocidad es la cantidad de energía que debe tener un líquido para moverse a una velocidad determinada. Responde a la ecuación siguiente:

$$h_v = \frac{V^2}{2g}$$

**Donde:**

$h_v$  = cabeza de velocidad

Por lo general, primero hay que calcular la velocidad usando la ecuación 3 para poder luego calcular la cabeza de velocidad.

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

Donde:

$Q$ : caudal ( $m^3/s$ )

$A$ : área ( $m^2$ )

En muchos sistemas con gran cabeza, la cabeza de velocidad es despreciable (menos de 0,5 m o de 1 ft). No obstante, si no es así, hay que calcularla (si se puede, para ambos lados de la bomba: succión y descarga) y luego sumarle la lectura de los manómetros para así determinar la cabeza total.

### **2.11.3 Cabeza por fricción**

La cabeza por fricción es la cabeza que se necesita para superar las pérdidas por fricción en las tuberías y en los componentes de las tuberías del sistema de bombeo. Depende del caudal, de las características de la tubería, de las conexiones y válvulas, y de las propiedades del fluido. En algunos sistemas de bombeo, las pérdidas por fricción incluyen las pérdidas al ingreso de la succión y las que se producen a la salida, en el punto de descarga.

Todos los componentes por los que pasa el fluido son fuentes de fricción: paredes de las tuberías, válvulas, codos, uniones en T, reductores/expansiones, uniones de expansión, y tanques de entrada y de salida. Existen datos experimentales de pérdidas por fricción recopilados a través de muchos años. Los datos están en distintos formatos, tales como diagramas de Moody, cuadros del Hydraulic Institute, etc.

#### **2.11.3.1 Pérdidas por longitud de tubería**

Por lo general, las pérdidas de presión en las tuberías y otros componentes se miden en pies en función del caudal. Normalmente, se las estima usando la ecuación de Darcy-Weisbach. La ecuación de Darcy-Weisbach es muy útil para comprender los parámetros que intervienen en las pérdidas por fricción en las tuberías:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

#### **Donde:**

$h_L$ : pérdidas por longitud de tubería

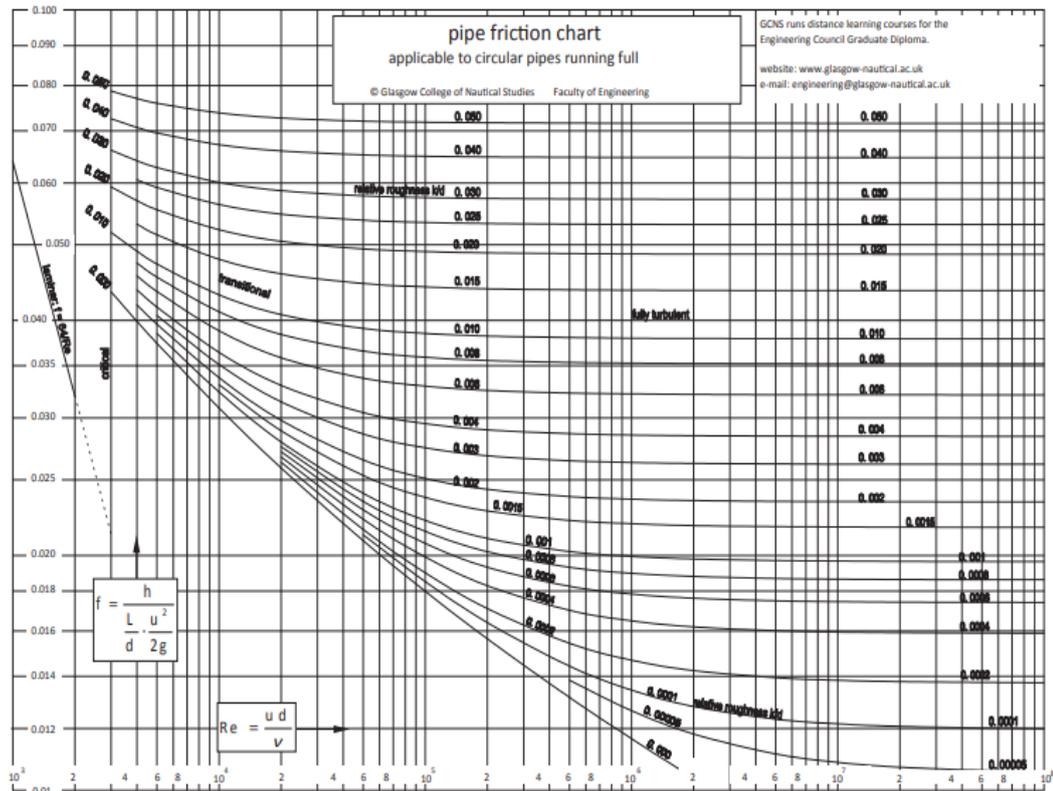
$f$ : factor de fricción en la tubería

$L$ : longitud de la tubería (m)

$D$ : diámetro interior en la tubería (m/s)

$V$ : velocidad del fluido en la tubería (m/s)

El factor de fricción  $f$  depende de la rugosidad de la tubería, la viscosidad del fluido que se bombea, el tamaño de la tubería y la velocidad del fluido. El diagrama de Moody de la figura 18-2 sirve para estimar gráficamente el factor de fricción.



**Figura 18-2:** Diagrama de Moody para pérdidas de la tubería  
**Fuente:** Hovstadius & Steven Bolles, 2018

### 2.11.3.2 Pérdidas por accesorios

Las pérdidas de fricción de los accesorios de una tubería, tales como válvulas, codos y conexiones en T, se calculan sobre todo a partir de datos experimentales. Por lo general, cuando se hace referencia a estas pérdidas, se las califica de pérdidas menores. Sin embargo, en muchos sistemas de tuberías, estas pérdidas menores constituyen una parte importante de las pérdidas por fricción, sobre todo cuando se usan válvulas de control para reducir el caudal. Las pérdidas por fricción de los componentes de las tuberías se calculan normalmente a partir de la cabeza de velocidad, tal como se observa en la ecuación 6.

$$h_{acc} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

**Donde:**

$h_{acc}$ : pérdidas por accesorios

$K$ : coeficiente de pérdida

K es el coeficiente de pérdida. Depende del tamaño y, en el caso de las válvulas, del tipo de válvula y del porcentaje de apertura. En el caso de los componentes normalizados, hay varias fuentes de información en donde se pueden conseguir los coeficientes (*Hovstadius & Steven Bolles, 2018*).

## **2.12      *Sistemas de automatización***

La elección de los elementos idóneos que se requiera para la automatización de la instalación de riego, se dificulta por la gran variedad existente en el mercado, por ello para adquirirlas es muy recomendable apoyarse en el consejo de una persona experimentado en el tema y escoger el modelo que más se adecue a la instalación (*Torres, 2022*) (*Segura, y otros, 2014*).

### **2.12.1    *Controlador***

Los controladores en base a su programación, son los elementos que dirigen el sistema de automatización de la instalación de riego, que puede abarcar la apertura, cierre, avance, parada de elementos, e incluso limpieza de ellos. Es necesario mencionar que los programadores pueden alimentarse con energía solar, eléctrica o química como es las pilas (*Martinez, y otros, 2016*).



**Figura 19-2:** Controlador alimentado por corriente eléctrica

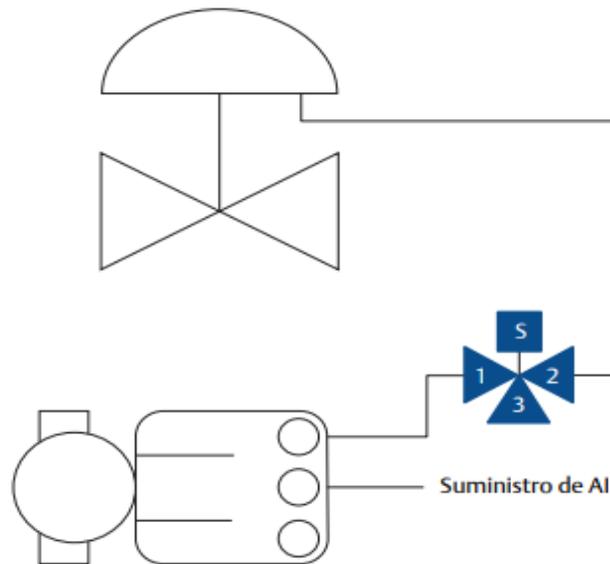
**Fuente:** Tobergte & Curtis, 2013

Entre las ventajas de emplear los controladores es que con uno de ellos se puede controlar más de un sector de riego del jardín, esto es debido a que posee una o varias estaciones (salidas). Algunos modelos pueden alimentar más de una electroválvula por estación, posibilitando el control de dos sectores de riego distinto (*Martinez, y otros, 2016*).

En la actualidad tenemos un abanico de posibilidades de datos de programación a introducir, esto es debido a la diversidad de programadores existentes en el mercado, entre estos datos se puede introducir los días que sea debe hacer el riego y los que no, semanalmente; pero si se desea programar de manera anual o mensual, es necesario acudir a los ordenadores con programas específicos para esta necesidad (*Tobergte & Curtis, 2013*) (*Torres, 2022*) (*Segura, y otros, 2014*).

### 2.12.2 Electroválvulas

Una válvula accionada por solenoide (SOV, solenoid-operated valve) es una válvula electromagnética de apertura/cierre controlado por una señal eléctrica discreta emitida por un sistema de control. Las aplicaciones de válvula de control habitualmente utilizan una electroválvula entre el controlador de válvula digital y la válvula de control (Figura 10-2). La SOV recibirá alimentación mientras el controlador de válvula digital controle la válvula de control. La señal neumática del controlador de válvula digital pasa por la SOV durante el funcionamiento normal.



**Figura 20-2:** Electroválvula y controlador de válvula digital en una configuración 1oo2

*Fuente:* Sabbir Ahmad y Meskin, 2020

Al seleccionar una SOV para su uso en una aplicación de válvula de control, se debe comprobar que el funcionamiento de la SOV es apto para todo el rango de presión del actuador de válvula de control y del controlador de válvula digital. Habitualmente, el rango de presión para estas aplicaciones es de 0-15 psi. Para funcionar de forma eficiente en rangos de presión más amplios, se debe utilizar una SOV de acción directa (figura 21-2) o de pilotaje externo (figura 22-2). Una SOV de acción directa se acciona exclusivamente por la fuerza electromagnética del solenoide. Una SOV de pilotaje externo utiliza la presión de aire externo para modificar el estado de la SOV. El efecto de la presión de aire externo se activa y desactiva mediante el piloto de solenoide electromagnético de acción directa integrado en la SOV. La presión de aire externo permite a este tipo de SOV modificar el estado sin ninguna presión de aire en la sección principal de la SOV (Sabbir Ahmad & Meskin, 2020).



**Figura 21-2:** Conjunto de electroválvula de acción directa

Fuente: Sabbir Ahmad y Meskin, 2020

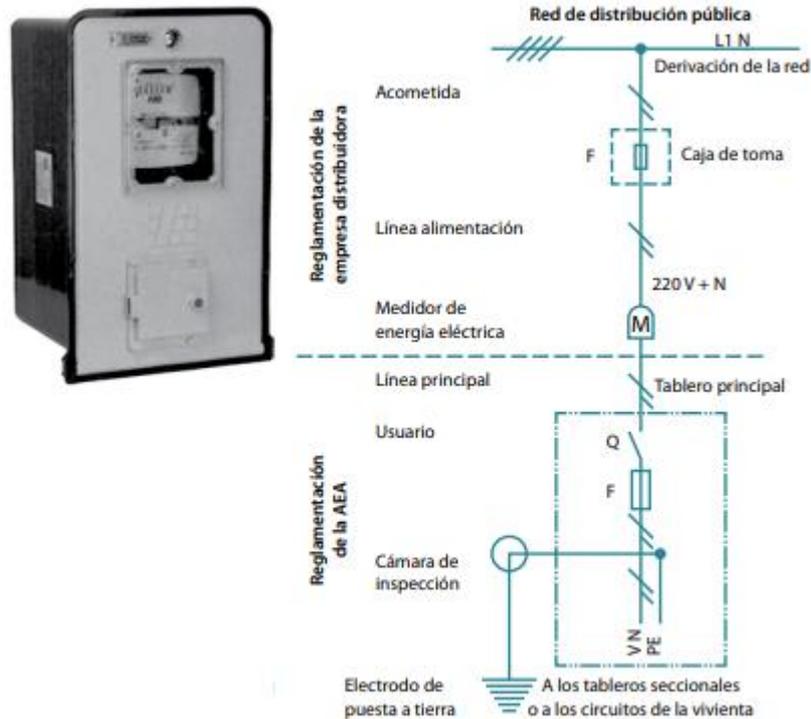


**Figura 22-2:** Electroválvula pilotada

Fuente: Sabbir Ahmad y Meskin, 2020

### **2.13 Caja de control**

Los tableros eléctricos son una parte fundamental de las instalaciones eléctricas. Se los puede considerar como sus puntos vitales. Toda la energía eléctrica de un inmueble circulará por los tableros con diversos objetivos, como medición, distribución y protección las distintas líneas que comienzan en ellos (Instaladores, 2019).



**Figura 23-2:** Esquema de una acometida monofásica  
Fuente: Instaladores, 2019

### 2.14 Selección del cable de conexión

En la instalación de riego automatizada sus elementos se unen a través de cables eléctricos. Se puede dar un elevado calentamiento en estos cables, debido a la corriente eléctrica que circula en ellas, por ello es tan necesario que estos tengan una sección mínima que resista este calentamiento (Kasman, 2014) (Tobergte & Curtis, 2013).

El material del cable es de cobre comúnmente; para calcular su sección se emplean las siguientes ecuaciones dependiendo de los datos que se conozca, es decir si se conoce:

- La intensidad o consumo al arranque del solenoide:

$$S = 0,036 \times \frac{L \times I}{e}$$

**Donde:**

**S:** sección ( $mm^2$ )

**L:** longitud del cable (m)

**I:** intensidad (A)

**e:** caída de tensión máxima (V)

- La potencia consumida por el solenoide de la electroválvula:

$$S = 0,036 \times \frac{L \times P}{V \times e}$$

**Donde:**

**S: sección (mm<sup>2</sup>)**

*L: longitud del cable (m)*

*P: potencia consumida (W)*

*V: tensión de apertura de la electroválvula (V)*

*e: caída de tensión máxima (V)*

La tensión de apertura de la electroválvula es de 12 o 24 Voltios, la caída de tensión máxima será de 2V o de 5 V, según sea el caso, esto es debido a que esta caída debe ser como máximo de un 20% de la tensión de apertura (Kasman, 2014) (Tobergte & Curtis, 2013).

La sección del cable a instalar, es la sección comercial inmediatamente superior a la calculada, en el mercado ofertan cables con secciones (mm<sup>2</sup>) de 0,5; 0,75; 1, 1,5; 2; etc (Tobergte & Curtis, 2013).

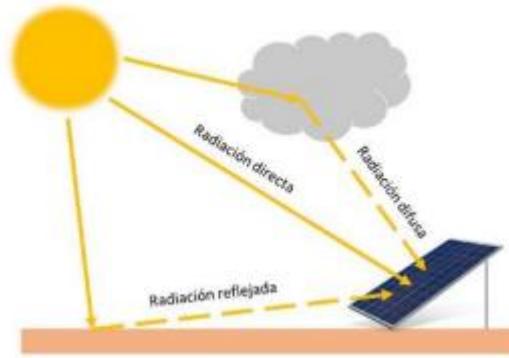
## **2.15 Sistema renovable**

En la actualidad se encuentra en auge el empleo de energías renovables con el propósito de reducir el daño ambiental por el efecto invernadero; sin embargo, para lograr la inserción de energía renovable (generación de corriente continua) adecuada a la red de distribución se debe realizar una correcta planificación e ir gestionando los retos técnicos que implica esta implementación (Pilatasig-Minchala et al., 2021).

Los diseños y configuraciones óptimos son trascendentales a la hora de implantar nuevas tecnologías de energías renovables en el sistema eléctrico (Pilatasig-Minchala et al., 2021).

### **2.15.1 Radiación solar**

La radiación solar es la energía liberada por el Sol hacia el exterior. Esta radiación es de 63450720 W/m<sup>2</sup>. Pero a la atmósfera de la Tierra llega apenas una tercera parte de esa energía y el 70% impacta sobre el mar. No obstante, el consumo energético mundial es miles de veces menor a esa energía. La radiación solar se divide en tres tipos: directa, difusa y de albedo o reflejada. La directa, es receptada en la superficie sin desviarse en la atmósfera, la difusa, es la que cambia su dirección debido a la reflexión y difusión en la atmósfera, y la de albedo, es la radiación directa y difusa que se recepta luego de haberse reflejado en el suelo o alguna superficie (Pilatasig-Minchala et al., 2021).



**Figura 24-2:** Esquema de radiación solar  
**Fuente:** Pilatasig-Minchala et al., 2021

### 2.15.2 Panel fotovoltaico

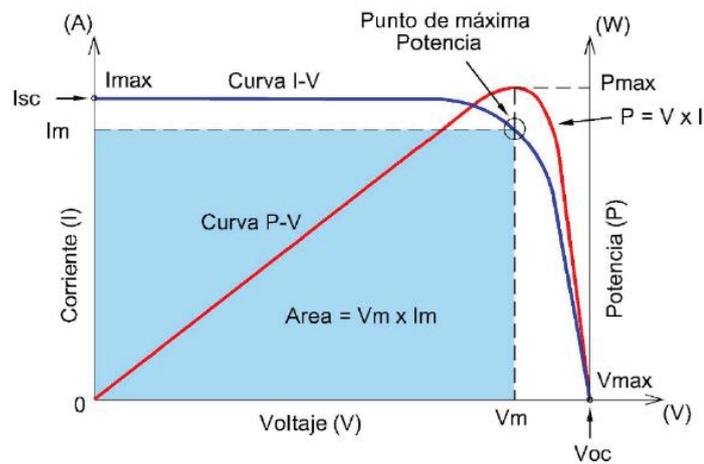
Su función es captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica. Estos dispositivos se pueden conectar en serie o paralelo.

Cuando se conecta en serie, el voltaje tal es la suma de los voltajes individuales de cada uno de los dispositivos. La corriente de salida será igual a la corriente de un módulo.

Al conectarse en paralelo, la corriente total es la suma de las corrientes individuales de cada módulo y el voltaje es el mismo que el de uno solo.

Por tanto, el número de componentes conectados en serie determina el voltaje y el número de dispositivos en paralelo determinan la corriente que se le puede suministrar a una carga (Belakang, 2011).

La figura 25-2 muestra las curvas características de un panel fotovoltaico. Se observa en la curva de potencia, la existencia de un máximo denominado punto máximo de potencia ( $P_{max}$ ) al cual le corresponden valores de corriente en el punto de máxima potencia,  $I_m$  y de voltaje en el punto de máxima potencia,  $V_m$ . Dicho punto es único para cada celda solar y varía conforme cambia la irradiancia solar. Con los parámetros obtenidos de dichas curvas se puede calcular el factor de llenado,  $FF$ , es una medida de la cuadratura de la curva  $I-V$  (Jerez et al., 2020).



**Figura 25-2:** Gráficas de corriente, potencia y voltaje de una celda fotovoltaica.

*Fuente:* Jerez et al., 2020

## 2.16 Almacenamiento de energía

Las plantas de generación de energía tradicionales no tienen mayor inconveniente, la mayor parte de la energía es consumida mientras es generada. Pero los sistemas que aprovechan la energía fotovoltaica y eólica requieren del almacenamiento por la intermitencia que implica el uso de estos recursos. Entonces la capacidad de almacenamiento se convierte en un punto clave y decisivo, especialmente en los sistemas aislados que no se encuentran conectados a la red (Patel, 2005).

### 2.16.1 Baterías

Las baterías actualmente se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, su función es almacenar energía electroquímica. La energía electroquímica es una energía abierta de medio orden entre la electricidad y el calor. Hay dos tipos de baterías: baterías primarias, cuando la reacción electroquímica es irreversible, es decir, cuando la reacción está completa se desechan las baterías reactivas y las baterías secundarias, o las denominadas recargables.

En una batería secundaria, el proceso de conversión de energía química en energía eléctrica ocurre en descarga y de eléctrica a química durante la carga. Eficiencia promedio de esta celda dado que la pérdida de energía disipada es pequeña, del 70% al 80% en forma de calor en ambos procesos (Patel, 2005).

## 2.17 Requisitos de riego

El clima local es uno de los principales factores que influye cuánta agua se necesita para mantener un buen crecimiento de las plantas. El requerimiento de agua de la planta incluye el agua perdida por evaporación a la atmósfera desde el suelo y el suelo superficie, y por transpiración, que es la cantidad de agua utilizado por la planta. La combinación de estos es evapotranspiración (Bird, 2000).

### 2.17.1 *Tiempos característicos del riego*

Los tiempos característicos que permiten la determinación de la duración de cada fase dentro del desarrollo del riego por superficie, son los siguientes:

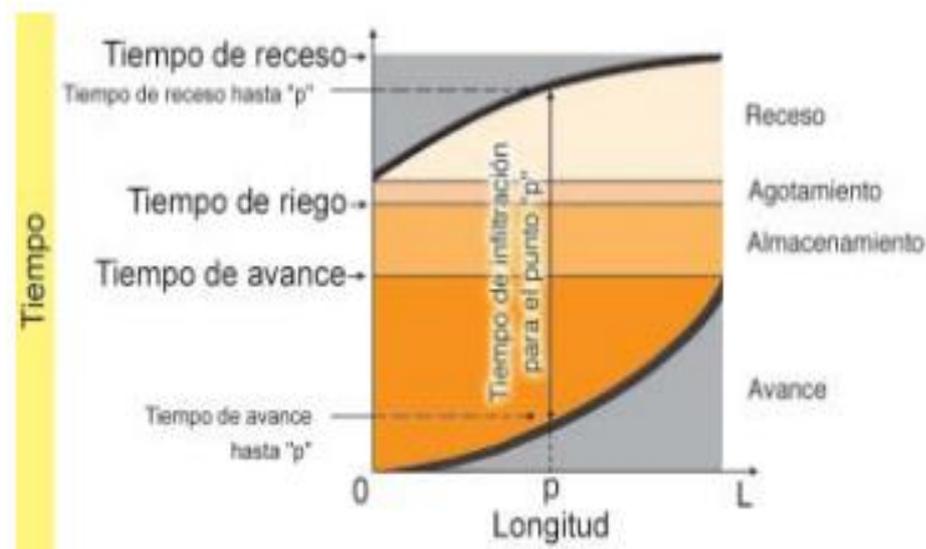
Tiempo de avance: es el tiempo que tarda el agua en llegar a todos los puntos de la zona a regar.

Tiempo de receso: representa el tiempo en que toda el agua desaparece de la superficie del suelo. Se mide desde el comienzo del riego.

Tiempo de infiltración: es el tiempo que el agua permanece en contacto con el suelo, a medida que se infiltra en su interior. Para cada punto, se calcula como la diferencia entre el tiempo de receso y el tiempo de avance registrados en el mismo. Normalmente suele ser mayor en la cabecera que en la cola del área a regar.

Tiempo de aplicación del riego o tiempo de riego: representa el tiempo durante el que tiene lugar el aporte del agua durante la ejecución del riego.

La representación gráfica de los tiempos de avance y receso a lo largo de toda la zona regada, permiten la obtención del “diagrama de avance-receso”. La utilidad fundamental de este diagrama es que permite visualizar el tiempo que la lámina de agua aplicada está en contacto con la superficie, que se corresponde con la distancia vertical existente entre ambas líneas. Esta información es fundamental ya que el volumen infiltrado en cada punto puede estimarse a partir de dicho tiempo de contacto (Tobergte & Curtis, 2013).



**Figura 26-2:** Fases del riego por superficie, tiempos característicos y representación del tiempo de infiltración

Fuente: Tobergte & Curtis, 2013

### **2.17.2 Tipos de suelo**

El suelo absorbe y retiene el agua de la misma manera que una esponja. Una textura y un volumen dados de suelo sostendrán una cantidad de humedad. La tasa de absorción del suelo será influida por la tasa de precipitación y el tipo de aspersor que puede ser utilizado. La capacidad del suelo para retener la humedad y la cantidad de humedad que puede contener, afectará en gran medida el calendario operativo de riego.

El suelo está formado por partículas de arena, limo y arcilla. El porcentaje de cada una de estas tres partículas es lo que determina la textura real del suelo. Debido a que el porcentaje de cualquiera de estas tres partículas puede diferir, existe prácticamente un número ilimitado de tipos de suelo posibles.

La forma más sencilla de determinar el tipo de suelo es colocar una muestra de suelo humedecida en la mano y apretar. Tome la muestra de una parte representativa del sitio, y de aproximadamente a la misma profundidad a la que estará regando. En otras palabras, si desea regar hasta una profundidad de 15 cm (6 pulgadas), excava 15 cm (6 pulgadas) para tomar la muestra de suelo (Bird, 2000).

### **2.18 Metodología de Scrumban**

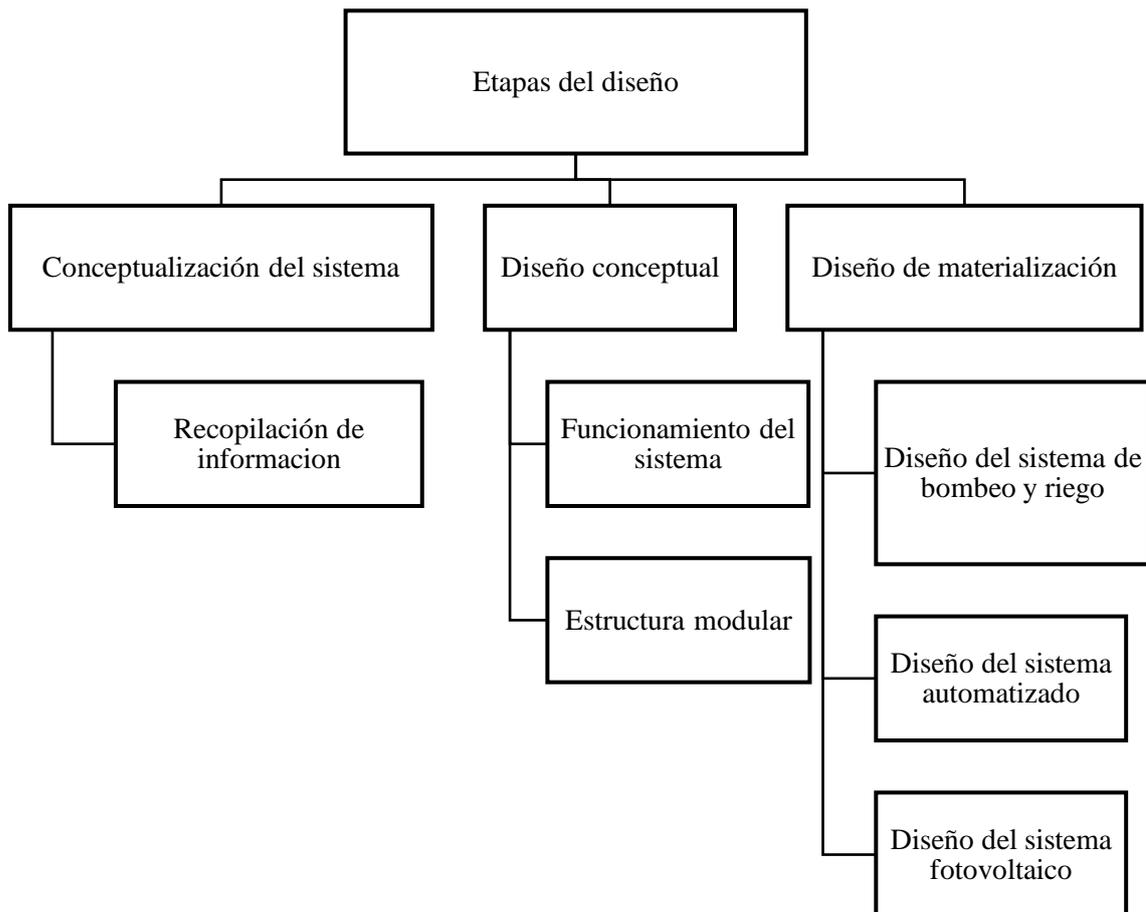
Se trata de una metodología comprometida entre scrum y kanban que incrementa la aplicabilidad y versatilidad en una herramienta, se ha vuelto popular por su habilidad para incrementar la eficiencia de administración del proyecto sin el consumo excesivo de tiempo y decremento de la flexibilidad en la administración del equipo, mezcla la flexibilidad de kanban y las características básicas de scrum.

Una de sus mayores ventajas es la habilidad de ahorrar tiempo, esto al insistir en la planeación basado en la técnica del trabajo demandado o requerido, esto significa que los equipos planearán las tareas en la etapa inicial y cuando haya una solicitud o demanda de trabajo del usuario. Además de esto, la metodología sigue flujos y diagramas de interprocesos para demostrar debilidades y oportunidades en los procesos, dando la oportunidad al equipo de eliminar todo aquello que no aporte valor al usuario o consumidor. Y lo más importante, Scrumban limita el work in progress del equipo para que los miembros del mismo puedan terminar lo que tenga mayor prioridad (Flores, 2014).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

Para este proyecto se ha planteado seguir la metodología de Scrumban, el cual fue presentado en el capítulo anterior permitiéndonos desarrollar el sistema de manera concisa tomando en cuenta todas las características para el diseño y construcción del mismo. A continuación, se detalla la metodología que se va a desarrollar en el sistema.



**Figura 1-3:** Etapas de Diseño concurrente  
Realizado por: Alulema, I, 2022

#### 3.1 Conceptualización del sistema

##### 3.1.1 *Recopilación de la información*

En este apartado se pretende recopilar toda la información necesaria con el fin de tener los recursos suficientes a disposición para el análisis del sistema. Al mismo tiempo se plantea los parámetros iniciales, los cuales servirán como punto de partida para la validación de resultados tanto en diseño como en construcción.

### 3.1.1.1 Condiciones ambientales

Los parámetros externos para tomar en cuenta se presentan en (Khan et al., 2009, p. 1826) así como las características de las condiciones ambientales de la hostería en donde se realizará la instalación. Por lo cual, mediante el canal de riego que se encuentra ubicado a 1 Km de Riobamba (Vía a Chambo) se realizará la instalación del sistema de bombeo y riego.



**Figura 2-3:** Canal Riobamba-Chambo

Realizado por: Alulema, I, 2022

Si bien el agua residual proveniente del canal de riego que abastece el reservorio posee menor calidad del agua procedente de otros proveedores, según (Fernández Gómez et al., 2010) menciona que para jardines y cultivos tradicionales se puede emplear con la ventaja de aprovechar el fluido que se tiene a disposición.

**Tabla 1-3:** Condiciones ambientales

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Geometría del canal                          | Ancho: 1m                |
|  | Profundidad: 1,5m        |
| Altura sobre el nivel del mar de la hostería | 2785,5 m.s.n.m.          |
| Temperatura del agua                         | 12,2 °C                  |
| Densidad                                     | 999,58 kg/m <sup>3</sup> |
| Velocidad del flujo                          | 1,58 m/s                 |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

La hostería se encuentra a una altitud de 2785,5 m.s.n.m. la cual fue visitada para la toma de datos que nos servirán en el diseño del sistema de bombeo y riego. Se considera que el canal de riego siempre se encuentra en actividad, por lo tanto, la falta de agua en el tanque de almacenamiento no será un problema.

### 3.1.1.2 Dimensiones del tanque

El tanque de almacenamiento y la tanquilla tienen un área de 35,53 y 7,15 m<sup>2</sup> respectivamente. El reservorio se encontraba en mal estado como se puede apreciar en la figura 3-3, por lo que se procedió a realizar una limpieza y arreglo del mismo.



**Figura 3-3:** Medición tanque de almacenamiento  
Realizado por: Alulema, I, 2022

### **3.2 Diseño conceptual**

En este apartado se presenta la descripción del funcionamiento del sistema de bombeo y riego que es la estructura principal de este proyecto.

#### **3.2.1 Funcionamiento del sistema**

El sistema de riego por aspersión consiste en aplicar agua sobre la superficie de un terreno en forma de lluvia. Este sistema se basa en transportar agua a presión por medio de tuberías, y dispersarla con ayuda de los elementos conocidos como aspersores logrando así infiltrar en el suelo, llegando a sus capas más profundas y alimentando a las plantas. Este proceso de infiltración no sólo dependerá de las características de los aspersores sino también de las propias características físicas del suelo.

Entre las principales características de este sistema de riego se puede mencionar que el agua, una vez que sale del aspersor, no se tiene control sobre esta, pues dependerá de las condiciones climáticas, lo cual afecta directamente sobre la uniformidad de aplicación. Uno de los aspectos que puede crear mayores problemas de uniformidad en reparto del agua es el viento, ya que distorsiona la trayectoria del chorro de agua, lo que provoca un desarrollo poco homogéneo del área del jardín que se riegue con este sistema. Otro aspecto que también afecta a la eficiencia de este sistema es la evaporación de las gotas de agua expulsadas por el aspersor antes de llegar al suelo, esto puede darse en ambientes cálidos o secos. Debido a esto es necesario controlar el tamaño de gota generado por los aspersores, ya que, si éste es muy reducido, las pérdidas por evaporación pueden ser muy elevadas.

Los aspersores realizan movimientos rotatorios, por lo que humedecen una zona más o menos circular. Existen modelos de aspersores regulables en los que el ángulo de giro puede variarse entre 0 y 360°, modificando así el área regada; otra posible regulación es la del arco de riego, que modifica el radio de trabajo, y por tanto el área humedecida. En algunos modelos de última generación, la combinación de varias boquillas existentes en una misma carcasa, permite modificar arcos de trabajo y tamaño de gota, lo que los hace muy adaptables a situaciones muy variadas.

### 3.2.2 Estructura modular

#### 3.2.2.1 Módulo electromecánico y mecatrónico

Es fundamental plantear una estructura modular con el objetivo de conocer las dimensiones, componentes, técnicas e instrumentos que se van a llevar a cabo en el diseño y construcción del sistema. Para lo cual, se ha desarrollado una tabla en donde se tendrá un mejor análisis.

**Tabla 2-3:** Módulo electromecánico – mecatrónico

| Conceptualización  | Dimensiones            | Indicadores  | Ítems   | Técnicas e instrumentos    |
|--|------------------------|--|---|----------------------------|
| <b>MÓDULO ELECTROMECAÁNICO - MECATRÓNICO</b><br>Mediante elementos hidráulicos, eléctricos y electrónicos se logra cumplir un objetivo, el cual es aprovechar la energía para el funcionamiento del sistema. | Elementos Hidráulicos  | ¿Qué componentes hidráulicos pueden contemplar un módulo mecatrónico?    | Bomba hidráulica<br>Tuberías<br>Válvulas<br>Accesorios    | Catálogos<br>Libros<br>Web |
|  | Elementos Electrónicos | ¿Qué componentes electrónicos deberían comprender el módulo mecatrónico? | Controlador programador<br>Electroválvulas                | Catálogos<br>Libros<br>Web |
|  | Elementos Eléctricos   | ¿Qué componentes eléctricos deberían comprender el módulo mecatrónico?   | Panel fotovoltaico<br>Baterías<br>Inversor<br>Controlador | Catálogo<br>Libros<br>Web  |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

### 3.3 Diseño de materialización

En este apartado se presenta el diseño y construcción del sistema hidráulico, electrónico, eléctrico y fotovoltaico.

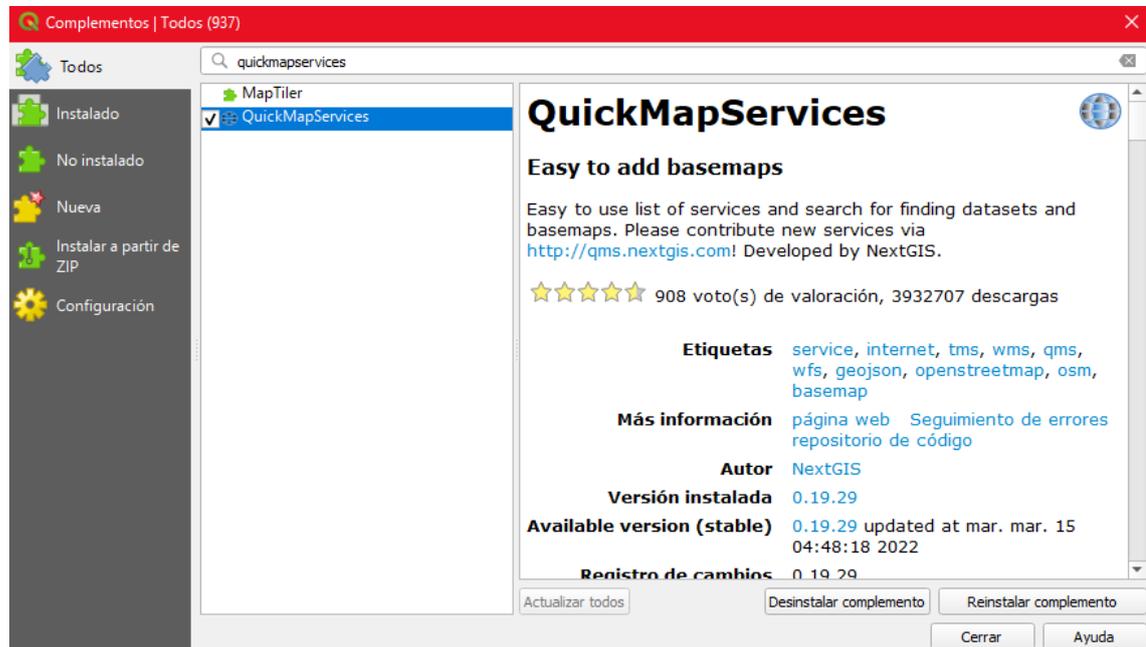
#### 3.3.1 Diseño del sistema hidráulico

El diseño del sistema de bombeo y riego se lo realiza mediante el criterio de la pendiente hidráulica, en donde se selecciona aspersores, se dimensiona el diámetro de tuberías, se selecciona la bomba, las válvulas y accesorios.

##### 3.3.1.1 Geometría de los espacios ajardinados

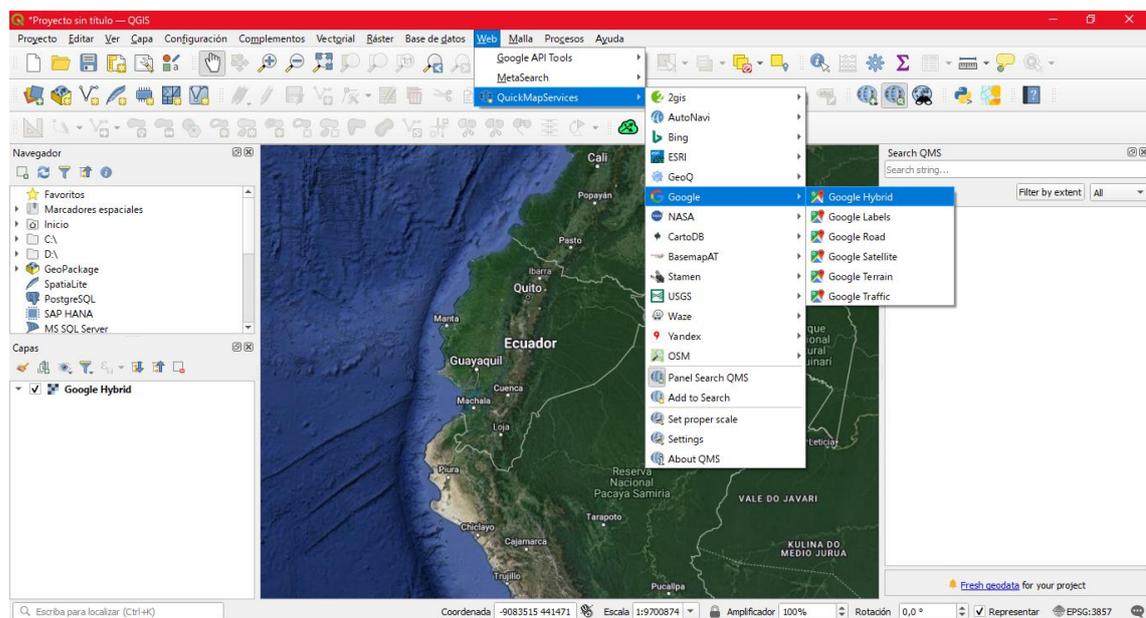
El análisis del sistema parte de la ejecución de una planimetría de la hostería que ha sido realizado por medio del software Qgis. A continuación, se presenta resumidamente el proceso de diseño del plano.

En primer lugar, es necesario instalar los complementos que servirán como herramienta en el desarrollo de la planimetría como es el caso de QuickMapServices, un complemento con características de un mapa buscador de lugares de cualquier parte del mundo.



**Figura 4-3:** Instalar complementos (QuickMapServices)  
Realizado por: Alulema, I, 2022

Después de haber instalado los complementos se procede a seleccionar Google Hybrid que se encuentra en la opción QuickMapServices con la finalidad de representar todas las características del establecimiento.



**Figura 5-3:** Selección de Google Hybrid  
Realizado por: Alulema, I, 2022

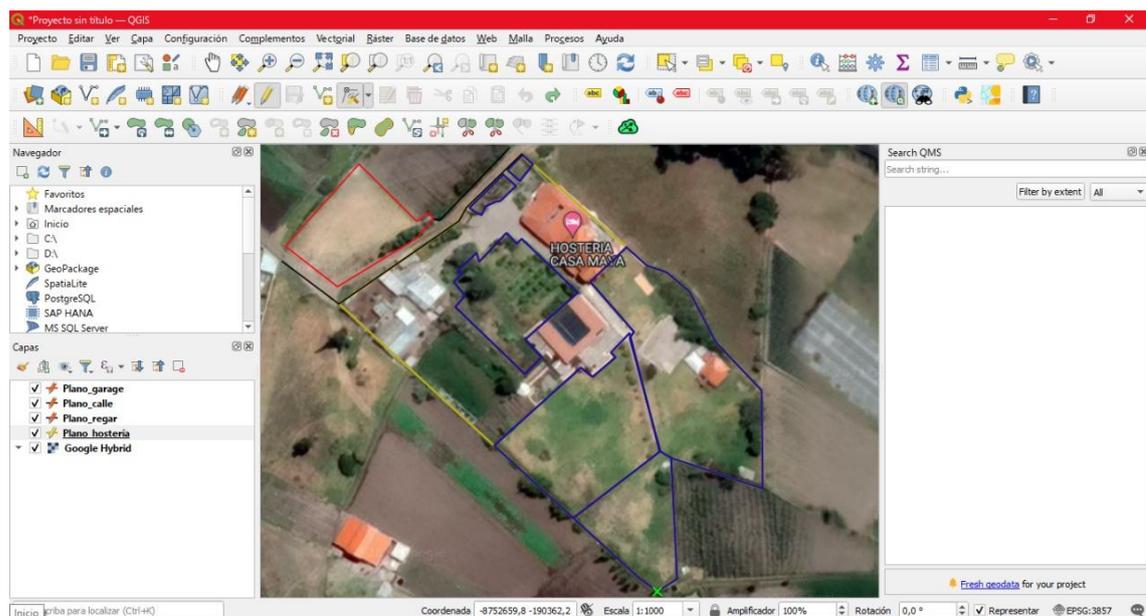
Ingresando las coordenadas del lugar se puede lo ubicar rápidamente. Se observa una vista de alzado en donde se aprecia los espacios ajardinados en donde se realizará el análisis del diseño e instalación del sistema.



**Figura 6-3:** Hostería Casa Maya desde Google Hybrid

Realizado por: Alulema, I, 2022

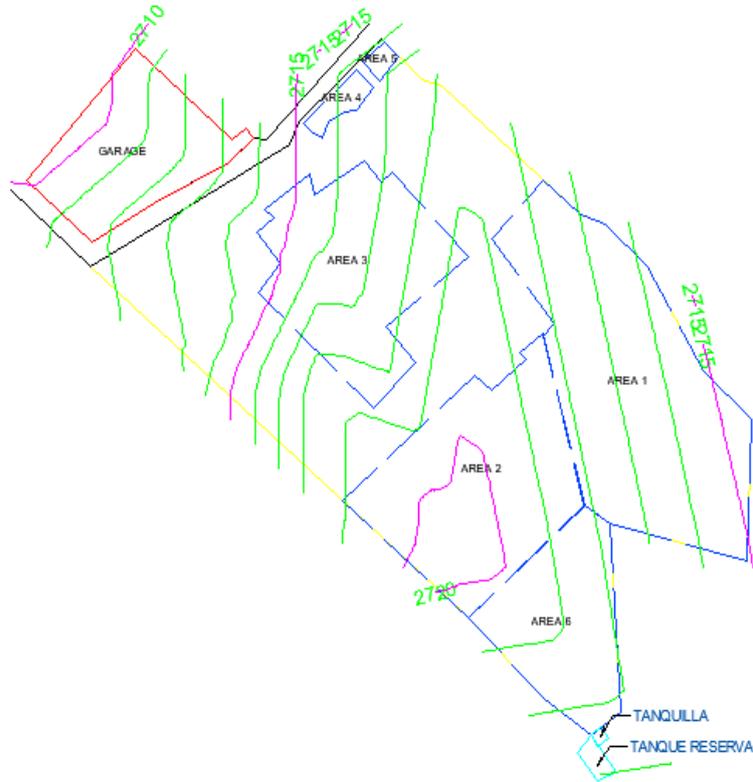
Seleccionar una escala 1:1000 y con la ayuda de capas de distinto color se va diseñando el plano del establecimiento con la finalidad de identificar el contorno de la hostería, áreas a regar, calle, y parqueadero.



**Figura 7-3:** Hostería Casa Maya desde Google Hybrid

Realizado por: Alulema, I, 2022

Con la finalidad de facilitar el diseño del sistema se procede a exportar las capas realizadas en Qgis a AutCAD y, además, se añadirán otras características como las curvas de nivel, el tanque de reserva, la tanquilla y se proporcionará texto descriptivo a los elementos.



**Figura 8-3:** Planimetría de la hostería Casa Maya

Realizado por: Alulema, I, 2022

En la tabla 2-3 se puede apreciar las medidas que presenta cada área de la hostería, datos relevantes que nos servirán como recursos en el diseño.

**Tabla 3-3:** Descripción de las zonas de la hostería Casa Maya

| ÁREAS  |                 |           |
|--------|-----------------|-----------|
| NOMBRE | DESCRIPCIÓN     | ÁREA (m2) |
| ÁREA 1 | ZONA DE CAMPING | 2096,54   |
| ÁREA 2 | CANCHAS         | 1476,56   |
| ÁREA 3 | JARDÍN LIMONES  | 1195,75   |
| ÁREA 4 | JARDÍN 1        | 73,17     |
| ÁREA 5 | JARDÍN 2        | 28,51     |
| ÁREA 6 | ÁREA DE CANCHAS | 834,16    |
|        | TOTAL           | 5704,69   |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

Por órdenes de los dueños del establecimiento se ha seguido las instrucciones para la irrigación del área 6, área 3 y el jardín que se encuentra en el área 1.

### 3.3.1.2 Análisis de la presión en los puntos críticos

La red ramificada consta de puntos de transición y puntos de consumo. La presión que se recomienda en los puntos de transición es de 5mca por motivo de no ocasionar un golpe de ariete; por otra parte, en los puntos de consumo (Peralta & Simpfendörfer, 2001) menciona que la presión en las tomas de aguas de las redes urbanas se aproxima a 2-3 kg/cm<sup>2</sup> o 20-30 mca.

Por tanto, en el diseño se ha seleccionado 5 mca en los puntos de transición y 20 mca en los puntos de consumo.

### 3.3.1.3 Selección de aspersores

El siguiente factor que se debe conocer es el caudal en los puntos de consumo producido por los aspersores, puesto que son los puntos más alejados de la red ramificada y se necesita conocer el caudal que circula por cada tubería hasta llegar a la tubería principal, con la finalidad de validar la capacidad de abastimiento del reservorio. Los aspersores presentan características como presión, caudal y alcance máximo, por tanto, se realiza un análisis para la ubicación y selección de los mismos.

Por medio del catálogo Senninger se ha ubicado el aspersor de la marca Xcel Wobbler gracias a su economía y disponibilidad en el mercado, el cual consta con las siguientes características:

- El Xcel Wobbler con su nuevo diseño de balanceo mucho más suave, maximiza el área de cobertura, proporcionando una notable uniformidad.
- Mayor diámetro a bajas presiones, con menos pérdida de evaporación.
- De construcción fuerte y de gran durabilidad, único aspersor con dos años de garantía.
- Menos pérdida de agua con una aplicación inmediata parecida a una lluvia natural.
- El Xcel Wobbler disponible en conexión a rosca hembra de ½" y ¾".

Se ha considerado seleccionar un aspersor de media pulgada a 10 Psi, el cual consta de un caudal de 1,06 GPM y un alcance de 10,68 m (es decir su diámetro máximo de regadío obtendrá ese valor) (Senninger, n.d.).

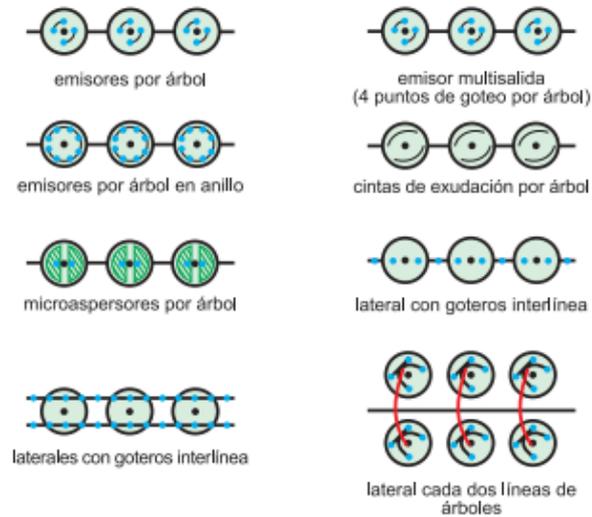
| Xcel Wobbler                              | PRESIONES DE TRABAJO (PSI) |       |       |       |       |
|---|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|   | 10                         | 15    | 20    | 25    | 30    |
| <b>Boquilla 6 (Gold) R/M ½"</b>           |                            |       |       |       |       |
| Caudal (GPM)                              | 0.78                       | 0.95  | 1.10  | 1.35  | 1.35  |
| Diámetro a 0.50 m                         | 10.38                      | 12.05 | 12.97 | 13.43 | 13.43 |
| <b>Boquilla 7 (Lima) R/M ½"</b>           |                            |       |       |       |       |
| Caudal (GPM)                              | 1.06                       | 1.3   | 1.5   | 1.68  | 1.84  |
| Diámetro a 0.50 m                         | 10.68                      | 12.36 | 13.12 | 13.58 | 13.73 |
| <b>Boquilla 10 (Turquesa) R/M ½" y ¾"</b> |                            |       |       |       |       |
| Caudal (GPM)                              | 2.22                       | 2.72  | 3.14  | 3.51  | 3.85  |
| Diámetro a 0.50 m                         | 11.60                      | 13.28 | 14.04 | 14.50 | 14.65 |

**Figura 9-3:** Características del aspersor Xcel Wobbler

Fuente: Senninger, n.d.

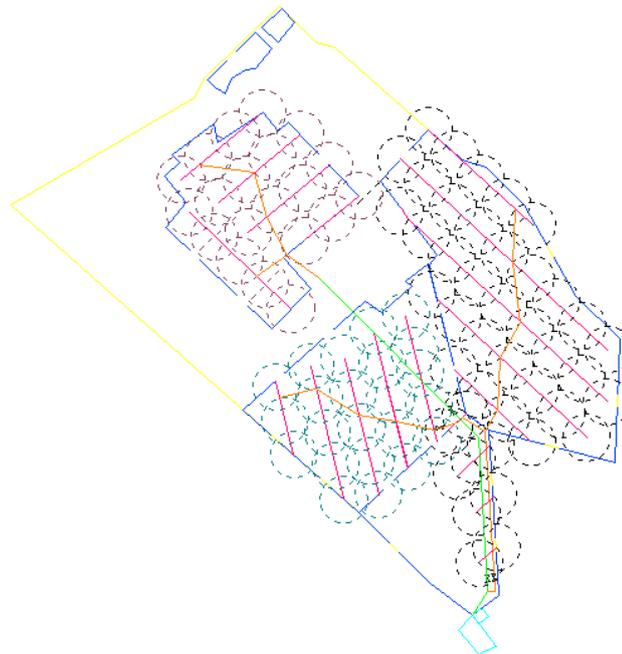
### 3.3.1.4 Ubicación de los aspersores

La función principal del proyecto que se está trabajando es proporcionar un riego equitativo en todos los espacios verdes de la hostería, optimizando el recurso hídrico. Por tanto, mediante (Hunter, 2013) se ha determinado que los aspersores deben ser situados ordenadamente y sin mucha separación (esto puede provocar el crecimiento de césped o alimentos ineficiente).



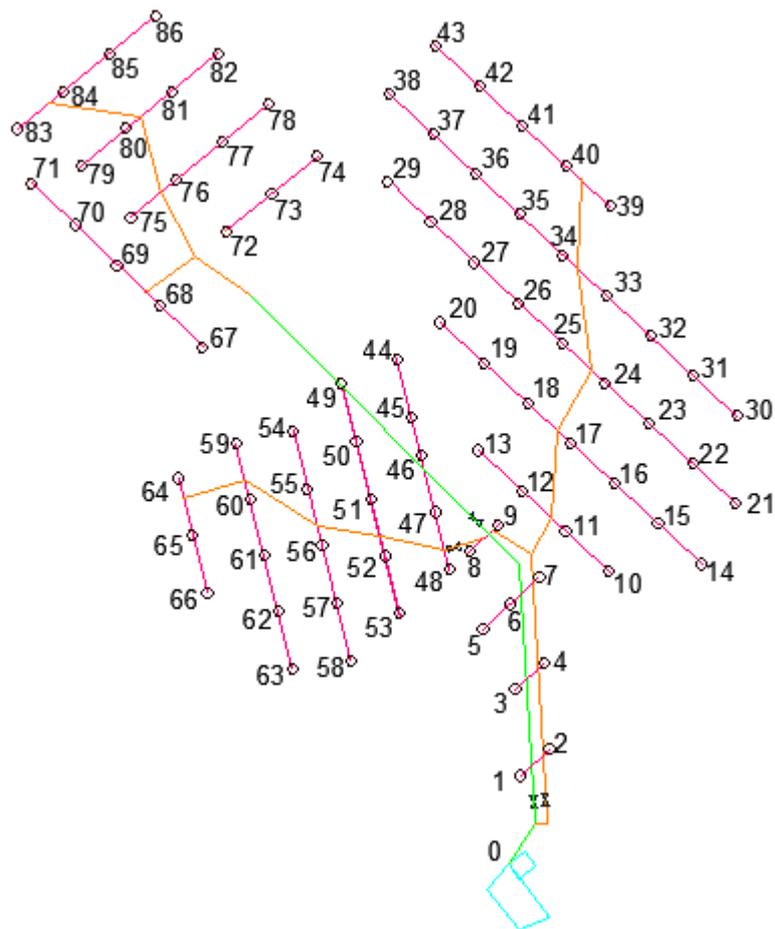
**Figura 10-3:** Opciones de ubicación de los aspersores  
Fuente: Hunter, 2013

Si se realiza el diseño según lo mencionado con el mismo aspersor en cada punto de consumo del sistema se tiene como se presenta a continuación en la Figura 11-3.



**Figura 11-3:** Ubicación de los aspersores  
Realizado por: Alulema, I, 2022

Se ha determinado que la cantidad que se necesita en la irrigación son de 86 aspersores, los mismos que teóricamente proporcionarán un regadío equitativo en los espacios ajardinados.



**Figura 12-3:** Aspersores del sistema de riego y bombeo  
Realizado por: Alulema, I, 2022

En vista que la cantidad de aspersores es excesiva, en función al recurso económico y a la instalación y desinstalación de los mismos principalmente a sección de las canchas, se ha empleado otro método con la misma finalidad de garantizar eficiencia en la irrigación de los espacios verdes.

Se ha implementado válvulas cercanas a los puntos de consumo con el propósito de aumentar o disminuir el caudal. En el espacio de las canchas se ha seleccionado una válvula de 40 mm; así como en los sitios de los jardines se ha seleccionado una válvula de 25 mm.

Referente a la selección de aspersores se ha considerado ubicar en la zona de los jardines el aspersor Xcel Wobbler de 1,06 GPM mencionado anteriormente en la Figura 7-3 y en las canchas el aspersor 2023 HD – ¾" M con difusor que presenta las siguientes características:

- Ángulo de aspersión de 23°, que permite un mayor alcance con conexión rosca macho de ¾".

- El difusor en el brazo del aspersor imita el rendimiento de la doble boquilla pero sin la posibilidad de taponamiento que tienen a menudo las boquillas secundarias más pequeñas.
- Nuevo diseño de boquillas para una mejor uniformidad y mantenimiento.
- Ofrece una cobertura uniforme, lo que significa que moja una superficie mucho mayor con una intensidad de aspersión instantánea mucho menor, preservando así la estructura y capacidad de infiltración del suelo.

Se ha considerado seleccionar un aspersor de ¾” a 25 Psi, el cual consta de un caudal de 4,19 GPM (Senninger, n.d.).

| 2023 HD-1-¾" M C/DIFUSOR     | PRESIÓN EN LA BOQUILLA (PSI) |       |       |       |       |       |
|------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              | 25                           | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    |
| Boq # 11 ( 11/64 ") Amarillo |                              |       |       |       |       |       |
| Caudal (gpm)                 | 4.19                         | 4.63  | 5.00  | 5.34  | 5.67  | 5.98  |
| Diámetro a 0.50 m            | 22.89                        | 25.00 | 25.10 | 26.25 | 26.86 | 27.50 |
| Diámetro a 1.00 m            | 24.11                        | 26.86 | 27.15 | 28.05 | 28.70 | 29.00 |

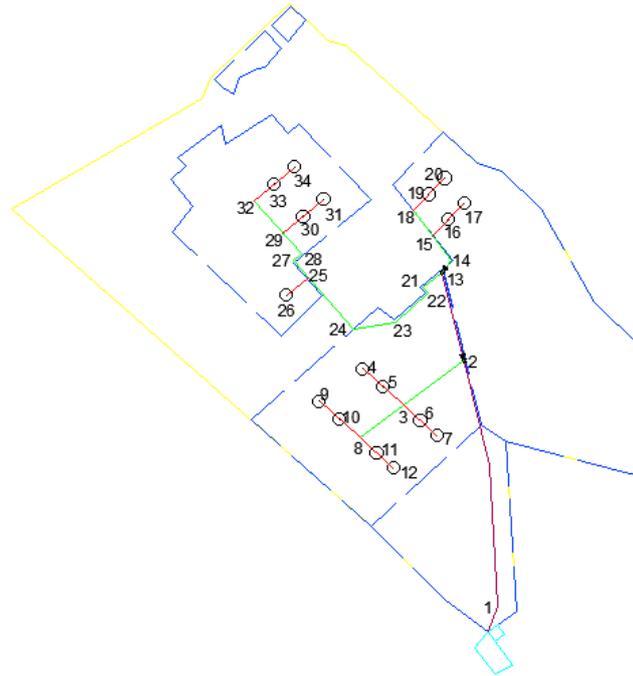
**Figura 13-3:** Características del aspersor 2023 HD

Fuente: Senninger, n.d.

### 3.3.1.5 Selección diámetro de tuberías

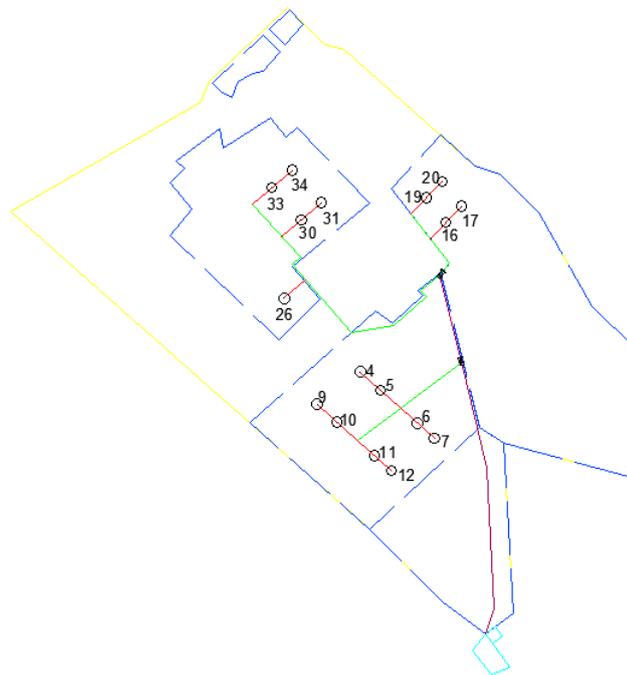
Como se ha mencionado anteriormente el recurso que se utilizará para seleccionar los diámetros de las tuberías será el criterio de pendiente hidráulica, considerando los puntos de consumo correspondientes al caudal de los aspersores de la figura 9-3 y la figura 13-3 así como la presión en los puntos de consumo, datos relevantes que nos servirán en el presente análisis. En cuestión a la cota, es decir a la altura que se encuentran los puntos de consumo se considera un valor de cero a todos los elementos, puesto que el terreno a analizar presenta una geometría relativamente plana.

Por tanto, en todos los puntos de consumo se ubica su designación, procedimiento que sirve para determinar rápidamente la sumatoria de las longitudes de los tramos a diseñar, como se puede observar en la figura 14-3, en donde se puede visualizar 34 puntos críticos.



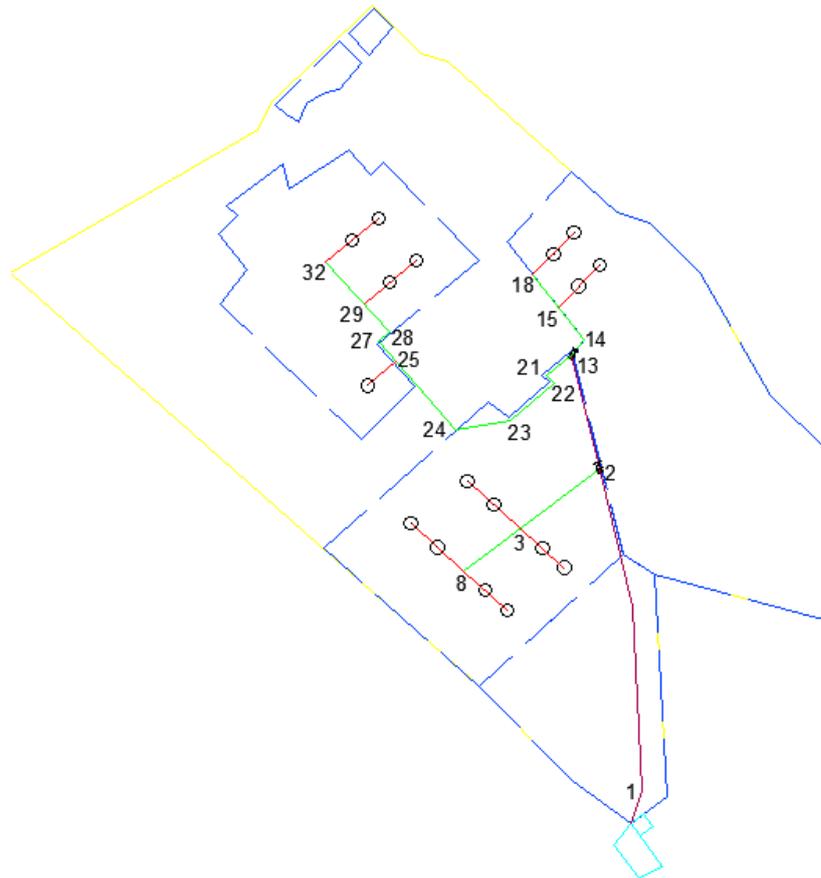
**Figura 14-3: Puntos críticos**  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

En la figura 15-3 se puede apreciar los puntos de consumo que posee la red ramificada en donde se encuentran los aspersores y se determinó una presión de 20mca.



**Figura 15-3: Puntos de consumo**  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

Los puntos de transición son aquellos que sirven como conexión de las tuberías y adquiere una presión de 5mca. Se puede apreciar en la figura 16-3.



**Figura 16-3:** Puntos de transición  
Realizado por: Alulema, I, 2022

El objetivo de este análisis es encontrar cual ramificación es la crítica, pues a partir de esa definición se empezará a realizar el diseño de las tuberías, para ello nos apoyamos del software Excel con la finalidad de determinar de manera precisa y rápida cuál es la máxima altura de la bomba teórica.

De forma cualitativa se puede apreciar que el punto 34 es el más crítico, puesto es él que se encuentra más alejado de la bomba y como se puede apreciar en la tabla 4-3 mediante un análisis cuantitativo se determinó que dicho punto presenta mayor valor en lo correspondiente a la altura de bombeo teórica.

**Tabla 4-3:** Diseño de la red ramificada

| NUDOS/<br>LINEAS | COTA<br>(m) | CONSUMO<br>(l/s) | PRESION<br>MIN | ALTURA | LONGITUD | SUMATORIA<br>LONG | $h_{long}$ | Hbomba<br>teórica | CAUDAL<br>TUB |
|------------------|-------------|------------------|----------------|--------|----------|-------------------|------------|-------------------|---------------|
| 0                |             |                  |                |        |          |                   |            |                   |               |
| 1                | 0           | 0                | 5              | 5      | 6        | 6                 | 0,06       | 5,06              | 2,717         |
| 2                | 0           | 0                | 5              | 5      | 46,56    | 52,56             | 0,5256     | 5,5256            | 2,717         |
| 3                | 0           | 0                | 5              | 5      | 16,76    | 58,56             | 0,5856     | 5,5856            | 2,115         |
| 4                | 0           | 0,2643           | 20             | 20     | 6        | 70,56             | 0,7056     | 20,7056           | 0,2644        |
| 5                | 0           | 0,2643           | 20             | 20     | 6        | 64,56             | 0,6456     | 20,6456           | 0,2644        |
| 6                | 0           | 0,2643           | 20             | 20     | 5        | 63,56             | 0,6356     | 20,6356           | 0,2644        |
| 34               | 0           | 0,06688          | 20             | 20     | 5,8      | 148,86            | 1,4886     | 21,4886           | 0,06688       |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

A continuación, se explica detalladamente lo que representa cada columna analizada en Excel.

Respecto a nudos/líneas se refiere a todos los puntos de consumo que presenta la red ramificada y consta de 34.

Como se mencionó anteriormente, los espacios ajardinados a regar se encuentran a una altura significativamente nivelada, por tanto, se considera 0 en todos los puntos de consumo.

En lo correspondiente a la columna de consumo, significa cual es el caudal que le corresponde en ese punto. Se puede observar que existen valores nulos, estos no representan salida de caudal, sino son puntos en donde existe un cambio de dirección o se encuentra ubicado un accesorio. El caudal correspondiente a cada aspersor es de 0,06688 l/s.

En cuanto a la presión mínima en los puntos donde no expulsa un caudal se le asigna un valor de 5 mca y en los aspersores se considera 20 mca, valores que se determina mediante el catálogo de la bomba.

Para determinar la altura piezométrica se procede a la utilización de la siguiente fórmula.

$$H_i = C_o + P_m$$

En donde:

$H_i$  = Altura piezométrica (mca)

$C_o$  = Cota (mca)

$P_m$  = Presión mínima (mca)

De manera de ejemplo, se realiza el análisis de la fila correspondiente al nudo 1.

$$H_i = 0 + 5$$

$$H_i = 5 \text{ mca}$$

Con valores de 0 y 5 mca que corresponde a la cota y presión mínima en dicho punto, la altura piezométrica es de 5 mca.

Para la siguiente columna correspondiente a la longitud, se tiene que ir ubicando la medida de cada tubería existente en todos los nudos de la red ramificada.

A continuación, se realiza la suma de las tuberías que se encuentran en secuencia y que conforma cada ramificación de la red.

Se tiene pérdidas por longitud de tubería y para ello se utilizará una pendiente de referencia de 10 mca/km o 0,01 mca/m y se multiplicará por la suma de la longitud en cada nudo, como se puede apreciar.

$$h_{long} = j^* \times \Sigma Long$$

En donde:

$h_{long}$  = Pérdidas por longitud de tubería (mca)

$j^*$  = Pendiente hidráulica (mca/m)

$\Sigma Long$  = Sumatoria de longitud (m)

Por ejemplo, en la fila del nudo 1 se tiene:

$$h_{long} = 0,01 \times 6$$

$$h_{long} = 0,06 \text{ mca}$$

Las pérdidas por longitud de tubería perteneciente a ese nudo son de 0,06 mca.

Para la altura de la bomba teórica se utiliza la siguiente ecuación.

$$H_{B_t} = H_i + h_{Long} - H_3$$

En donde:

$H_{B_t}$  = Altura de la bomba teórica (mca)

$H_i$  = Altura piezométrica (mca)

$h_{Long}$  = Pérdidas por longitud de tubería (mca)

$H_3$  = Altura piezométrica de succión H1 (mca)

Como ejemplo se utiliza la fila del nudo 1.

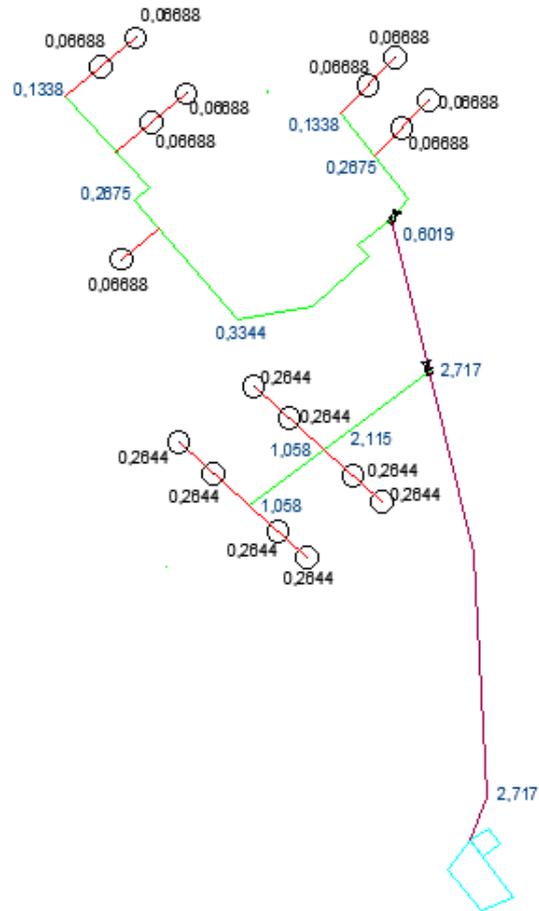
$$H_{B_t} = 5 + 0,06 - 0$$

$$H_{B_t} = 5,06 \text{ mca}$$

El valor de la altura piezométrica ya ha sido calculado anteriormente, así como las pérdidas por longitud de tubería. Respecto a la altura piezométrica de succión (como el sistema se encuentra nivelado) se tiene un valor nulo.

Finalmente, para la columna de caudal seguimos el procedimiento de sumar cada caudal empezando desde el punto más alejado que son los aspersores. Se tiene que por la tubería principal circula un caudal de 2,717 l/s.

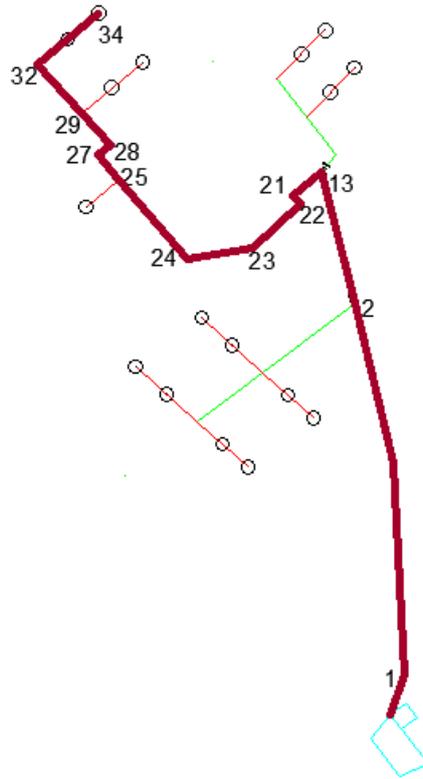
En la Figura 12-3 se puede ilustrar el análisis que se desarrolló en cuestión al caudal del sistema de riego y bombeo.



**Figura 17-3:** Caudal en los puntos de consumo y tuberías

Realizado por: Alulema, I, 2022

Por tanto, el nudo crítico corresponde al 34, con esto se analiza el trayecto crítico de toda la red ramificada pertenecientes a los puntos 1-2-13-21-22-23-24-25-27-28-29-34 e inmediatamente se procede a determinar el diámetro de las tuberías de ese tramo crítico.



**Figura 18-3:** Trayecto crítico 1-2-13-21-22-23-24-25-27-28-29-34  
**Realizado por:** Alulema, I, 2022

Aplicando el mismo criterio de pendiente hidráulica y con el recurso del software Excel se procede a determinar el diámetro que corresponderá a cada tramo del trayecto crítico de la red ramificada.

**Tabla 5-3:** Parámetros de flujo para el trayecto crítico 1-34 (Figura 18-3)

| NUDOS/<br>LINEAS | CAUDAL<br>(m <sup>3</sup> /s) | DIÁMETRO<br>TEÓRICO<br>(m) | DIÁMETRO<br>TEÓRICO<br>(mm) | DIÁMETRO<br>NORMALIZADO | LONGITUD | PÉRDIDAS | ALTURA  | PRESIÓN |
|------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------|----------|---------|---------|
| 0                |                               |                            |                             |                         |          |          |         |         |
| 1                | 0,0027                        | 0,0657                     | 65,6547                     | 63                      | 6        | 0,0738   | 21,6999 | 21,6999 |
| 2                | 0,0027                        | 0,0657                     | 65,6547                     | 63                      | 46,56    | 0,5723   | 21,1276 | 21,1276 |
| 13               | 0,0006                        | 0,0359                     | 35,9286                     | 32                      | 20       | 0,3568   | 20,7708 | 20,7708 |
| 21               | 0,0003                        | 0,0284                     | 28,4012                     | 25                      | 5,4      | 0,1022   | 20,6686 | 20,6686 |
| 22               | 0,0003                        | 0,0284                     | 28,4012                     | 25                      | 2        | 0,0378   | 20,6307 | 20,6307 |
| 23               | 0,0003                        | 0,0284                     | 28,4012                     | 25                      | 9,6      | 0,1817   | 20,4491 | 20,4491 |
| 24               | 0,0003                        | 0,0284                     | 28,4012                     | 25                      | 9,5      | 0,1798   | 20,2693 | 20,2693 |
| 27               | 0,0003                        | 0,0260                     | 25,9753                     | 25                      | 4,8      | 0,0581   | 20,2112 | 20,2112 |
| 28               | 0,0003                        | 0,0260                     | 25,9753                     | 25                      | 2,4      | 0,0291   | 20,1821 | 20,1821 |
| 29               | 0,0003                        | 0,0260                     | 25,9753                     | 25                      | 6,3      | 0,0763   | 20,1058 | 20,1058 |
| 32               | 0,0001                        | 0,0199                     | 19,9334                     | 20                      | 9,4      | 0,0924   | 20,0134 | 20,0134 |
| 34               | 0,0001                        | 0,0149                     | 14,9193                     | 20                      | 5,8      | 0,0134   | 20,0000 | 20,0000 |

**Realizado por:** (Alulema, I, 2022)

De la misma manera se detalla una explicación de lo que se analizó en cada columna mediante Excel.

En cuanto a las columnas de nudos, caudal y longitud ya se ha comentado anteriormente; sin embargo, se los ha colocado con el fin de facilitar el cálculo del diámetro y presión a lo largo del trayecto crítico.

Como se ha mencionado, la meta es dimensionar las tuberías de la red ramificada y para ello se empleará la siguiente ecuación.

$$D_{teórico} = \sqrt[5]{\frac{8fQ^2}{\pi^2 g j^*}}$$

En donde:

$D_{teórico}$  = Diámetro teórico (m)

$f$  = Factor de fricción

$Q$  = Caudal ( $m^3$ )

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ )

$j^*$  = Pendiente hidráulica

Se detalla como ejemplo la fila del nudo 1, entonces se tiene:

$$D_{teórico} = \sqrt[5]{\frac{8(0,02)(0,002717)^2}{\pi^2(9,81)(0,01)}}$$

$$D_{teórico} = 0,06565 \text{ m}$$

Respecto al factor de fricción y a la pendiente hidráulica se considera 0,02 y 0,01 respectivamente, obteniendo un diámetro teórico de 0,06565 m.

Una vez obtenido el diámetro en metros es importante transformar esa medida a milímetros, puesto que las tuberías se encuentran normalizadas y al momento de seleccionar, este procedimiento resulta más sencillo.

**Tabla 6-3:** Diámetros normalizados de tubería PVC encolado.

| Diámetro Nominal (mm) | Serie del tubo (S)    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       | 25                    | 20   | 16   | 12,5 | 10,0 | 8    | 6,3  | 5    | 4    | 3,2  |
|                       | Presión nominal (MPa) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 0,5                   | 0,63 | 0,8  | 1    | 1,25 | 1,6  | 2    | 2,5  | 3,15 | 4,0  |
| 10                    | -                     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1,4  |
| 12                    | -                     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1,4  | 1,7  |
| 16                    | -                     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1,5  | 1,8  | 2,2  |
| 20                    | -                     | -    | -    | -    | -    | -    | 1,5  | 1,9  | 2,3  | 2,8  |
| 25                    | -                     | -    | -    | -    | -    | 1,5  | 1,9  | 2,3  | 2,8  | 3,5  |
| 32                    | -                     | -    | -    | -    | 1,6  | 1,9  | 2,4  | 2,9  | 3,6  | 4,4  |
| 40                    | -                     | -    | -    | 1,6  | 1,9  | 2,4  | 3,0  | 3,7  | 4,5  | 5,5  |
| 50                    | -                     | -    | 1,6  | 2,0  | 2,4  | 3,0  | 3,7  | 4,6  | 5,6  | 6,9  |
| 63                    | -                     | 1,6  | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 3,8  | 4,7  | 5,8  | 7,1  | 8,6  |
| 75                    | 1,5                   | 1,9  | 2,3  | 2,9  | 3,6  | 4,5  | 5,6  | 6,8  | 8,4  | 10,3 |
| 90                    | 1,8                   | 2,2  | 2,8  | 3,5  | 4,3  | 5,4  | 6,7  | 8,2  | 10,1 | 12,3 |
| 110                   | 2,2                   | 2,7  | 3,4  | 4,2  | 5,3  | 6,6  | 8,1  | 10,0 | 12,3 | 15,1 |
| 125                   | 2,5                   | 3,1  | 3,9  | 4,8  | 6,0  | 7,4  | 9,2  | 11,4 | 14,0 | 17,1 |
| 140                   | 2,8                   | 3,5  | 4,3  | 5,4  | 6,7  | 8,3  | 10,3 | 12,7 | 15,7 | 19,2 |
| 160                   | 3,2                   | 4,0  | 4,9  | 6,2  | 7,7  | 9,5  | 11,8 | 14,6 | 17,9 | 21,9 |
| 180                   | 3,6                   | 4,4  | 5,5  | 6,9  | 8,6  | 10,7 | 13,3 | 16,4 | 20,1 | 24,6 |
| 200                   | 3,9                   | 4,9  | 6,2  | 7,7  | 9,6  | 11,9 | 14,7 | 18,2 | 22,4 | 27,4 |
| 225                   | 4,4                   | 5,5  | 6,9  | 8,6  | 10,8 | 13,4 | 16,6 | 20,5 | 25,2 | -    |
| 250                   | 4,9                   | 6,2  | 7,7  | 9,6  | 11,9 | 14,8 | 18,4 | 22,7 | 27,9 | -    |
| 280                   | 5,6                   | 6,9  | 8,6  | 10,7 | 13,4 | 16,6 | 20,6 | 25,4 | -    | -    |
| 315                   | 6,3                   | 7,7  | 9,7  | 12,1 | 15,0 | 18,7 | 23,2 | 28,6 | -    | -    |
| 355                   | 7,0                   | 8,7  | 10,9 | 13,6 | 16,9 | 21,1 | 26,1 | -    | -    | -    |
| 400                   | 7,9                   | 9,8  | 12,3 | 15,3 | 19,1 | 23,7 | 29,4 | -    | -    | -    |
| 450                   | 8,8                   | 11,0 | 13,8 | 17,2 | 21,5 | 26,7 | 33,1 | -    | -    | -    |
| 500                   | 9,8                   | 12,3 | 15,3 | 19,1 | 23,9 | 29,7 | 36,8 | -    | -    | -    |
| 560                   | 11,0                  | 13,7 | 17,2 | 21,4 | 26,7 | 33,2 | -    | -    | -    | -    |
| 630                   | 12,3                  | 15,4 | 19,3 | 24,1 | 30,0 | 37,4 | -    | -    | -    | -    |
| 710                   | 13,9                  | 17,4 | 21,8 | 27,2 | 33,9 | -    | -    | -    | -    | -    |
| 800                   | 15,7                  | 19,6 | 24,5 | 30,6 | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 900                   | 17,6                  | 22,0 | 27,6 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 1 000                 | 19,6                  | 24,5 | 30,6 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |

NOTA 1. Coeficiente de diseño (C) igual a 2, esfuerzo hidrostático de diseño de 12,5 MPa.

NOTA 2. Los espesores nominales de tubería se obtienen de las tablas de espesores universales de NTE INEN-ISO 4065 en función de la serie del tubo y el diámetro nominal. El cálculo de espesores de tubo se realiza de acuerdo con NTE INEN-ISO 4065.

NOTA 3. La serie 25 no aplica para uso en sistemas de agua potable.

Fuente: (NTE INEN1373, 2017)

La ecuación que se emplea para determinar las pérdidas por longitud de tubería es la siguiente:

$$h_{Long} = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5}$$

$h_{Long}$  = Pérdidas por longitud de tubería (mca)

$L$  = Longitud (m)

$D$  = Diámetro (m)

Se ejemplifica utilizando la fila de la columna 1.

$$h_{Long} = \frac{8(0,02)(6)(0,02717)^2}{\pi^2(9,81)(0,063)^5}$$

$$h_{Long} = 0,07375 \text{ mca}$$

Anteriormente se obtuvo una altura de bombeo teórica; sin embargo, se necesita determinar un dato de altura de bombeo real y para ello primero se requiere sumar las pérdidas por longitud de tubería de ese tramo y después aplicamos la siguiente ecuación.

$$H_{B_r} = H_i + h_{Long} - H_3$$

$H_{B_r}$  = Altura de bombeo real (mca)

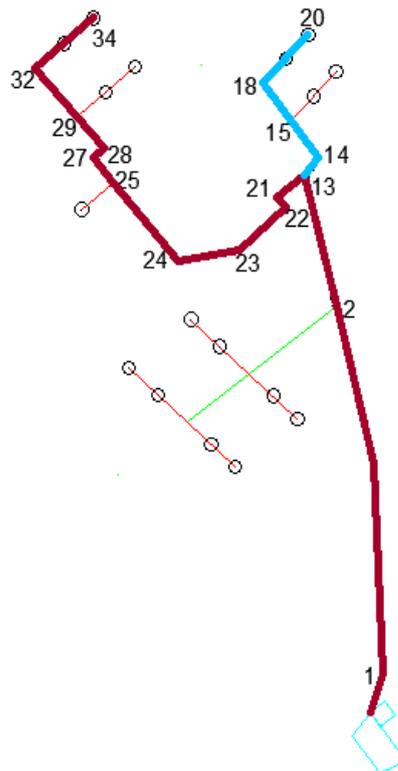
$$H_{B_r} = 20 + 1,5327 - 0$$

$$H_{B_r} = 21,5337 \text{ mca}$$

Finalmente se requiere garantizar una presión de 20 mca que ofrece la bomba hidráulica y para ello se necesita determinar que altura piezométrica presenta cada nudo, entonces se realiza una resta sucesiva entre la altura piezométrica y las pérdidas por longitud de tubería. Este procedimiento se inicia con una sustracción entre la altura de bombeo real y las pérdidas por longitud de tubería en el primer nudo.

Una vez diseñado los diámetros de las tuberías del tramo crítico se procede a dimensionar las demás tuberías que conforman la red ramificada.

La nueva altura piezométrica corresponde al punto de consumo 13, por lo tanto, realizando el mismo procedimiento se tiene el dimensionamiento de tubería perteneciente a ese tramo.



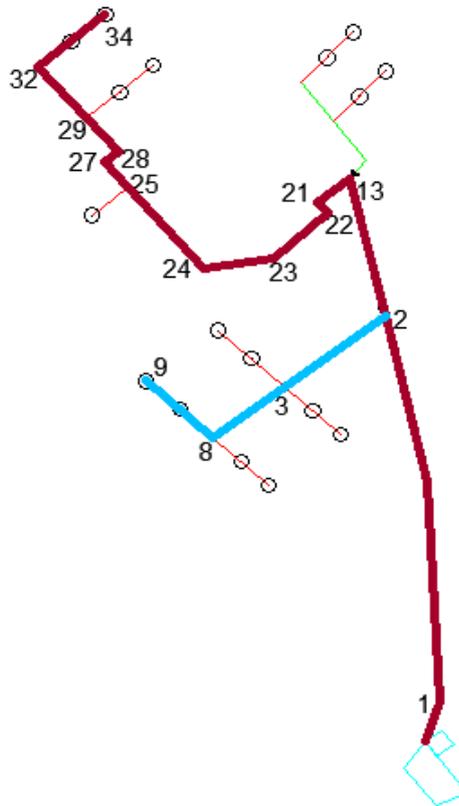
**Figura 19-3:** Trayecto crítico 13-14-15-18-20  
Realizado por: Alulema, I, 2022

**Tabla 7-3:** Parámetros de flujo para el trayecto crítico 13-14-15-18-20 (Figura 14-3)

| NUDOS /LINEAS | CAUDAL (m <sup>3</sup> /s) | DIÁMETRO TEÓRICO (m) | DIÁMETRO TEÓRICO (mm) | DIÁMETRO NORMALIZADO | LONGITUD | PÉRDIDAS | ALTURA  | PRESIÓN |
|---------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------|----------|---------|---------|
| 13            |                            |                      |                       |                      |          |          |         |         |
| 14            | 0,0003                     | 0,0260               | 25,9753               | 25                   | 3,45     | 0,0418   | 20,0539 | 20,0539 |
| 15            | 0,0001                     | 0,0197               | 19,6767               | 25                   | 7        | 0,0211   | 20,0328 | 20,0328 |
| 18            | 0,0001                     | 0,0197               | 19,6885               | 25                   | 7        | 0,0212   | 20,0115 | 20,0115 |
| 20            | 0,0001                     | 0,0149               | 14,9193               | 20                   | 5        | 0,0115   | 20,0000 | 20,0000 |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

Se procede a diseñar la tubería restante con el nuevo dato de la altura piezométrica que se encuentra en el punto 2.



**Figura 20-3:** Trayecto crítico 2-3-8-9

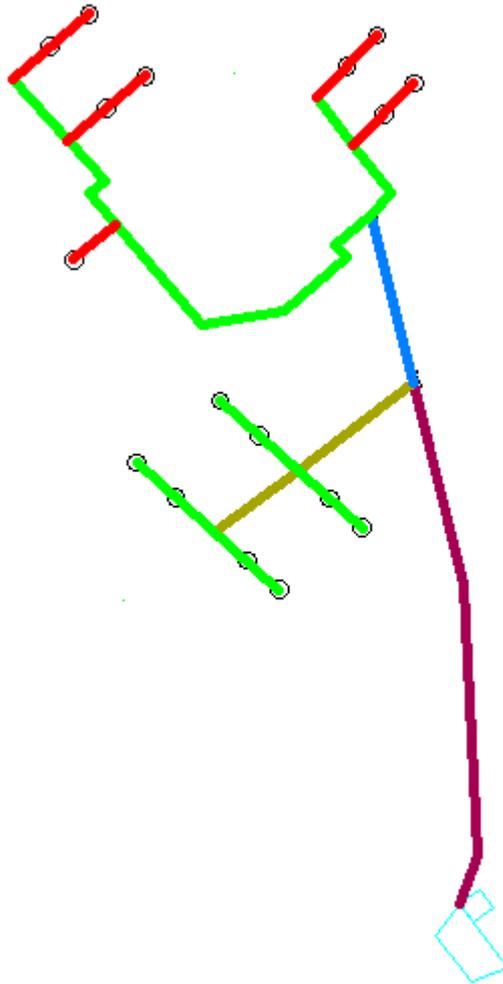
Realizado por: Alulema, I, 2022

**Tabla 8-3:** Parámetros de flujo para el trayecto crítico 2-3-8-9 (Figura 15-3)

| NUDOS /LINEAS | CAUDAL (m <sup>3</sup> /s) | DIÁMETRO TEÓRICO (m) | DIÁMETRO TEÓRICO (mm) | DIÁMETRO NORMALIZADO | LONGITUD | PÉRDIDAS | ALTURA  | PRESIÓN |
|---------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------|----------|---------|---------|
| 2             |                            |                      |                       |                      |          |          |         |         |
| 3             | 0,0021                     | 0,0594               | 59,3956               | 40                   | 16,76    | 1,2099   | 20,3587 | 20,3587 |
| 8             | 0,0011                     | 0,0450               | 45,0220               | 40                   | 12       | 0,2168   | 20,1420 | 20,1420 |
| 9             | 0,0003                     | 0,0259               | 25,8544               | 25                   | 6        | 0,0710   | 20,0000 | 20,0000 |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

Por tanto, los diámetros que se ha considerado emplear en el diseño de riego y bombeo con el criterio de que la presión mínima sea mayor a los 20 mca y la velocidad se encuentre dentro del rango 0,5 a 4,5 m/s se puede apreciar en la figura 20-3 y acompañado de la tabla 8-3.



**Figura 21-3:** Representación asignada en la selección de diámetros

Realizado por: Alulema, I, 2022

Finalmente, el diseño de la red ramificada queda establecido con los diámetros que se pueden visualizar en la figura 21-3 y en la tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Representación diámetros (Figura 21-3)

| <b>Diámetro (mm)</b> | <b>Representación</b> |
|----------------------|-----------------------|
| 63                   | Rojo                  |
| 40                   | Verde                 |
| 32                   | Azul                  |
| 25                   | Amarillo              |
| 20                   | Naranja               |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

Existe una forma directa de determinar el diámetro de las tuberías mediante la estimación del caudal que circula por cada tramo de tubería, los valores se pueden observar en la tabla 10-3 y se puede apreciar que son valores cercanos a los obtenidos mediante el criterio de la pendiente hidráulica. No se recomienda la selección de diámetros por este método pues es solo un aproximado; sin embargo, se puede utilizar para validar resultados.

**Tabla 10-3:** Selección de diámetros normalizados en función del caudal aproximado

| Diámetro de la toma (mm) | Caudal aproximado (m <sup>3</sup> /h) | Caudal aproximado (l/min) | Caudal aproximado (l/s) |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 16                       | 0,78                                  | 13                        | 0,22                    |
| 20                       | 1,2                                   | 20                        | 0,33                    |
| 25                       | 2,04                                  | 34                        | 0,57                    |
| 32                       | 3,42                                  | 57                        | 0,95                    |
| 40                       | 5,4                                   | 90                        | 1,5                     |
| 50                       | 8,7                                   | 145                       | 2,42                    |
| 63                       | 13,8                                  | 230                       | 3,83                    |
| 75                       | 19,68                                 | 328                       | 5,47                    |
| 90                       | 28,32                                 | 472                       | 7,87                    |
| 110                      | 42,3                                  | 705                       | 11,75                   |

Fuente: Tobergte &amp; Curtis, 2013

Los tubos PVC se fabrican y se comercializan con la característica que cada unidad cumpla con 6 metros de longitud. Para el análisis de la cantidad de tubería que se necesita en el sistema hidráulico (dependiendo el diámetro) se realiza una suma de cada tramo correspondiente, después este valor se lo divide para los 6 metros y se redondea al inmediato superior, tal y como se puede apreciar en la Tabla 11-3.

**Tabla 11-3:** Cantidad de tubos PVC en el sistema hidráulico

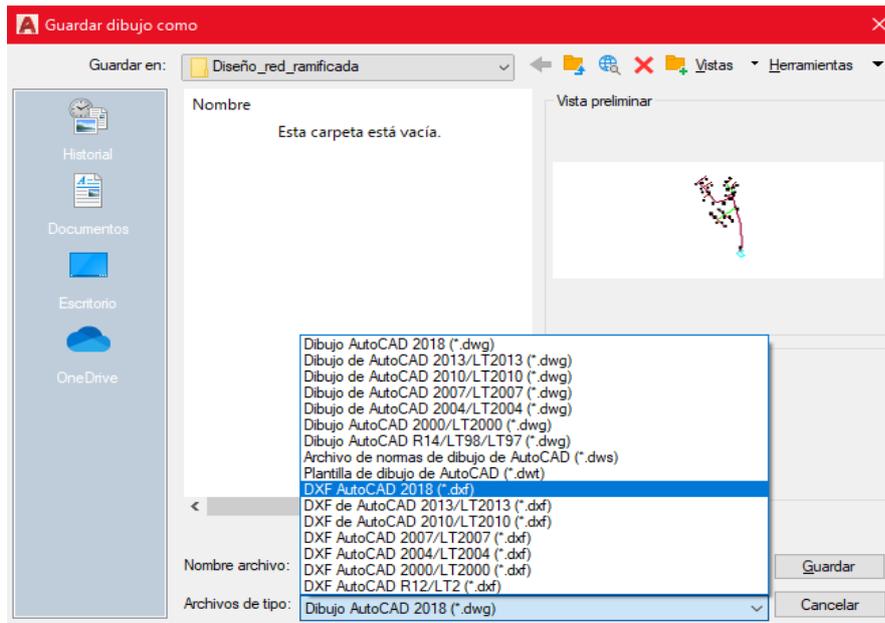
| Diámetro (mm) | Longitud (m) | Número tubos aproximado | Número de tubos real |
|---------------|--------------|-------------------------|----------------------|
| 63            | 61,44        | 10,24                   | 11                   |
| 40            | 28,72        | 4,79                    | 5                    |
| 32            | 20           | 3,33                    | 4                    |
| 25            | 126,3        | 21,05                   | 22                   |
| 20            | 49,2         | 8,2                     | 9                    |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

### 3.3.1.6 Análisis del sistema de distribución

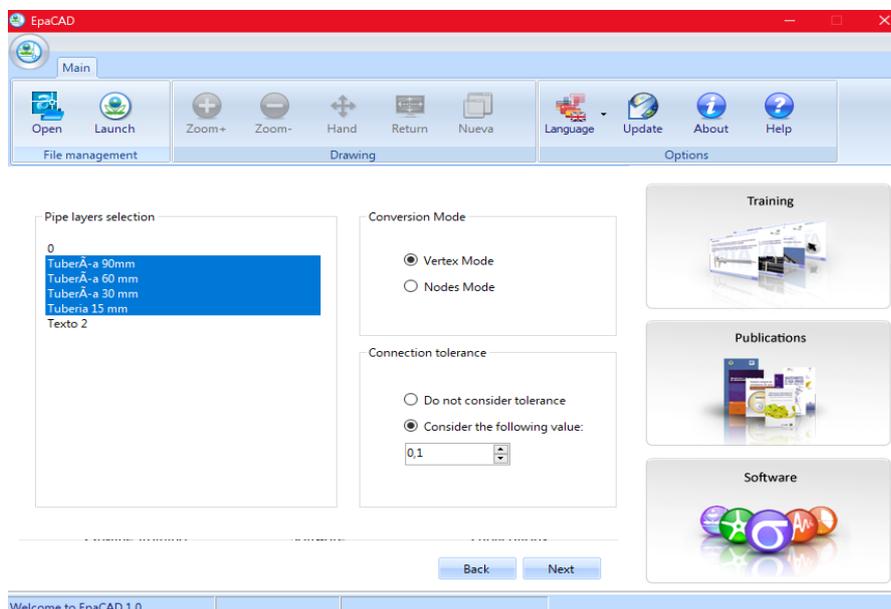
El análisis del sistema de bombeo y riego se lo realiza en Epanet. A continuación, se presenta el procedimiento que se debe seguir para obtener los resultados en la simulación con el fin de comparar con el análisis cuantitativo realizado en Excel.

Una vez que se ha desarrollado el trazado de la red ramificada en AutoCAD, es necesario guardar el archivo como .dxf, pues es una compatibilidad para abrir archivos en EpaCAD.



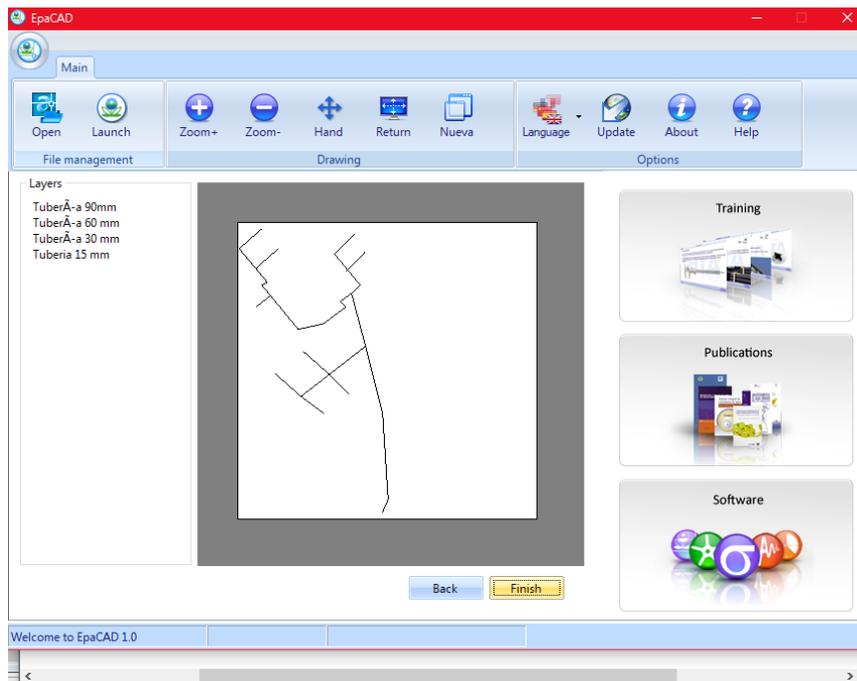
**Figura 22-3:** Guardar archivo en AutoCAD como .dxf  
**Realizado por:** Alulema, I, 2022

En EpaCAD en el apartado de Pipe Layers selection se asigna únicamente las capas necesarias que serán necesarias añadir en Epanet. Con la finalidad de obtener los puntos de consumo necesarios en Conversion Mode nos conviene seleccionar Vertex Mode y en Connection tolerance se elige la segunda opción.



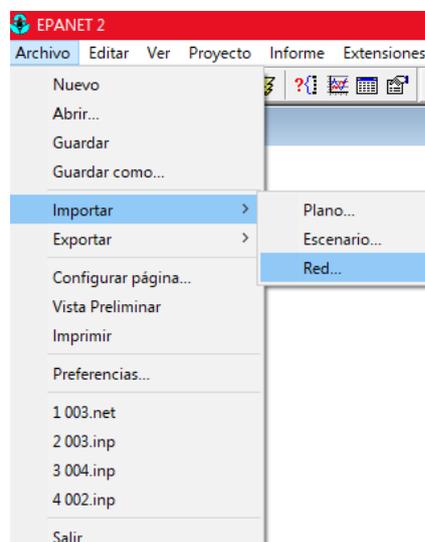
**Figura 23-3:** Requerimientos iniciales en EpaCAD  
**Realizado por:** Alulema, I, 2022

Después de presionar en Next se puede visualizar solo las capas seleccionadas y una vista preliminar de nuestra red ramificada a ser analizada. Para concluir con desarrollo en este software nos queda dar clic en Finish y guardar el archivo.



**Figura 24-3:** Visualización red ramificada en EpaCAD  
**Realizado por:** Alulema, I, 2022

En Epanet se selecciona Archivo para luego ser importado el documento que ha sido guardado anteriormente en EpaCAD. Es importante seleccionar Red, pues el análisis sería de todo el sistema en conjunto.



**Figura 25-3:** Importar archivo Epanet  
**Realizado por:** Alulema, I, 2022

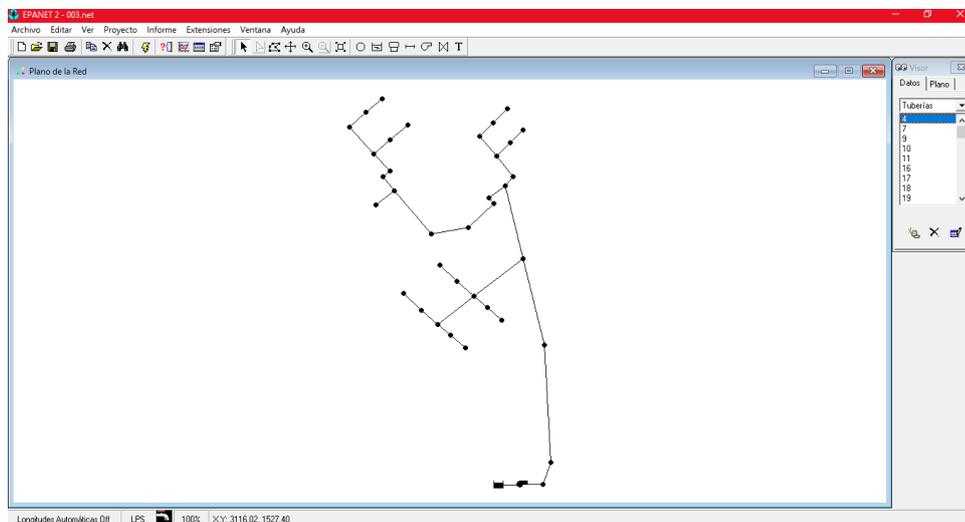
La facilidad de este método de importar es que ya se tiene estructurada la red ramificada tal como se diseñó en AutoCAD y que los datos de longitud de tubería ya se encuentran definidos. Lo que queda por hacer es reestablecer valores de diámetros de tubería, cota en los puntos de consumo, añadir el reservorio y la bomba.

En las características del embalse en lo correspondiente a Altura Total insertamos el valor de 0, pues como se mencionó anteriormente el sistema se encuentra a la misma altura. Parala bomba, insertamos el valor de 1,5 que corresponde a la potencia que posee nuestra bomba, además en curva característica se añade el valor de 1 para posteriormente editar la curva característica. Finalmente, en relación a tuberías, se indica el valor del diámetro que anteriormente ya se había seleccionado.

| Embalse 29       |         | Bomba 1              |       | Tuberia 4     |       |
|------------------|---------|----------------------|-------|---------------|-------|
| Propiedad        | Valor   | Propiedad            | Valor | Propiedad     | Valor |
| *ID Embalse      | 29      | *ID Bomba            | 1     | *ID Tubería   | 4     |
| Coordenada-X     | 3125.12 | *Nudo Inicial        | 29    | *Nudo Inicial | 1     |
| Coordenada-Y     | 1450.36 | *Nudo Final          | 1     | *Nudo Final   | 2     |
| Descripción      |         | Descripción          |       | Descripción   |       |
| Etiqueta         |         | Etiqueta             |       | Etiqueta      |       |
| *Altura Total    | 0       | Curva Característica | 1     | *Longitud     | 6     |
| Patrón de Altura |         | Potencia             | 1.5   | *Diámetro     | 60    |
| Calidad Inicial  |         | Velocidad Relativa   |       | *Rugosidad    | 0.1   |

**Figura 26-3:** Asignación de datos en el embalse, bomba y tubería  
**Realizado por:** Alulema, I, 2022

En la figura 27-3 se puede observar la red ramificada del sistema de bombeo. Más adelante, en el apartado de resultados se podrá visualizar y analizar las características que presenta la simulación del sistema.



**Figura 27-3:** Red ramificada en Epanet  
**Realizado por:** Alulema, I, 2022

### 3.3.1.7 Instalación de tuberías

Una vez seleccionado los diámetros de las tuberías se procede a realizar la instalación de los distintos tramos que conforman la red ramificada. Se empieza realizando una zanja para la tubería principal de aproximadamente 50 cm de profundidad y 30 cm de ancho desde el reservorio hasta

el primer punto de consumo. El desarrollo de este trabajo se lo realiza en todos los tramos del sistema.

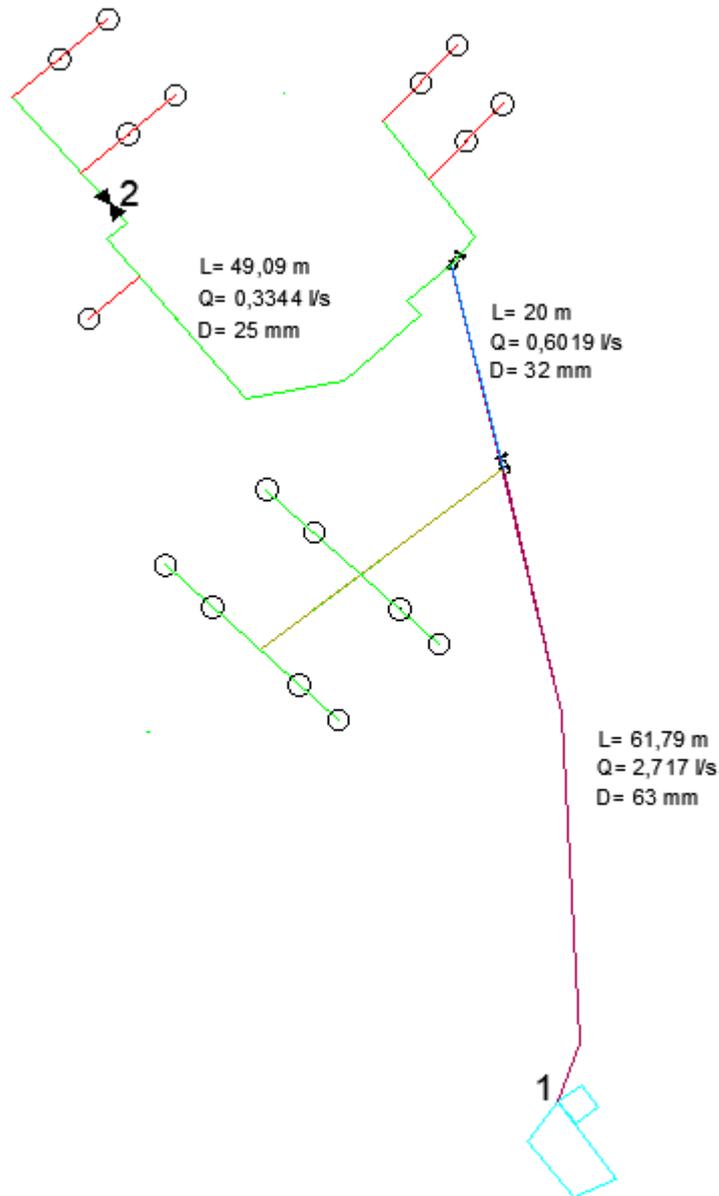


**Figura 28-3:** Instalación tubería principal  
Realizado por: Alulema, I, 2022

En la selección de tubería es importante elegir tubos que presenten al menos 1 MPa, pues de otra manera mediante la presión del fluido ejercida por la bomba ocasionará daños en la tubería. De la misma manera se procede con la instalación de las demás ramificaciones de tubería.

#### *3.3.1.8 Grado de apertura de la primera válvula de 25mm*

Para que cumpla con los criterios de caudal y alcance propuestos inicialmente por los aspersores, es necesario determinar el grado de apertura que existe en la válvula ubicada en el área de los jardines de limón.



**Figura 29-3:** Análisis desde el reservorio a la primera válvula de 25mm  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

El desarrollo de este procedimiento se lo realiza mediante el principio de Bernoulli, en donde ya se ha demostrado en el capítulo anterior.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{long} + h_{acc}$$

Considerando que se encuentran a una misma altura y la velocidad en las láminas de agua son aproximadamente cero, estos valores se eliminan. Los datos de presión se obtienen de la tabla 5-3. Entonces la ecuación a resolver queda de la siguiente forma:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + h_{long} + h_{valv1}$$

$$21,7 = 6,22 + \frac{8fLQ^2}{\pi^2 gD^5} + h_{valv1}$$

Puesto que entre los dos puntos de análisis existen diferentes caudales y diámetros en las tuberías, es recomendable separar el término correspondiente a la ecuación de Darcy-Weisbach, de esta manera:

$$21,75 = 6,22 + \frac{8fLQ_1^2}{\pi^2 gD_1^5} + \frac{8fLQ_2^2}{\pi^2 gD_2^5} + \frac{8fLQ_3^2}{\pi^2 gD_3^5} + h_{valv1}$$

$$21,7 = 6,22 + \frac{8(0,02)(49,09)(0,0003344)^2}{\pi^2(9,81)(0,025)^5} + \frac{8(0,02)(20)(0,0006019)^2}{\pi^2(9,81)(0,032)^5}$$

$$+ \frac{8(0,02)(61,79)(0,002717)^2}{\pi^2(9,81)(0,063)^5} + h_{valv1}$$

$$21,7 = 6,22 + 0,9289 + 0,3568 + 0,7595 + h_{valv1}$$

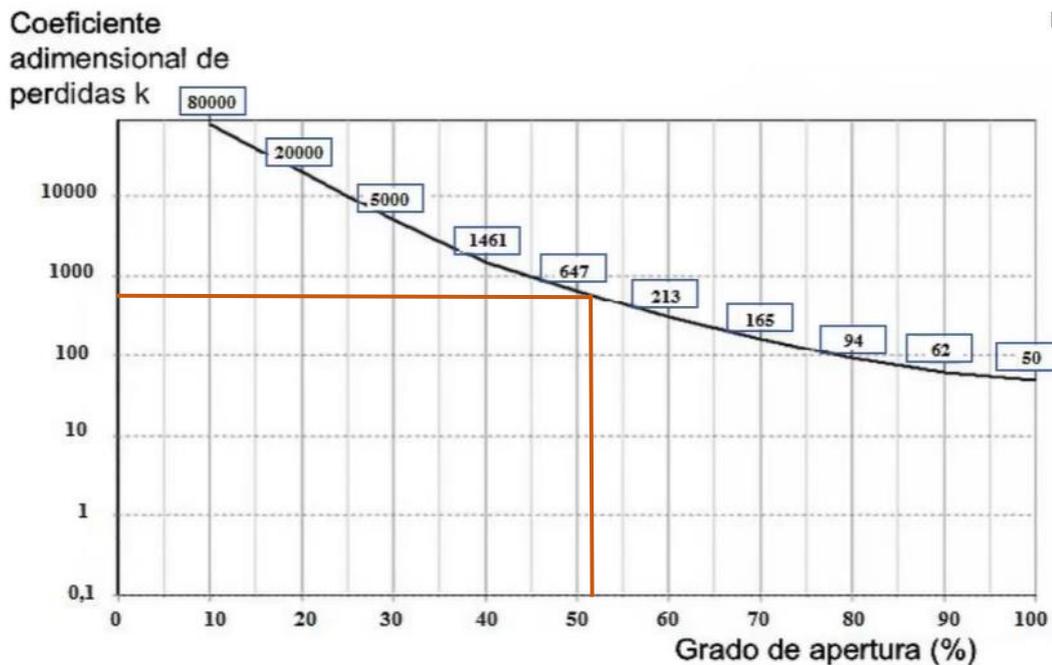
$$h_{valv1} = 13,43 \text{ mca}$$

Realizando las distintas operaciones se ha obtenido en la válvula 1 de 25 mm un valor de 13,43 mca. Utilizando la ecuación de pérdidas por accesorios, se deberá despejar la constante k, pues el ábaco para válvulas de globo se encuentra con esa designación.

$$h_{valv1} = \frac{8kQ^2}{\pi^2 gD_{acc}^2}; \quad k = \frac{h_{valv1}\pi^2 gD_{acc}^4}{8Q^2}$$

$$k = \frac{13,43(\pi)^2(9,81)(0,025)^4}{8(0,0003344)^2}$$

$$k = 577,78$$

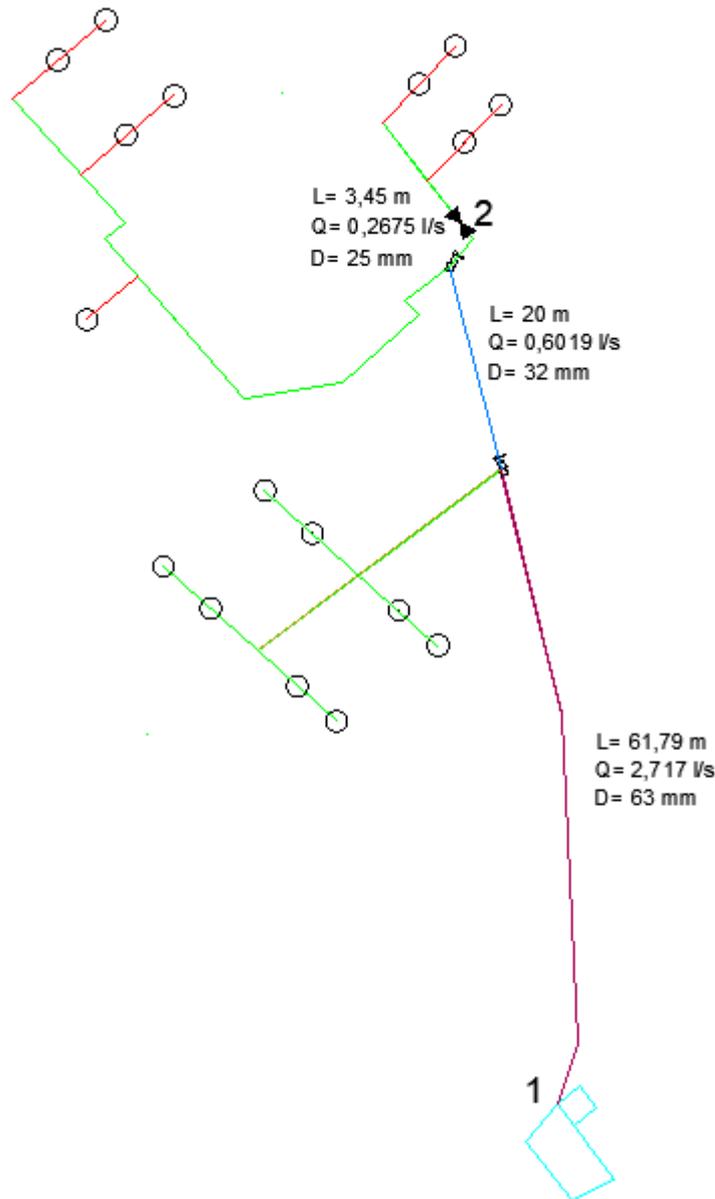


**Figura 30-3:** Porcentaje de apertura de la válvula 1 en relación al coeficiente k  
Fuente: Campo, 2014

Finalmente se obtiene que el grado de apertura correspondiente a esta válvula es de 52%.

### 3.3.1.9 Grado de apertura de la segunda válvula de 25mm

Utilizando el mismo criterio, se procede a determinar el grado de apertura de la válvula de globo de 25 mm ubicada en el jardín situado junto a la piscina de la hostería.



**Figura 31-3:** Análisis desde el reservorio a la segunda válvula de 25mm

Realizado por: Alulema, I, 2022

Se plantea la ecuación de Bernoulli desde el punto 1 hasta el 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{long} + h_{acc}$$

Los valores de velocidad al ser aproximadamente cero, se eliminan. Para la presión en el punto 1 se utiliza el mismo dato anterior, por otra parte, para la presión en el punto 2 se obtiene de la tabla 5-3 y la ecuación a resolver queda como se muestra a continuación.

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + h_{long} + h_{valv1}$$

$$21,7 = 5,76 + \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} + h_{valv1}$$

Debido a que existe diferente diámetro y caudal entre los dos puntos de análisis se procede a separar el término de la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$21,7 = 5,76 + \frac{8fLQ_1^2}{\pi^2 g D_1^5} + \frac{8fLQ_2^2}{\pi^2 g D_2^5} + \frac{8fLQ_3^2}{\pi^2 g D_3^5} + h_{valv1}$$

$$21,7 = 5,76 + \frac{8(0,02)(3,45)(0,0002675)^2}{\pi^2(9,81)(0,025)^5} + \frac{8(0,02)(20)(0,0006019)^2}{\pi^2(9,81)(0,032)^5}$$

$$+ \frac{8(0,02)(61,79)(0,002717)^2}{\pi^2(9,81)(0,063)^5} + h_{valv1}$$

$$21,7 = 5,76 + 0,0418 + 0,3568 + 0,7595 + h_{valv1}$$

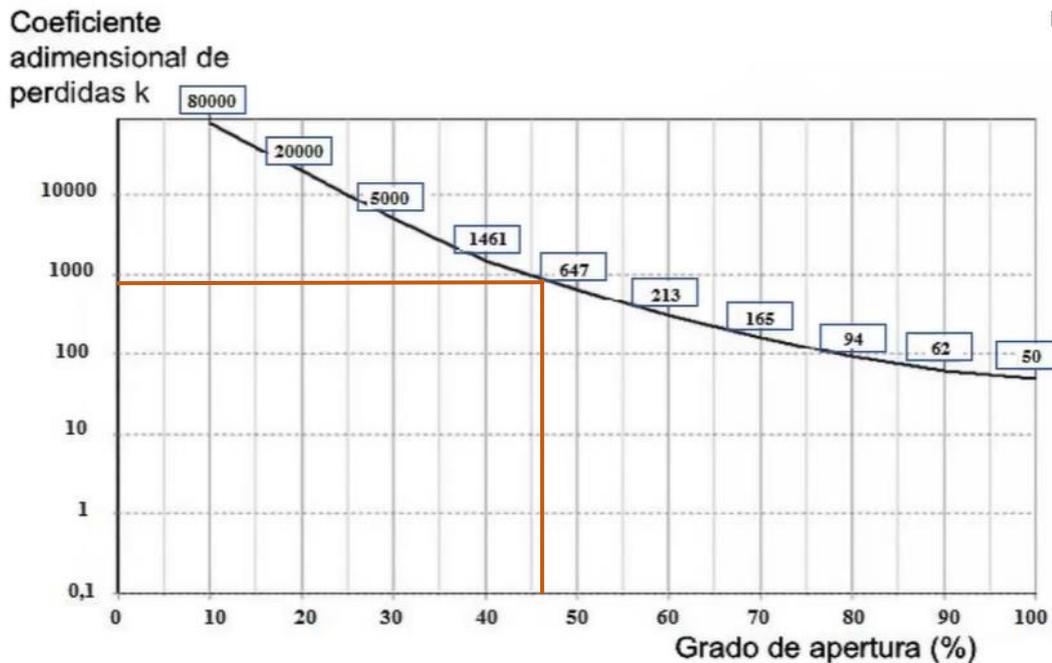
$$h_{valv1} = 14,78 \text{ mca}$$

Se ha obtenido en la válvula 2 de 25 mm un valor de 15,04 mca. A continuación, se presenta la ecuación de pérdidas por accesorios.

$$h_{valv1} = \frac{8kQ^2}{\pi^2 g D_{acc}^4}; \quad k = \frac{h_{valv1} \pi^2 g D_{acc}^4}{8Q^2}$$

$$k = \frac{15,04(\pi)^2(9,81)(0,025)^4}{8(0,0002675)^2}$$

$$k = 976,49$$

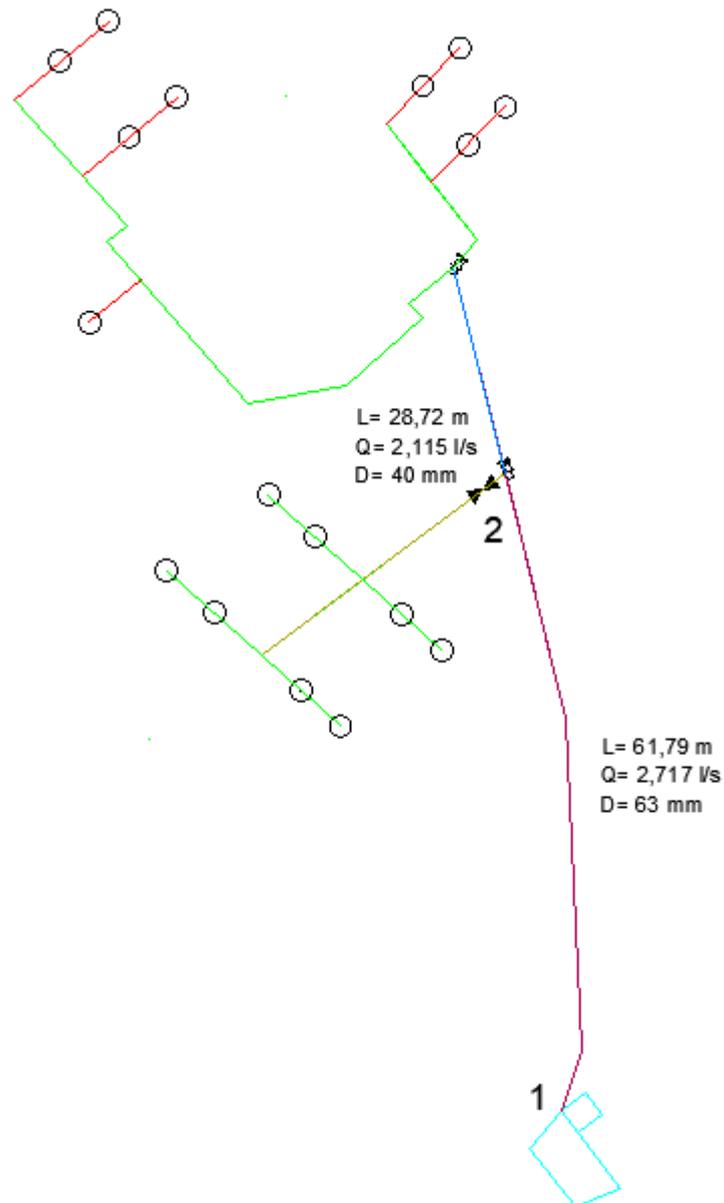


**Figura 32-3:** Porcentaje de apertura de la válvula en relación al coeficiente k  
Fuente: Campo, 2014

El grado de apertura de la segunda válvula de globo es de aproximadamente 46%.

### 3.3.1.10 Grado de apertura de la primera válvula de 40mm

Finalmente se tiene el análisis de la última válvula que se encuentra ubicada en dirección al área de las canchas de fútbol.



**Figura 33-3:** Análisis desde el reservorio a la válvula de 40mm

Realizado por: Alulema, I, 2022

Aplicando la ecuación de Bernoulli desde el punto 1 hasta el 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{long} + h_{acc}$$

Eliminado los valores de velocidad y reemplazando los datos de presión a la entrada y salida del sistema, se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + h_{long} + h_{valv1}$$

$$21,7 = 5,53 + \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} + h_{valv1}$$

En este caso, únicamente presenta un tramo de tubería por lo que el análisis resulta más simple.

$$21,75 = 5,53 + \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D_1^5} + h_{valv1}$$

$$21,75 = 5,53 + \frac{8(0,02)(61,79)(0,002717)^2}{\pi^2(9,81)(0,063)^5} + h_{valv1}$$

$$21,75 = 5,53 + 0,7595 + h_{valv1}$$

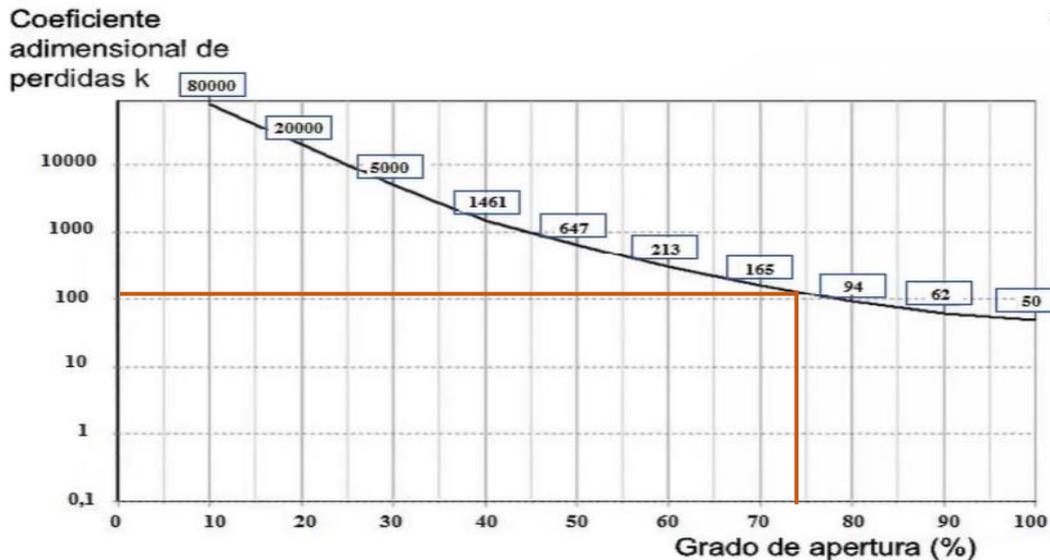
$$h_{valv1} = 14,71 \text{ mca}$$

Es importante ubicar correctamente el diámetro y caudal que están pasando por esa válvula, en la figura () se visualiza que el caudal circundante es de 21,15 l/s ubicado en la tubería de 40 mm; sin embargo, para el valor de longitud se utiliza el correspondiente a la tubería principal que es de 63mm.

$$h_{valv1} = \frac{8kQ^2}{\pi^2 g D_{acc}^4}; \quad k = \frac{h_{valv1} \pi^2 g D_{acc}^4}{8Q^2}$$

$$k = \frac{14,71(\pi)^2(9,81)(0,04)^4}{8(0,002115)^2}$$

$$k = 101,88$$



**Figura 34-3:** Porcentaje de apertura de la válvula en relación al coeficiente k

Fuente: Campo, 2014

Finalmente se obtiene que el grado de apertura de la válvula de globo de 40 mm es de aproximadamente 74%.

### 3.3.1.11 Instalación de válvulas

Se ha seleccionado cuatro válvulas esféricas PVC E/C TG en toda la red ramificada. La una válvula adquiere un diámetro de 40mm y se encuentra ubicada para regular la presión correspondiente al área de las canchas, las otras tres válvulas nos ayudan a realizar la misma

función y se encuentran ubicadas en las áreas de los jardines. La selección de este tipo de válvulas se ha determinado por la disponibilidad, acople, costo y además ofrece un cierre hermético.



**Figura 35-3:** Válvulas esféricas PVC E/C TG de 40 y 25 mm  
Realizado por: Alulema, I, 2022

### 3.3.1.12 Selección de la bomba

Para seleccionar la bomba se realiza un análisis desde la bomba hasta el punto más crítico de la red ramificada (estudio ya establecido anteriormente mediante el criterio de la pendiente hidráulica).

Para determinar la energía que necesita la bomba se hace uso de la ecuación (3) de Bernoulli tomando en cuenta algunas consideraciones.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L + h_{acc}$$

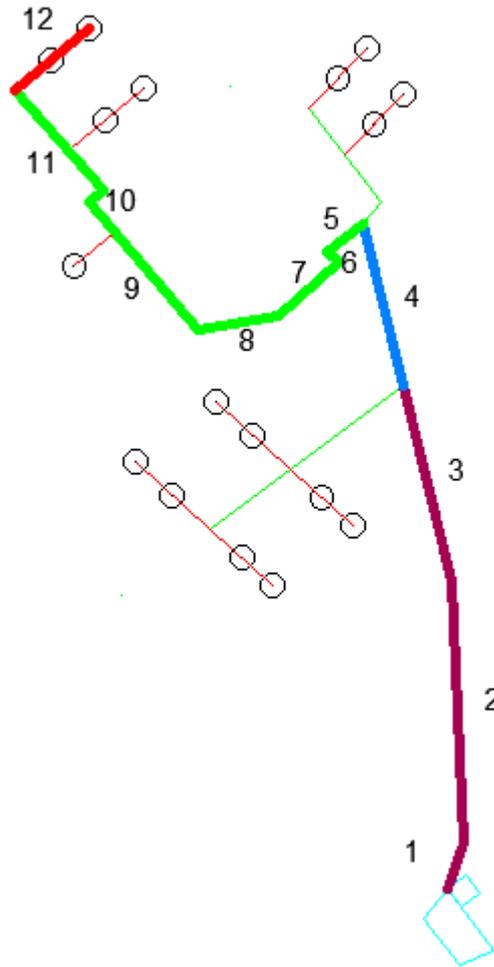
Los siguientes elementos tienden a ser eliminados debido a las siguientes razones:

- La presión en el punto 1 es cero debido a que está expuesta a la atmósfera
- Los valores de  $Z_1$  y  $Z_2$  son cero puesto que se encuentran a una misma altura.
- La velocidad en el punto 1 es cero debido a que el fluido se encuentra en reposo.
- La velocidad en el punto 2 es cero debido a que es relativamente pequeña.

Por lo tanto, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$H_B = \frac{P_2}{\gamma} + h_L + h_{acc}$$

El valor que adquiere la presión 2 es de 20 mca, puesto que es el punto crítico del sistema y como es un punto de consumo se estableció ese valor de presión.



**Figura 36-3:** Tuberías para el análisis de pérdidas primarias  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

Para el cálculo de pérdidas primarias y secundarias se hace uso de las ecuaciones de pérdidas por longitud de tubería y pérdidas por accesorios.

En la tabla 12-3 se observa las pérdidas por longitud de tubería del tramo crítico.

**Tabla 12-3:** Pérdidas por longitud de tubería

| Tubería  | Longitud (m) | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | Diámetro (m) | $h_{Long} = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5}$ |
|--|--------------|----------------------------|--------------|---|
| 1  | 6            | 0,0022                     | 0,06         | 0,060                                   |
| 2  | 31,36        | 0,0022                     | 0,06         | 0,314                                   |
| 3  | 24,08        | 0,0022                     | 0,06         | 0,241                                   |
| 4  | 19,84        | 0,0006                     | 0,032        | 0,354                                   |
| 5  | 5,39         | 0,0003                     | 0,025        | 0,102                                   |
| 6  | 1,83         | 0,0003                     | 0,025        | 0,035                                   |
| 7  | 9,61         | 0,0003                     | 0,025        | 0,182                                   |
| 8  | 9,51         | 0,0003                     | 0,025        | 0,180                                   |
| 9  | 20,12        | 0,0003                     | 0,025        | 0,381                                   |
| 10   | 2,39         | 0,0003                     | 0,025        | 0,029                                   |
| 11   | 15,96        | 0,0003                     | 0,025        | 0,193                                   |
| 12   | 11,61        | 0,0001                     | 0,02         | 0,107                                   |
| <b>Sumatoria de pérdidas por longitud de tubería</b> |              |                            |              | <b>2,178</b>                            |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

Se determina que las pérdidas por longitud de tubería del tramo crítico es 2,178m.

A continuación, en la tabla 13-3 se realiza el cálculo de pérdidas por accesorios.

**Tabla 13-3:** Pérdidas por accesorios

| Accesorios                                  | # de Accesorios | Factor fricción | L/D | k     | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | Diámetro accesorio (m) | $h_{acc} = \frac{8kQ^2}{\pi^2 g D_{acc}^4}$ |
|---|-----------------|-----------------|-----|-------|----------------------------|------------------------|---|
| Accesorios 63 mm                            |                 |                 |     |       |                            |                        |   |
| Válvula de pie                              | 1               | 0,018           | 75  | 1,35  | 0,0027                     | 0,063                  | 0,0523                                      |
| Codo 45°                                    | 1               | 0,018           | 16  | 0,288 | 0,0027                     | 0,063                  | 0,0112                                      |
| Te  | 1               | 0,018           | 20  | 0,36  | 0,0027                     | 0,063                  | 0,0139                                      |
| Accesorios 40 mm                            |                 |                 |     |       |                            |                        |   |
| Válvula de globo                            | 1               | 0,022           | 340 | 7,48  | 0,0021                     | 0,04                   | 1,0799                                      |
| Cruz  | 1               | 0,022           | 60  | 1,32  | 0,0021                     | 0,04                   | 0,1906                                      |
| Te  | 1               | 0,022           | 20  | 0,44  | 0,0011                     | 0,04                   | 0,0159                                      |
| Accesorios 25 mm                            |                 |                 |     |       |                            |                        |   |
| codo 90°                                    | 9               | 0,023           | 50  | 10,35 | 0,0003                     | 0,025                  | 0,2448                                      |
| Te  | 3               | 0,023           | 20  | 1,38  | 0,0001                     | 0,025                  | 0,0052                                      |
| Codo 45°                                    | 1               | 0,023           | 20  | 0,46  | 0,0003                     | 0,025                  | 0,0109                                      |
| Válvula de globo                            | 2               | 0,023           | 340 | 15,64 | 0,0003                     | 0,025                  | 0,2367                                      |
| Accesorios 20 mm                            |                 |                 |     |       |                            |                        |   |
| Válvula de globo                            | 1               | 0,023           | 340 | 7,82  | 0,0001                     | 0,02                   | 0,0181                                      |
| <b>Sumatoria de pérdidas por accesorios</b> |                 |                 |     |       |                            |                        | <b>1,8795</b>                               |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

A continuación, se presenta las pérdidas totales que presenta el sistema de riego y bombeo.

**Tabla 14-3:** Pérdidas totales

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| Pérdidas por longitud de tubería | 2,178       |
| Pérdidas por accesorios          | 1,88        |
| <b>Pérdidas totales</b>          | <b>4,06</b> |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

Una vez obtenidos los valores se procede a determinar el  $H_B$ .

$$H_B = \frac{P_2}{\gamma} + h_L + h_{acc}$$

$$H_B = 20 + 2,178 + 1,88$$

$$H_B = 24,06 \text{ m}$$

La altura capaz de garantizar que el fluido sea transportado hasta el punto crítico de consumo es de 24,06 m.

Para el cálculo de la potencia transmitida del fluido se hace uso de la siguiente ecuación:

$$P_A = H_B * \gamma * Q$$

$$P_A = 24,06(9,81)(0,002717)$$

$$P_A = 0,6413 \text{ Hp}$$

En vista que se necesita de 0,6413 Hp y considerando nuevas vías de activación para el regadío en la hostería y para satisfacer criterios de presión en los puntos de consumo y transición se selecciona una bomba de agua de 2 Hp.



**Figura 37-3:** Bomba de agua agrícola 2 Hp W4075H

Fuente: Rong Long, 2005

Se ha seleccionado la bomba por economía y disponibilidad en la ciudad. La empresa Rong Long se encuentra en el mercado ecuatoriano más de 30 años ofreciendo productos de calidad y durabilidad.

En la tabla 15-3 se puede visualizar las características que presenta la bomba.

**Tabla 15-3:** Características de la bomba

|                |                     |
|----------------|---------------------|
| Motor          | 2Hp 60Hz 3450R.P.M  |
| Voltaje        | 110/220V Monofásico |
| Succión        | 9 metros            |
| Amperio        | 28A/14A             |
| Salida/Entrada | 2"                  |

Fuente: Rong Long, 2005

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

### 3.3.1.13 Instalación de la bomba

El voltaje con el que se trabajó en la instalación de la bomba es 110V y se encuentra conectado a una tubería corrugada de polietileno y acompañado de una válvula de pie con el objetivo de succionar el fluido del reservorio.



**Figura 38-3:** Instalación de la bomba, tubería corrugada y válvula de pie

Fuente: Rong Long, 2005

### 3.3.1.14 Eficiencia de la bomba

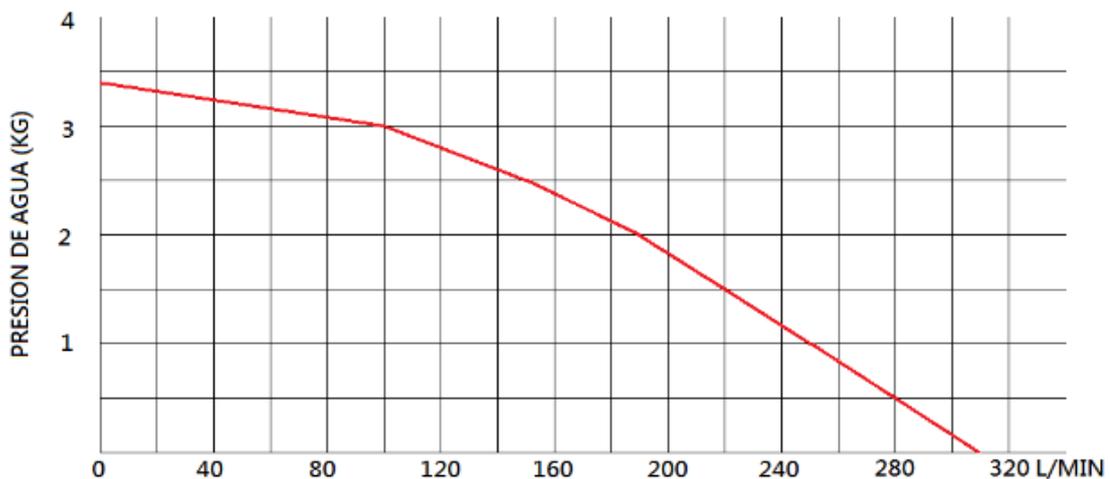
Es importante conocer cuál es la eficiencia mecánica que trabaja la bomba, por lo que se hace uso de la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{P_A}{P_I}$$
$$\eta = \frac{0,6413}{2} \times 100$$
$$\eta = 32,075 \%$$

La eficiencia que presenta la bomba es de 32,075 %.

### 3.3.1.15 Curva característica de la bomba

En función a las características que presenta la bomba se tiene una altura máxima de 35 mca y al desarrollar el diseño de la red ramificada mediante el criterio de pendiente uniforme, se pudo observar que la altura de bombeo real necesaria para abastecer el sistema es de 21,75 mca, por lo que la bomba cumple con criterios de presión. Por medio del catálogo se ha podido ubicar la curva característica de la bomba como se puede visualizar en la figura 39-3.



**Figura 39-3:** Curva característica de la bomba de 2 Hp

Fuente: Rong Long, 2005

Es importante adquirir detalladamente los puntos de intersección que posee la curva, para lo cual el mismo catálogo ofrece una tabla especificando datos técnicos de los pares ordenados de presión en función de caudal.

**Tabla 16-3:** Datos técnicos de la curva característica de la bomba 2 Hp

|         |     |     |     |     |     |     |    |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| (KG)    | 0   | 0,7 | 1,5 | 2   | 2,1 | 2,5 | 30 | 3,5 |
| (L/MIN) | 305 | 281 | 230 | 190 | 188 | 151 | 85 | 0   |

Fuente: Rong Long, 2005

Realizado por: Alulema, Iván, 2022

Mediante el software Excel y el método de los mínimos cuadrados es posible determinar la curva característica que presenta la bomba.

#### *Método mediante Excel*

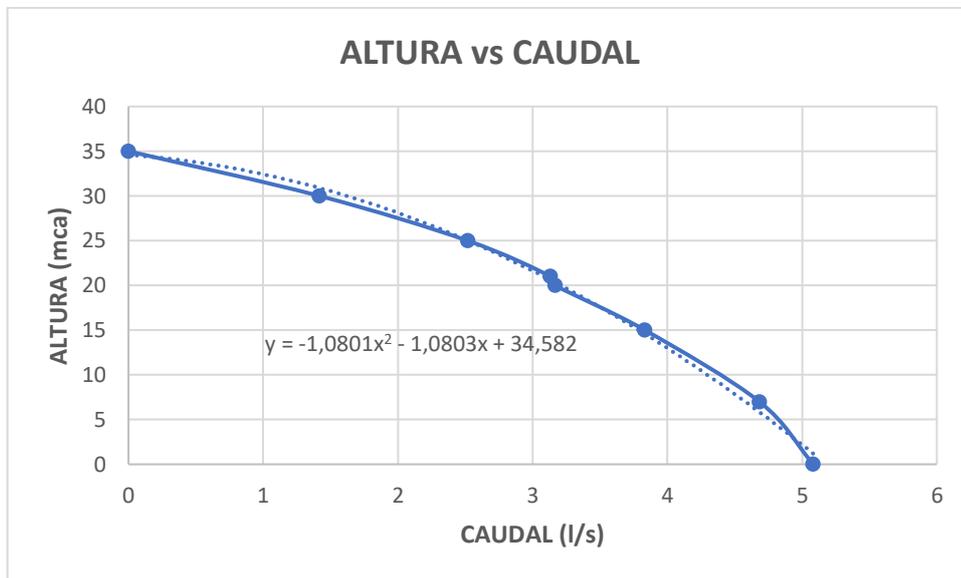
Es un método simple, en donde mediante los puntos establecidos y gracias a las ventajas favorables que ofrece el software se puede graficar inmediatamente, como se puede visualizar en el gráfico 1-3.

Las unidades de presión y caudal que presenta la tabla del catálogo no se adaptan a los requerimientos iniciales de trabajo, por tanto, se realiza una conversión a mca y l/s respectivamente.

**Tabla 17-3:** Caudal y altura de la curva característica

| CAUDAL (l/s) | ALTURA mca |
|--------------|------------|
| 0            | 35         |
| 1,417        | 30         |
| 2,517        | 25         |
| 3,133        | 21         |
| 3,167        | 20         |
| 3,833        | 15         |
| 4,683        | 7          |
| 5,083        | 0          |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)



**Gráfico 1-3:** Curva característica polinomial de la bomba

Realizado por: Alulema, I, 2022

#### *Método de los mínimos cuadrados*

Este método permite determinar la ecuación de la curva característica mediante la optimización matemática, en donde se resolverá un sistema de ecuaciones calculando coeficientes que serán parte de la ecuación de la curva. El desarrollo del mismo se presenta a continuación.

$$1. \quad ma_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 = \sum_{i=1}^m y_i$$

**Tabla 18-3:** Datos de la ecuación 1

| CAUDAL (l/s) | ALTURA (mca) | X <sup>2</sup> |
|--------------|--------------|----------------|
| 0            | 35           | 0              |
| 1,417        | 30           | 2,008          |
| 2,517        | 25           | 6,335          |
| 3,133        | 21           | 9,816          |
| 3,167        | 20           | 10,030         |
| 3,833        | 15           | 14,692         |
| 4,683        | 7            | 21,930         |
| 5,083        | 0            | 25,837         |
| 23,833       | 153,000      | 90,648         |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

$$8a_0 + 23,833a_1 + 90,649a_2 = 153$$

$$2. \quad a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^3 = \sum_{i=1}^m x_i y_i$$

**Tabla 19-3:** Datos de la ecuación 2

| CAUDAL (l/s) | ALTURA (mca) | X <sup>2</sup> | X <sup>3</sup> | XY      |
|--------------|--------------|----------------|----------------|---------|
| 0            | 35           | 0              | 0              | 0       |
| 1,417        | 30           | 2,008          | 2,845          | 42,510  |
| 2,517        | 25           | 6,335          | 15,946         | 62,925  |
| 3,133        | 21           | 9,816          | 30,753         | 65,793  |
| 3,167        | 20           | 10,030         | 31,765         | 63,340  |
| 3,833        | 15           | 14,692         | 56,314         | 57,495  |
| 4,683        | 7            | 21,930         | 102,700        | 32,781  |
| 5,083        | 0            | 25,837         | 131,329        | 0,000   |
| 23,833       | 153,000      | 90,648         | 371,652        | 324,844 |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

$$23,833a_0 + 90,648a_1 + 371,652a_2 = 324,844$$

$$3. \quad a_0 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^4 = \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i$$

**Tabla 20-3:** Datos de la ecuación 3

| CAUDAL (l/s) | ALTURA (mca) | X <sup>2</sup> | X <sup>3</sup> | X <sup>4</sup> | X <sup>2</sup> Y |
|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 0            | 35           | 0              | 0              | 0              | 0                |
| 1,417        | 30           | 2,008          | 2,845          | 4,032          | 60,237           |
| 2,517        | 25           | 6,335          | 15,946         | 40,136         | 158,382          |
| 3,133        | 21           | 9,816          | 30,753         | 96,348         | 206,129          |
| 3,167        | 20           | 10,030         | 31,765         | 100,599        | 200,598          |
| 3,833        | 15           | 14,692         | 56,314         | 215,852        | 220,378          |
| 4,683        | 7            | 21,930         | 102,700        | 480,946        | 153,513          |
| 5,083        | 0            | 25,837         | 131,329        | 667,545        | 0,000            |
| 23,833       | 153,000      | 90,648         | 371,652        | 1605,457       | 999,238          |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

$$90,648a_0 + 371,652a_1 + 1605,457a_2 = 999,238$$

Se procede a calcular los coeficientes del sistema de ecuaciones, los mismos que representarán la curva característica de la bomba.

$$\begin{cases} 8a_0 + 23,833a_1 + 90,648a_2 = 153 \\ 23,833a_0 + 90,648a_1 + 371,652a_2 = 324,844 \\ 90,648a_0 + 371,652a_1 + 1605,457a_2 = 999,238 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} a_0 &= 34,582 \\ a_1 &= -1,08 \\ a_2 &= -1,08 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la curva característica determinada mediante este método es aproximadamente igual a la calculada mediante el software y se presenta a continuación.

$$H_B = 34,582 - 1,08Q - 1,08Q^2$$

### 3.3.1.16 Cálculo de cavitación

### 3.3.2 Diseño del sistema electrónico

Los sistemas de automatización del mercado ofrecen muchas posibilidades, desde programar pequeñas operaciones como abrir y cerrar válvulas, hasta programar grandes redes de riego que permiten diferentes operaciones en cada zona de riego.

El control automático del riego ofrece varias opciones: automatización por tiempo, en cuyo caso se debe tener en cuenta el factor tiempo; automatización del volumen, cuando se trata de volumen, y automatización de la demanda, si está relacionada con el agotamiento de la humedad del suelo.

#### 3.3.2.1 Análisis entre un PLC y un controlador

Es importante la selección adecuada del dispositivo de control para automatizar las electroválvulas, por tanto, a continuación, se presenta un análisis entre los dos dispositivos, posteriormente se elegirá el que mejor se adapte a nuestras necesidades y recursos.

**Tabla 21-3:** Análisis comparativo entre PLC y controlador

| Elemento<br>Característica | PLC   |  | Controlador                    |   |
|----------------------------|---|--|--------------------------------|---|
|                            | Ventajas  | Desventajas  | Ventajas                       | Desventajas                               |
| Programación               | Relativamente fácil programación                        | Conocimiento avanzado en programación                                  | Facilidad en su interfaz       | Conocimiento amplio en microcontroladores |
| Espacio y costo            | Ocupa un espacio reducido                               | Costo elevado para realizar tareas sencillas                           | Emplea muy poco espacio        | Costo relativamente bajo                  |
| Especificación             | Posibilidad de agregar modificaciones sin elevar costos | Sensibilidad a condiciones de trabajos extremos                        | Diseñados para cosas puntuales | Sensibilidad a la electrostática          |
| Instalación                | Instalación sugiere de especialistas                    | Garantiza número de entradas y salidas seleccionados por el fabricante | Fácil instalación              | Se ajusta a los criterios del usuario     |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

Observando las características que presentan los elementos, en función a su programación, especificación, instalación, espacio y costo se logra determinar que el más recomendable a utilizar es un controlador.

### 3.3.2.2 Automatización

El propósito es brindar información suficiente a las electroválvulas para que cumplan su función de activación y desactivación acorde a horarios establecidos por el usuario. Acorde al análisis realizado en el apartado anterior, por su disponibilidad y fácil programación se ha seleccionado implementar el controlador 6S HUNTER ECO LOGIC 220V.



**Figura 40-3:** Controlador 6 HUNTER  
ECO LOGIC 220V

**Realizado por:** Catálogos Hunter, 2022

#### *Descripción*

El controlador Eco-Logic está equipado con funciones sofisticadas como la programación a través de un solo botón, Hunter Quick Check, dos programas independientes con cuatro inicios cada uno, calendario de 365 días para riego en días pares o impares, ajuste estacional (desde 10% 150%), compatibilidad con sensores meteorológicos y memoria permanente.

El controlador Eco-Logic está equipado con funciones que garantizan la máxima eficiencia del sistema. Hunter Eco-Logic es imbatible en simplicidad, confiabilidad y asequibilidad.

Para ahorrar un recurso tan preciado como el agua, Hunter presenta una herramienta de gestión del agua tan simple.

De hecho, el controlador está equipado con las funciones esenciales de gestión del agua más completas en un controlador extremadamente asequible.

El controlador Eco-Logic está disponible en modelos de 4 y 6 estaciones, cada uno equipado con funciones que garantizan la máxima eficiencia del sistema (Prato Erbosó).

#### *Ficha de datos*

**Tabla 22-3:** Características del controlador 6 HUNTER ECO LOGIC 220V

| <b>Característica</b>                | <b>Descripción</b> |
|--------------------------------------|--------------------|
| Montaje                              | Interior           |
| Estanco                              | No                 |
| Número de zonas                      | 6                  |
| Válvulas por sector                  | 1                  |
| Número de salidas                    | 4                  |
| Voltaje de salida (voltios)          | 24V 625MA          |
| Wifi                                 | No                 |
| Memoria no volátil                   | No                 |
| Control remoto                       | No                 |
| Modular                              | No                 |
| Compatible con sensor de lluvia      | Sí                 |
| Suministro                           | Tensión de red     |
| Protección contra la sobretensión    | Sí                 |
| Garantía                             | Dos años           |
| Programas simultáneos                | No                 |
| Programación de días pares e impares | Sí                 |
| Programación semanal                 | Sí                 |

**Realizado por:** (Alulema, I, 2022)

**Fuente:** Catálogos Hunter, 2022

### **Implementación**

El controlador se lo ubica en el interior de la caja de control, seleccionando correctamente la conexión de los cables de las electroválvulas y el cableado a la fuente principal.



**Figura 41-3:** Instalación del controlador 6  
HUNTER ECO LOGIC 220V  
Realizado por: Alulema, I, 2022

### 3.3.2.3 Frecuencia y tiempo de riego

La frecuencia y el tiempo de riego nos indica cuantas veces y la duración de cada intervalo al día que se va a efectuar la irrigación.

El intervalo máximo en el día que se debe emplear para el regadío de los espacios ajardinados se lo realiza mediante la siguiente expresión:

$$I(\text{días}) = \frac{IHD \times NAP \times Zr}{Nn}$$

En donde:

*IHD*: Intervalo de humedad disponible

*NAP*: Nivel de agotamiento disponible

*Zr*: Profundidad de raíces (mm)

*Nn*: Necesidades netas (mm/día)

Para el intervalo de humedad disponible nos apoyamos de la figura 42-3 y se selecciona el valor inferior de suelo arenoso.

| Textura          | IHD<br>(mm de agua por m de profundidad del suelo) |
|------------------|--|
| Arenoso          | 70 – 100   |
| Franco-arenoso   | 90 – 150   |
| Franco           | 140 – 190  |
| Franco-arcilloso | 170 – 220  |
| Arcilloso        | 200 – 250  |

**Figura 42-3:** Milímetros de agua por m de profundidad del suelo

Realizado por: Alulema, I, 2022

Referente al valor de NAP para césped el mismo autor recomendando que se debe emplear 0,5; así como la profundidad de las raíces con 0,6.

Para las necesidades netas, se selecciona el mes con mayor valor y se visualiza que corresponde al mes de Julio con 7 mm/día, garantizado de esta manera un factor de seguridad.

| ETr diaria en el valle medio y bajo del Guadalquivir |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ETr  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| mm/día   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 6   | 5   | 4   | 3   | 2   |

**Figura 43-3:** Necesidades netas de cada mes

Realizado por: Alulema, I, 2022

Una vez obtenido todos los datos, se procede a efectuar la operación.

$$I(\text{día}) = \frac{70 \times 0,5 \times 0,6}{7}$$

$$I(\text{día}) = 3$$

Por lo tanto, en el día se necesita realizar una irrigación de 3 veces.

Finalmente, se necesita saber el tiempo de trabajo de los aspersores. Para lo cual se realiza el análisis de cada área puesto que el caudal que abastece es diferente en cada sección.

Siguiendo con lo establecido por el autor, para este análisis se hace uso de la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{Nb}{Ne \times Q}$$

En donde:

$Nb$  = Necesidades brutas (mm)

$Ne$  = N° emisores /metro cuadrado

$Q$  = Caudal suministrado por el emisor (l/h)

**Tabla 23-3:** Cálculo del tiempo de programación en cada sección

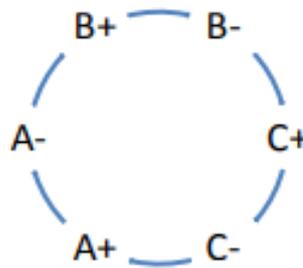
| Áreas   | Caudal | Nb   | Ne | Intervalo | Tiempo (h) | Tiempo (min) | Tiempo programado (min) |
|---|--------|------|----|-----------|------------|--------------|-------------------------|
| Canchas                                       | 951,84 | 1000 | 8  | 3         | 0,0438     | 2,626        | 3                       |
| Jardín 1                                      | 240,77 | 300  | 4  | 3         | 0,1038     | 6,230        | 6                       |
| Jardín 2                                      | 240,77 | 500  | 4  | 3         | 0,1731     | 10,383       | 10                      |
| Tiempo total de irrigación en todas las áreas |        |      |    |           |            |              | 19                      |

Realizado por: Alulema, I, 2022

El tiempo programado en las secciones es de 19 minutos; sin embargo, al día se va a realizar 3 irrigaciones, por lo tanto, la bomba va a trabajar 57 minutos en el día.

### 3.3.2.4 Procedimiento para montaje de las electroválvulas

Se analizará la secuencia A+A-B+B-C+C-



**Figura 44-3:** Ciclo electroválvulas de estudio

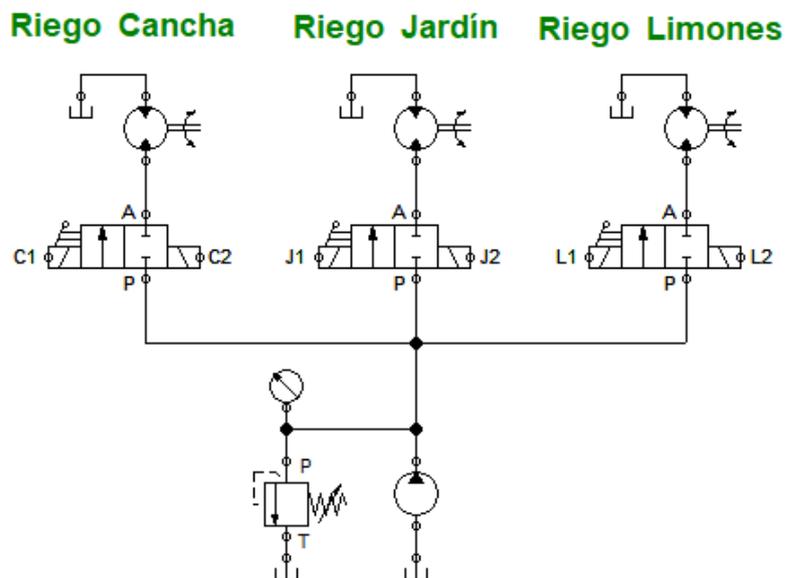
Realizado por: Alulema, I, 2022

Se conforman tres grupos, como se puede visualizar a continuación:

Grupo 1: A+B-C-

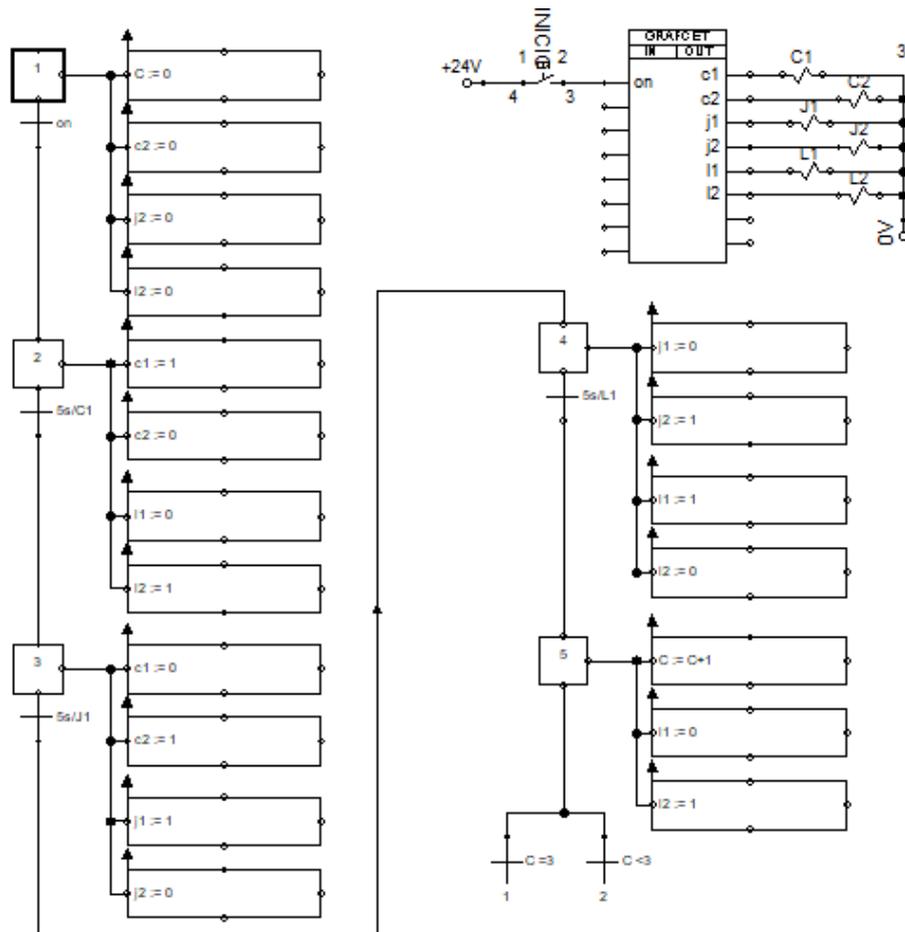
Grupo 2: A-B+C-

Grupo 3: A-B-C+



**Figura 45-3:** Esquema de grupos representativos de electroválvulas

Realizado por: Alulema, I, 2022



**Figura 46-3:** Señales de entrada de los grupos  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

### 3.3.2.8. Selección de electroválvulas

A continuación, se presenta un análisis con la finalidad de seleccionar el tipo de electroválvulas adecuadas y que proporcionen mayor ventaja respecto al sistema hidráulico y eléctrico.

**Tabla 24-3:** Características electroválvulas a seleccionar

| Tipo   | Representación   | Estado              | Voltaje | Presión de trabajo | Paso de flujo |
|--|--|---------------------|---------|--------------------|---------------|
| Electroválvula de accionamiento directo                  |   | Normalmente cerrada | 110 VAC | 7,1-142 PSI        | 2,5 mm        |
| Electroválvula neumática de 3/2 de accionamiento directo |   | Normalmente cerrada | 220 VAC | 7,1-142 PSI        | 2,5 mm        |
| Electroválvula neumática de 2/2 de accionamiento directo |  | Normalmente cerrada | 110 VAC | 2-8 BAR            | 2,5 mm        |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

La finalidad es controlar el ingreso del fluido desde el reservorio hacia los puntos de consumo, mediante un accionamiento directo y que se encuentre normalmente cerrada. Respecto a las características de voltaje, presión y paso de flujo se determina que cumplen con los parámetros externos que se emplearán en el sistema.

Por su disponibilidad y economía se ha seleccionado emplear electroválvulas de la marca CEPEX. Refiriéndonos a esta empresa, es uno de los fabricantes europeos de accesorios hidráulicos en materiales termoplásticos. En la Tabla 25-3 se puede observar las características que presenta la electroválvula CEPEX.

**Tabla 25-3:** Características electroválvula CEPEX

| Característica        | Descripción   |
|-----------------------|---|
| Aplicación            | Residencial, comercial y agrícola   |
| Medidas               | ¾", 1", 1 ½", 2" BSP hembra   |
| Opciones              | 9V latch  |
| Caudal mínimo         | 0,5 m3/h  |
| Presión de trabajo    | 0,7 bar -10 bar   |
| Material              | Nylon reforzado   |
| Control               | Eléctrico – solenoide 2 vías  |
| Control de caudal     | Sí  |
| Otras características | Sin tubos ni accesorios externos, construcción compacta, cierre por tornillos y orificio auto-limpiante |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

Fuente: (CEPEX)

### 3.3.2.5 Ubicación de las electroválvulas

Mediante el análisis realizado anteriormente, se ha determinado la utilización de tres electroválvulas en el sistema.

#### **Electroválvula de 1 ½"**

Esta electroválvula se instalará junto a la tubería principal, específicamente en la tubería de 40 mm con sus respectivos acoples y será la responsable de la activación en el área de las canchas.



**Figura 47-3:** Instalación electroválvula de 1 ½"

Realizado por: Alulema, I, 2022

#### **Electroválvulas de 1"**

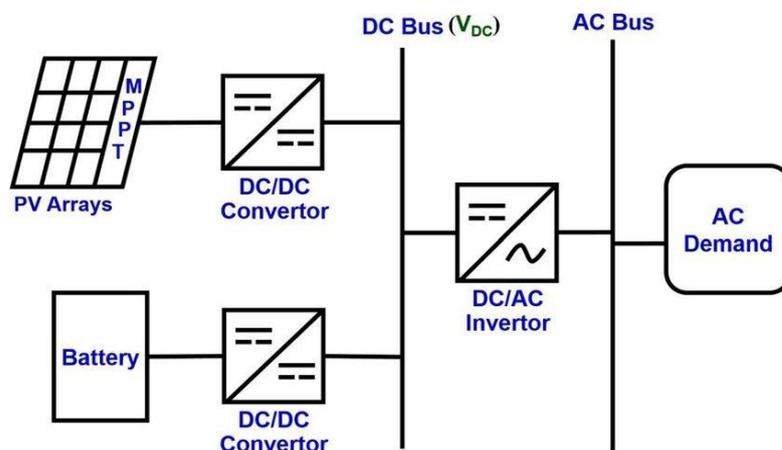
Referente a la posición en donde se ubicarán las dos electroválvulas, se ha analizado posicionar en la tubería de 25 mm con sus respectivos acoples y serán responsables de la activación y desactivación de las áreas de los jardines.



**Figura 48-3:** Instalación electroválvula de 1”  
Realizado por: Alulema, I, 2022

### 3.3.2.6 Diseño del sistema fotovoltaico

Mediante el diseño del sistema fotovoltaico se pretende aprovechar la intermitencia de los recursos naturales y proporcionar energía al sistema de riego y bombeo. En la figura 48-3 se presenta un esquema del sistema fotovoltaico en donde se diseñará cada uno de los elementos a partir de la demanda que presenta la bomba.



**Figura 49-3:** Configuración del sistema de una microrred fotovoltaica aislada.

Fuente: Seong, 2017

### 3.3.2.7 Cálculo y selección del panel fotovoltaico

A partir de la potencia de 1,5Hp que ha sido seleccionada para el abastecimiento del agua en cada uno de los puntos de consumo y, además, de haber determinado el tiempo que la bomba se

encuentra encendida durante el día se procede a dimensionar el panel fotovoltaico con la ayuda de la expresión propuesta por Ssenyimba, Kiggndu y Banadda (2020):

$$P_{PV} = \frac{C}{\eta_{CARGA} \cdot \eta_{INV} \cdot h_s} \times \eta_{PG}$$

Donde:

$P_{PV}$ : Potencia combinada de los paneles solares en vatios (W).

$C$ : Demanda total del sistema en vatios – hora (Wh).

$h_s$ : Potencial solar en el sitio de instalación en horas solares (h).

$\eta_{CARGA}$ : Eficiencia en el controlador de carga.

$\eta_{INV}$ : Eficiencia en la conversión DC – AC.

$\eta_{PG}$ : Factor de pérdidas generales (se recomienda un valor de 1,1)

Se considera la salida del controlador de carga en los paneles fotovoltaicos con el 95% (AC-DC), la conversión en el inversor con 90% para (DC-AC). Las pérdidas en cables y demás conexiones se desprecia.

Para obtener el valor de la demanda total en el sistema, primero se debe realizar una conversión de Hp a W, luego se realiza una multiplicación por el tiempo que la bomba se va a mantener encendida durante el día.

$$2Hp \rightarrow 1491,4 W$$

$$57 \text{ minutos} \rightarrow 0,95 \text{ horas}$$

$$C = P_l \cdot t$$

$$C = 1491,4 \cdot 0,95$$

$$C = 1416,83 \text{ Wh/día}$$

La potencia requerida de los paneles solares es:

$$P_{PV} = \frac{1416,83 \text{ Wh/día}}{0,95 \cdot 0,90 \cdot 5,5 \text{ h}} \times 1,1$$

$$P_{PV} = 331,42 \text{ W/día}$$

De acuerdo a su disponibilidad en Proviento SA se ha seleccionado un panel de la empresa Resun Solar Energy.



**Figura 50-3:** Panel solar 400 W RESUN  
Fuente: Resun

En la tabla 26-3 se puede visualizar los datos técnicos del panel solar.

**Tabla 26-3:** Características del panel fotovoltaico

|                                     |                 |
|-------------------------------------|-----------------|
| Tipo                                | Monocrystalino  |
| Potencia máxima                     | 400 W           |
| Voltaje de circuito abierto (Voc)   | 48,60 V         |
| Voltaje de potencia máxima (Vmpp)   | 39,92 V         |
| Corriente de circuito cerrado (Isc) | 10,4 A          |
| Corriente de potencia máxima (Impp) | 10,02 A         |
| Voltaje máximo del sistema          | 1000 V          |
| Número de celdas                    | 60              |
| Eficiencia                          | 20,61 %         |
| Dimensiones                         | 1980x1002x40 mm |
| Peso                                | 22,9 kg         |

Fuente: Resun CO., LTD

Realizado por: Alulema, I, 2022

La potencia del panel monocristalino seleccionado tiene una potencia superior a la requerida, por lo tanto, se valida el valor de la demanda.

### 3.3.2.8 Cálculo y selección del controlador de carga

En la selección del controlador de carga se considera la corriente nominal de carga, por tanto, se hace uso de la siguiente expresión en donde se considera la potencia nominal del panel fotovoltaico.

$$T_c = \frac{P_s}{V_s} \cdot f_s$$

Donde:

$T_c$ : Corriente nominal del controlador de carga.

$P_s$ : Potencia en el SHER.

$V_s$ : Voltaje del SHER en voltios (12V, 24V o 48V)

$f_s$ : Factor de seguridad. Se considera 1,3.

Para el voltaje de SHER, se considera 12 V y es muy importante tomar en cuenta que los demás elementos deben ser compatibles con esta tensión, entonces se tiene:

$$T_c = \frac{333,42 \text{ W}}{12 \text{ A}} \cdot 1,3$$

$$T_c = 35,9 \text{ A}$$

El controlador de carga que ha sido seleccionado es de la empresa Victron Energy de tipo MPPT 150/45 que posee un valor de corriente de carga de 45 A, suficiente para soportar el amperaje teórico determinado.



**Figura 51-3:** Controlador de carga MPPT 150/45  
Fuente: Victron Energy

A continuación, se presenta la ficha técnica del controlador de carga seleccionado.

**Tabla 27-3:** Características técnicas del controlador de carga

|  |   |
|--|---|
| Controlador de carga                   | MPPT 150/45   |
| Tensión de batería                     | 12/24/48 V Selección automática   |
| Corriente de carga nominal             | 45 A  |
| Potencia FV máxima                     | 12 V: 650 W/ 24 V: 1300 W/ 48 V: 2600 W   |
| Tensión máxima del circuito abierto FV | 150 V máximo absoluto en las condiciones más frías<br>145 V en arranque y funcionando al máximo               |
| Eficiencia máxima                      | 98%   |
| Autoconsumo                            | Menos de 35 mA a 12 V/ 20 mA a 48 V   |
| Tensión de carga de “absorción”        | Valores predeterminados: 14,4/28,8/43,2/57,6V   |
| Tensión de carga de “flotación”        | Valores predeterminados: 13,8/27,6/41,4/55,2V   |
| Protección                             | Polaridad inversa de la batería (fusible)<br>Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida<br>Sobretemperatura |
| Temperatura de trabajo                 | -30 a +60 °C  |
| Humedad                                | 95%, sin condensación   |
| Dimensiones                            | 185x250x95 mm   |

Fuente: Victron Energy SA

Realizado por: Alulema, I, 2022

### 3.3.2.9 Cálculo y selección de las baterías

En ocasiones el panel fotovoltaico no será capaz de satisfacer la demanda del sistema (esto debido a situaciones climáticas) por lo que es importante almacenar la energía en baterías. La capacidad del banco de baterías se determina con la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad del acumulador} = \frac{P_{PF}}{V_{bat}}$$

Se considera la potencia nominal del panel fotovoltaico (sin pérdidas) y 12V como el voltaje de la batería, pues como se mencionó anteriormente todos los elementos vana a trabajar con esa tensión. Entonces la capacidad del acumulador es:

$$\text{Capacidad del acumulador} = \frac{1416,83 \text{ Wh}}{12V}$$

$$\text{Capacidad del acumulador} = 118,07 \text{ Ah}$$

Por lo tanto, se selecciona una batería de la marca Renogy tipo TAB 5G de 100 Ah.



**Figura 52-3:** Batería TAB 5G – 12v-100Ah  
**Fuente:** Reconogy

Es importante mencionar las características que presenta la batería, en la tabla 28-3 se puede visualizar la ficha técnica de la misma.

**Tabla 28-3:** Características técnicas de la batería

|   |   |
|---|---|
| Marca                                   | Renogy  |
| Tipo de servicio                        | Acumulador  |
| Talla                                   | 100Ah   |
| Voltaje                                 | 12V   |
| Composición de las celdas de la batería | Plomo-ácido, AGM (malla de fibra vidrio absorbente) |
| Peso del artículo                       | 66 lb   |
| Dimensiones                             | 13x6,8x9 in   |

**Fuente:** TAB batteries

**Realizado por:** Alulema, I, 2022

### 3.3.2.10 *Cálculo y selección del inversor*

Para la selección del inversor se debe tomar en cuenta que la potencia del elemento debe ser superior a la potencia de salida del sistema (1118,55 W). Anteriormente se mencionó que la conexión de la bomba se lo realizó a una tensión de 110V y como el sistema trabaja a una capacidad de 12 V, se ubica un inversor que cuente con estas características y se encuentre disponible en el mercado.

Se seleccionó un inversor de 1500 W de la marca Solartex tipo IP1500-11 que posee a la entrada 12V de corriente continua y a la salida 110 de corriente alterna.



**Figura 53-3:** Inversor de onda pura 1500W  
110VAC 12VDC Epever

Fuente: Solartex

La ficha técnica del inversor se presenta en la tabla 29-3.

**Tabla 29-3:** Características técnicas del inversor

|                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| Modelo                     | IP1500-11               |
| Entrada de tensión nominal | 12VDC                   |
| Tensión de salida          | 110VAC                  |
| Potencia de salida         | 1500W                   |
| Frecuencia de salida       | 50/60Hz                 |
| Salida de la onda          | De onda sinusoidal pura |
| Salida                     | Fase única              |
| Eficiencia                 | 93%                     |
| Peso neto                  | 3,9kg                   |
| Dimensiones                | 326,12x231,5x98,5mm     |

Fuente: Solartex SA  
Realizado por: Alulema, I, 2022

### 3.4 Análisis de costos

#### 3.4.1 Costos directos

A continuación, se detalla el precio de los distintos elementos comprendidos en el sistema de riego y bombeo, junto con su mano de obra y de proceso de fabricación.

##### 3.4.1.1 Elementos hidráulicos

**Tabla 30-3:** Costos elementos hidráulicos

| Ítem | Descripción                                   | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Sub Total (\$) |
|------|---|--------|----------|---------------------|----------------|
| 1    | Bomba hidráulica                              | Kg     | 1        | 250                 | 250            |
| 2    | Tubo PVC E/C 63mm x 1MPa x 6m TG              | Kg     | 11       | 13,70               | 150,70         |
| 3    | Tubo PVC presión E/C 40mm x 1MPa x 6m TG/HOLV | Kg     | 5        | 6,50                | 32,50          |

|    |   |    |    |      |       |
|----|---|----|----|------|-------|
| 4  | Tubo PVC Presión E/C 32mm x 6m 1,25MPa RV       | Kg | 4  | 4,75 | 19    |
| 5  | Tubo PVC E/C 25mm x 1,6MPa x 6m TG              | Kg | 22 | 3,50 | 77    |
| 6  | Tubo PVC E/C 20mm x 2MPa x 6Mpa TG              | Kg | 9  | 3,29 | 29,61 |
| 7  | Tubo PVC roscable ½" SCH 80 x 6m TG             | Kg | 1  | 6    | 6     |
| 8  | Válvula esférica PVC E/C 25mm TG                | Kg | 3  | 3,76 | 11,28 |
| 9  | Válvula esférica PVC E/C 40mm TG                | Kg | 1  | 8,23 | 8,23  |
| 10 | Buje largo PVC presión E/C 63 x 32mm TG         | Kg | 1  | 1,55 | 1,55  |
| 11 | Buje corto VC presión E/C 25mm TG               | Kg | 2  | 0,20 | 0,40  |
| 12 | Buje corto PVC presión E/C 25 x 20mm TG/PG      | Kg | 1  | 0,16 | 0,16  |
| 13 | Reductor largo PVC 63 x 50 x 40mm HIDROTEN      | Kg | 1  | 2,45 | 2,45  |
| 14 | Reductor largo PVC 32 x 25mm ERA                | Kg | 2  | 0,34 | 0,68  |
| 15 | Reductor largo PVC 40 x 32mm GOL                | Kg | 3  | 0,38 | 1,14  |
| 16 | Tee PVC presión E/C 40mm TIGRE TG               | Kg | 1  | 1,32 | 1,32  |
| 17 | Tee PVC-U presión 32x25mm PN 10 TG              | Kg | 1  | 0,56 | 0,56  |
| 18 | Tee red PVC presión E/C 25 x 20 mm TIGRE TG     | Kg | 3  | 0,35 | 1,05  |
| 19 | Tee PVC presión E/C 32mm TG                     | Kg | 1  | 0,33 | 0,33  |
| 20 | Tee PVC presión E/C 63mm GOL/ERA                | Kg | 1  | 3,04 | 3,04  |
| 21 | Cruz PVC Presión E/C 40mm TG                    | Kg | 1  | 1,87 | 1,87  |
| 22 | Codo 90° PVC presión E/C 25mm TG                | Kg | 4  | 0,21 | 0,84  |
| 23 | Codo 90° PP roscable ½" TG                      | Kg | 5  | 0,41 | 2,05  |
| 24 | Codo red 90° PP roscable ¾" x ½" TG/IPS         | Kg | 4  | 0,96 | 3,84  |
| 25 | Codo 45° PVC presión E/C 25mm TG                | Kg | 2  | 0,28 | 0,56  |
| 26 | Unión PC roscable ½" TG                         | Kg | 4  | 0,45 | 1,80  |
| 27 | Adaptador M PVC presión pega/rosca 25mm x ¾" TG | Kg | 5  | 0,28 | 1,40  |
| 28 | Adaptador M PVC 20 mm x ½" ERA/GOL              | Kg | 5  | 0,24 | 1,20  |
| 29 | Collarín PVC 20 mm x ½"                         | Kg | 4  | 0,98 | 3,92  |
| 30 | Collarín PVC 25 mm x ½"                         | Kg | 4  | 0,88 | 3,52  |
| 31 | Aspersor Senninger XCEL WOBBLER ½" RM #10       | Kg | 13 | 6,50 | 84,50 |
| 32 | Aspersor ½" ERHAS 1615 (Tomate)                 | Kg | 4  | 2,95 | 11,80 |
| 33 | Teflón ¾ x 15m YEKTA amarillo                   | Kg | 5  | 1,01 | 5,05  |

|    |   |    |   |                   |        |
|----|---|----|---|-------------------|--------|
| 34 | Sellador plus IPS 50CC P/CONEX poliprod ARG | Kg | 1 | 5,32              | 5,32   |
| 35 | Kalipega 500CC PG                           | Kg | 1 | 9,76              | 9,76   |
| 36 | Polilimpia                                  | Kg | 1 | 3,48              | 3,48   |
|    |   |    |   | <b>Subtotal 1</b> | 737,91 |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

#### 3.4.1.2 Elementos electrónicos

**Tabla 31-3:** Costos de elementos electrónicos

| Ítem | Descripción                 | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Sub Total (\$) |
|------|-----------------------------|--------|----------|---------------------|----------------|
| 1    | Controlador EcoLogic Hunter | Kg     | 1        | 138                 | 138            |
| 2    | Electroválvula de 1 ½"      | Kg     | 1        | 100                 | 100            |
| 3    | Electroválvula de 1"        | Kg     | 2        | 50                  | 100            |
| 4    | Universal de 1 ½"           | Kg     | 1        | 8                   | 16             |
| 5    | Universal de 1"             | Kg     | 4        | 3,50                | 14             |
| 6    | Adaptador M de 50 x 1 ½"    | Kg     | 2        | 1,50                | 3              |
| 7    | Adaptador M de 32 x 1"      | Kg     | 4        | 1,23                | 4,92           |
| 8    | Pegamento de 1/8            | Kg     | 1        | 5                   | 5              |
|      |                             |        |          | <b>Subtotal 2</b>   | 380,92         |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

#### 3.4.1.3 Elementos eléctricos

**Tabla 32-3:** Costos de elementos eléctricos

| Ítem | Descripción             | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Sub Total (\$) |
|------|-------------------------|--------|----------|---------------------|----------------|
| 1    | Caja de control 110 V   | Kg     | 1        | 100                 | 100            |
| 2    | Cable N 18              | Kg     | 35       | 0,35                | 12,25          |
| 3    | Cable N 12              | Kg     | 200      | 0,57                | 111,4          |
| 4    | Rollo de manguera de ½" | Kg     | 1        | 18                  | 18             |
| 5    | Botón pulsador          | Kg     | 2        | 5                   | 10             |
|      |                         |        |          | <b>Subtotal 3</b>   | 251,65         |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

#### 3.4.1.4 Mano de obra

**Tabla 33-3:** Costos de mano de obra

| Ítem | Descripción         | Horas - Hombre | Costo x hora (\$) | Sub total (\$) |
|------|---------------------|----------------|-------------------|----------------|
| 1    | Técnico electrónico | 8              | 11                | 88             |
| 2    | Técnico eléctrico   | 4              | 11                | 44             |
|      |                     |                | <b>Subtotal 4</b> | 132            |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

#### 3.4.1.5 Costos de transporte

Se considera los costos para transporte de materiales e importaciones de materiales provenientes de fuera del país, así como las movilizaciones dentro de la ciudad de Riobamba.

**Tabla 34-3:** Costo de transporte

| Cantidad | Descripción | Sub total (\$)    |    |
|----------|-------------|-------------------|----|
| 1        | Transporte  | 50                |    |
|          |             | <b>Subtotal 5</b> | 50 |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

#### 3.4.1.6 Costos de equipos y herramientas

En esta parte se considerará los costos de realización de pruebas previas a la instalación mismas que se realizaron en un taller de electrónica, así como también los costos de transporte hacia la ciudad de Riobamba, costos de estadía y transporte dentro de la ciudad.

**Tabla 35-3:** Costos de equipos y herramientas

| Cantidad          | Descripción                    | Horas - Equipo | Costo x hora (\$) | Sub total (\$) |
|-------------------|--------------------------------|----------------|-------------------|----------------|
| 1                 | Herramientas menores           | 10             | 10                | 100            |
| 1                 | Caja de herramientas mecánicas | 15             | 2                 | 30             |
| <b>Subtotal 6</b> |                                |                |                   | 130            |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

#### 3.4.2 Costos indirectos

En este apartado se presenta los costos que influyen indirectamente en la construcción del sistema de riego y bombeo, como es el diseño ingenieril y también gastos varios que se realizó.

**Tabla 36-3:** Costos indirectos

| Descripción       | Sub total (\$) |
|-------------------|----------------|
| Costo ingenieril  | 137            |
| Imprevistos       | 0              |
| Utilidad          | 0              |
| <b>Subtotal 7</b> | 137            |

Realizado por: (Alulema, I, 2022)

#### 3.4.3 Costo total

Finalmente, se presenta la suma de los costos directos e indirectos, los cuales nos darán una suma total de todo el sistema.

**Tabla 37-3:** Costo total

| <b>Tipo de costo</b> | <b>Descripción</b> | <b>Valor (\$)</b> |
|----------------------|--------------------|-------------------|
| Directo              | Subtotal 1         | 737,91            |
|                      | Subtotal 2         | 380,92            |
|                      | Subtotal 3         | 251,65            |
|                      | Subtotal 4         | 132               |
|                      | Subtotal 5         | 50                |
|                      | Subtotal 6         | 130               |
| Indirecto            | Subtotal 7         | 168               |
|                      | <b>Total</b>       | 1850,73           |

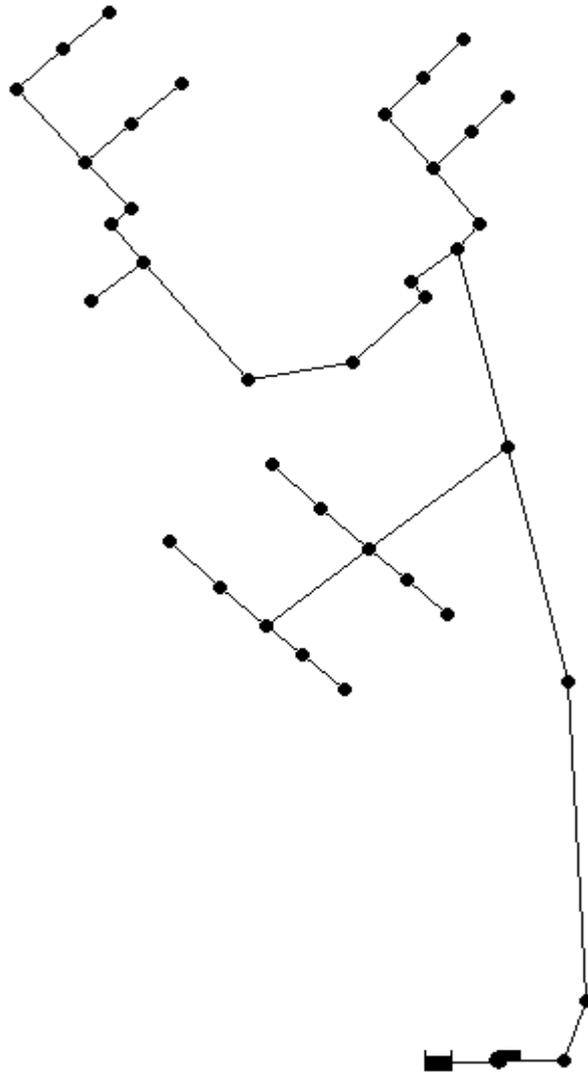
**Realizado por:** (Alulema, I, 2022)

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Simulación de la red ramificada en EPANET

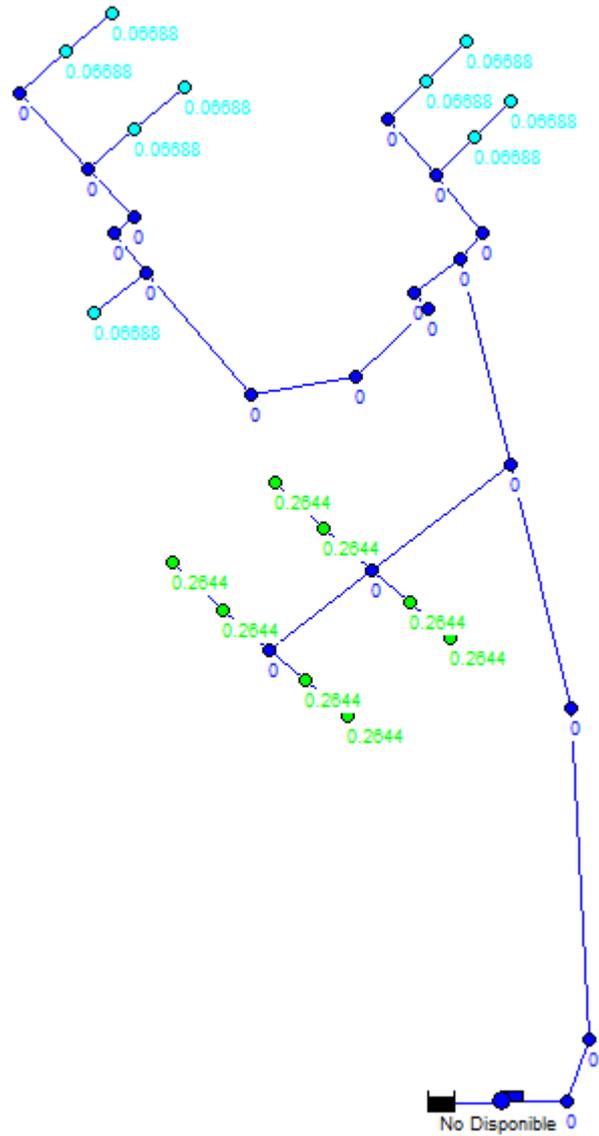
Establecido la red ramificada en el software AutoCAD, el siguiente paso es realizar la simulación con la finalidad de confirmar valores de presión, caudal, diámetro y altura de bombeo. Con la ayuda del programa Epanet existe la opción de importar un archivo mediante el software EpaCAD.



**Figura 1-4:** Simulación red ramificada Epanet  
Realizado por: Alulema, I, 2022

##### 4.1.1 *Demanda base*

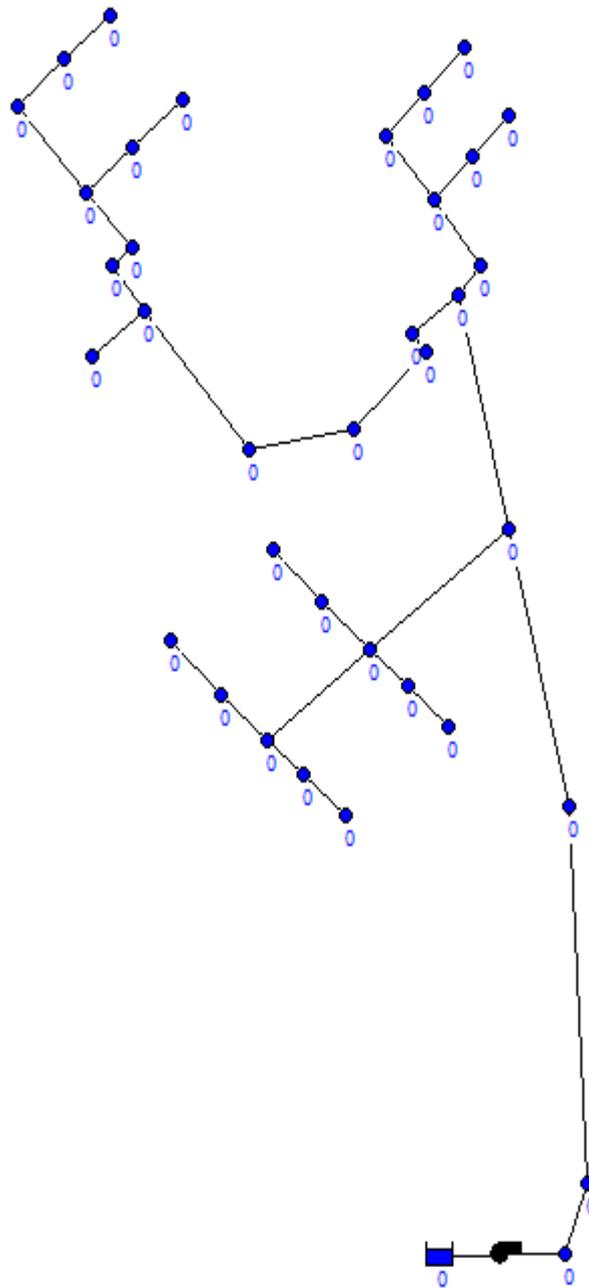
La demanda base en los nudos de consumo correspondiente a los 17 aspersores de la red ramificada es de 0,06688 l/s en la zona de los jardines y 0,2644 en las canchas.



**Figura 2-4:** Demanda base EPANET  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

#### 4.1.2 Cota

Como se había mencionado anteriormente, el sistema de riego y bombeo se encuentra situado a una misma altura, considerando el tanque y la ubicación de la bomba. En el software EPANET en cada nudo se coloca en la opción de cota el valor de cero.

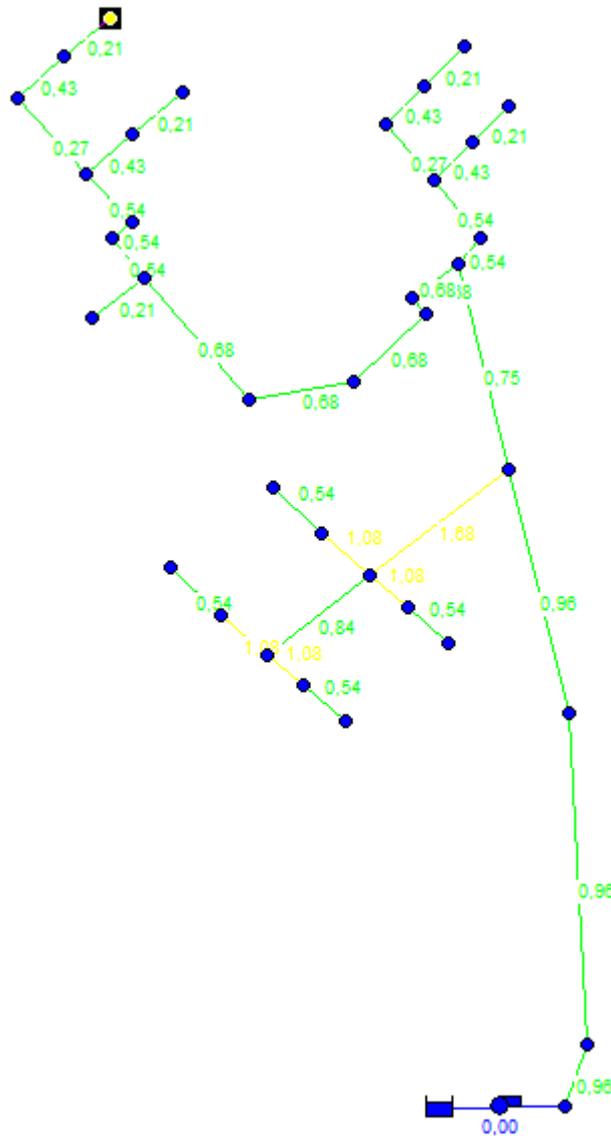


**Figura 3-4:** Cota EPANET  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

#### 4.1.3 Caudal

Ubicando el caudal de 0,06688 l/s y 0,2644 correspondiente a cada aspersor del sistema, se puede observar que en la tubería principal la suma de toda la demanda hídrica equivale a 2,72 l/s, dato que se obtuvo anteriormente de un análisis cuantitativo y manual. Mediante este método se puede determinar de forma muy rápida y eficaz el caudal que presenta el sistema y lo que debe abastecer la bomba.

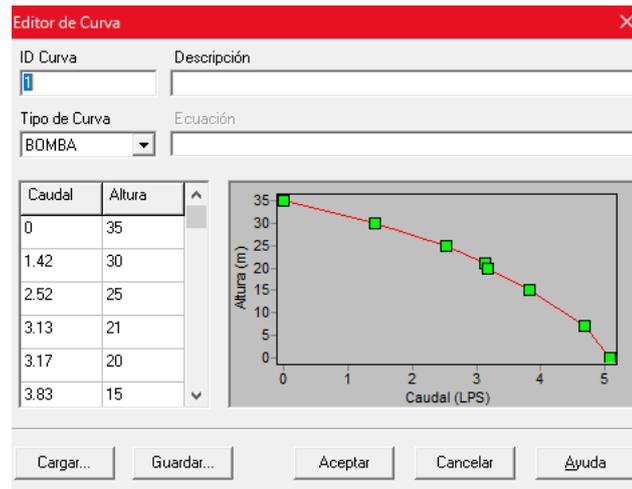




**Figura 5-4:** Velocidad EPANET  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

#### 4.1.5 Curva característica

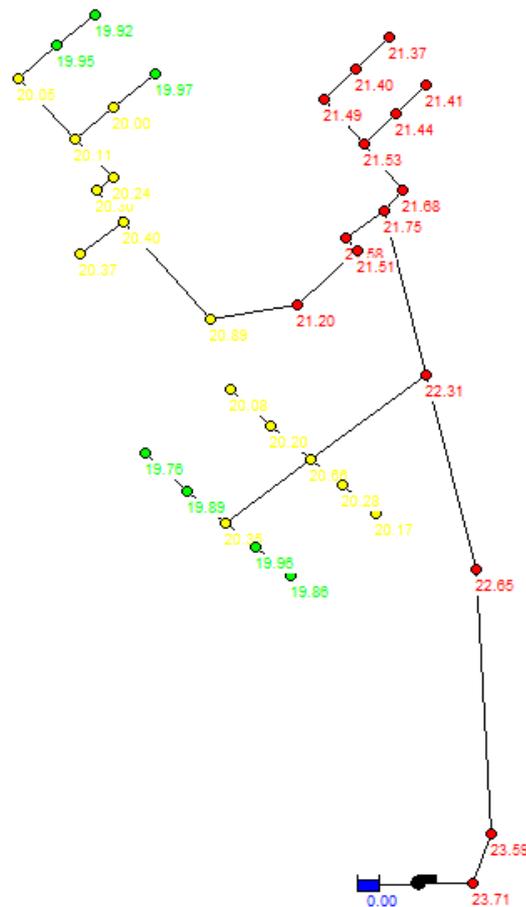
La bomba disponible posee una potencia de 1,5 Hp y altura piezométrica de 25 mca, características aceptables para abastecer a todo el sistema de riego y bombeo. Es necesario ubicar correctamente las unidades en el software, pues mediante esto podemos corroborar los datos obtenidos anteriormente. En el editor de curva se selecciona la curva característica añadida en la bomba y luego en caudal y altura se ingresa 2.72 l/s y 22 m respectivamente.



**Figura 6-4:** Curva característica bomba EPANET  
Realizado por: Alulema, I, 2022

#### 4.1.6 Presión

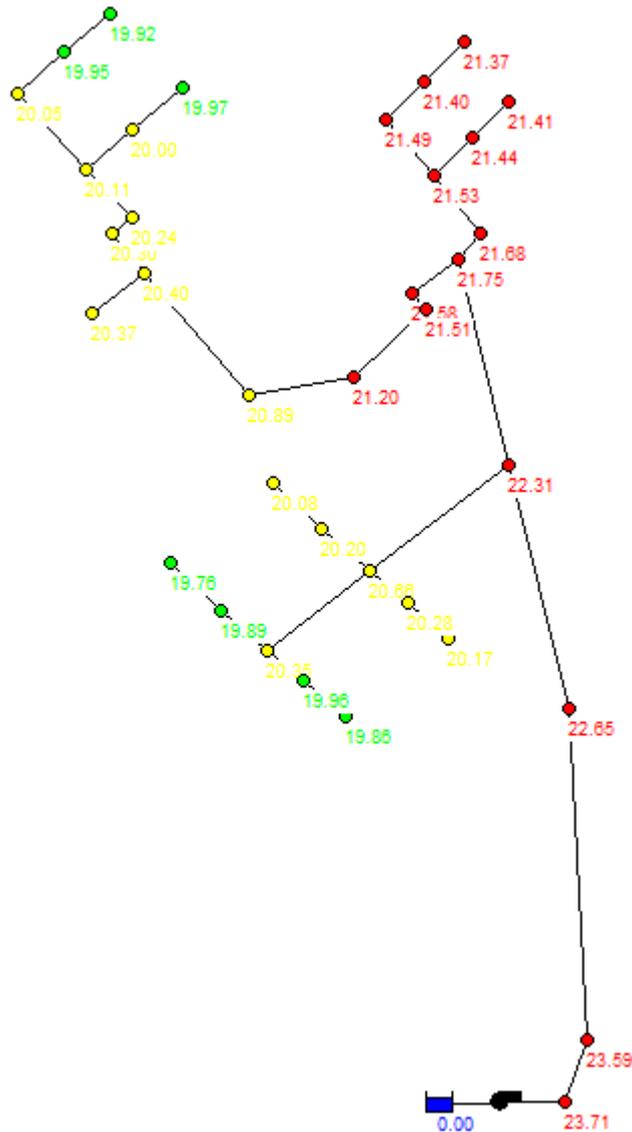
Establecidas las características de la bomba, existe la posibilidad de determinar las presiones que presenta cada nudo y verificando que son similares a las que se calculó mediante Excel.



**Figura 7-4:** Presión EPANET  
Realizado por: Alulema, I, 2022

#### 4.1.7 Altura piezométrica

En vista que el reservorio no posee una altura en relación a la red ramificada, tanto la presión como la altura piezométrica presentan los mismos valores. Se verificó cuantitativamente en Excel y ahora se comprueba mediante Epanet.



**Figura 8-4:** Altura piezométrica EPANET  
Realizado por: Alulema, I, 2022

#### 4.2 Simulación sistema electrónico

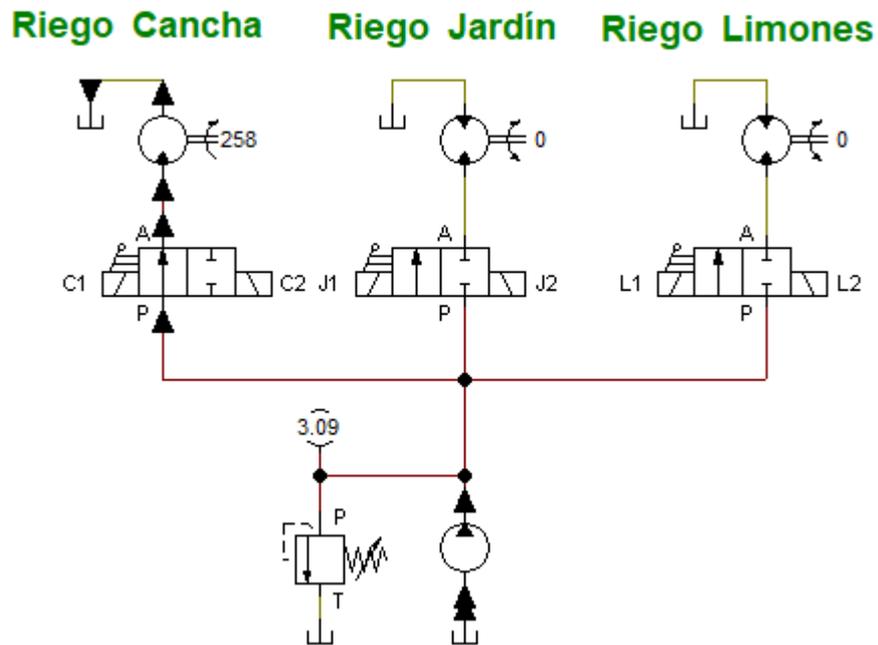
Con la ayuda del controlador Eco Logic se ha podido programar las tres estaciones de la hostería, obteniendo resultados positivos en la irrigación. Las primeras semanas el sistema ha funcionado adecuadamente sin la necesidad de que el operador realice un movimiento, pues desde el encendido de la bomba, la apertura, el cierre de las electroválvulas dentro de un determinado tiempo hasta el apagado de la bomba ha sido programado mediante el controlador.

#### 4.2.1 Simulación electroválvulas

Para la apertura y cierre de las tres electroválvulas del sistema se ha realizado un análisis de frecuencia y tiempo de irrigación. A continuación, se presenta los resultados de cada electroválvula que ha sido implementada.

##### 4.2.1.1 Electroválvula área canchas

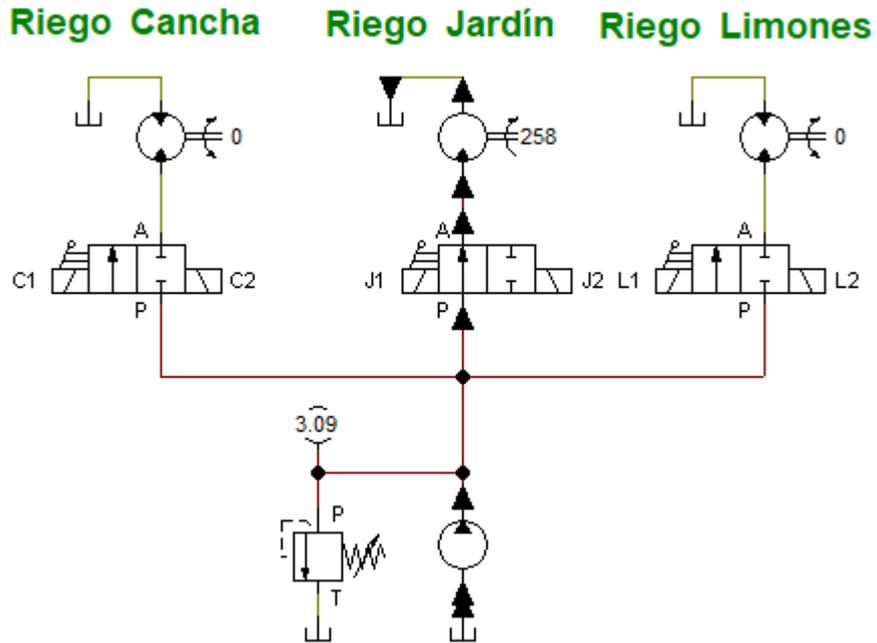
El área de las canchas requiere una irrigación de tres minutos en tres intervalos durante el día. Al programar la apertura de esta válvula se observa que la presión cumple con los requerimientos establecidos anteriormente.



**Figura 9-4:** Activación electroválvula para el riego de la cancha  
Realizado por: Alulema, I, 2022

##### 4.2.1.2 Electroválvula jardín 1

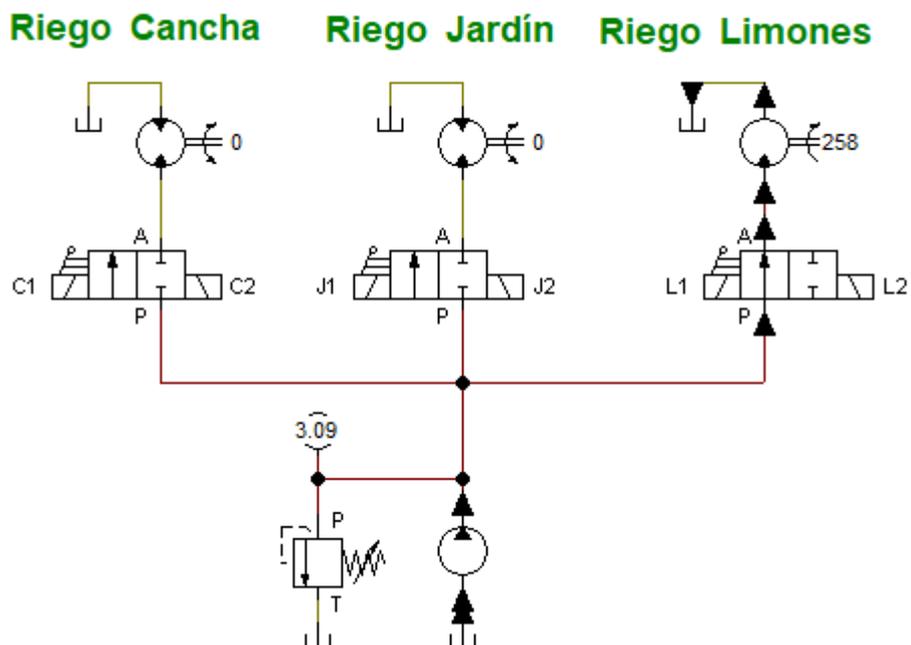
El área del primer jardín como cuenta con una sección reducida necesita mayor tiempo de riego que es de 6 minutos en un intervalo de tres veces al día. Se valida el valor de la presión de 20 mca al activar la vía de esta electroválvula.



**Figura 10-4:** Activación electroválvula para el riego del jardín 1  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

#### 4.2.1.3 Electroválvula jardín 2

El regadío en el segundo jardín requiere de un tiempo de 10 minutos en un intervalo de 3 veces en el día. Se visualiza que la presión cumple con lo establecido inicialmente.



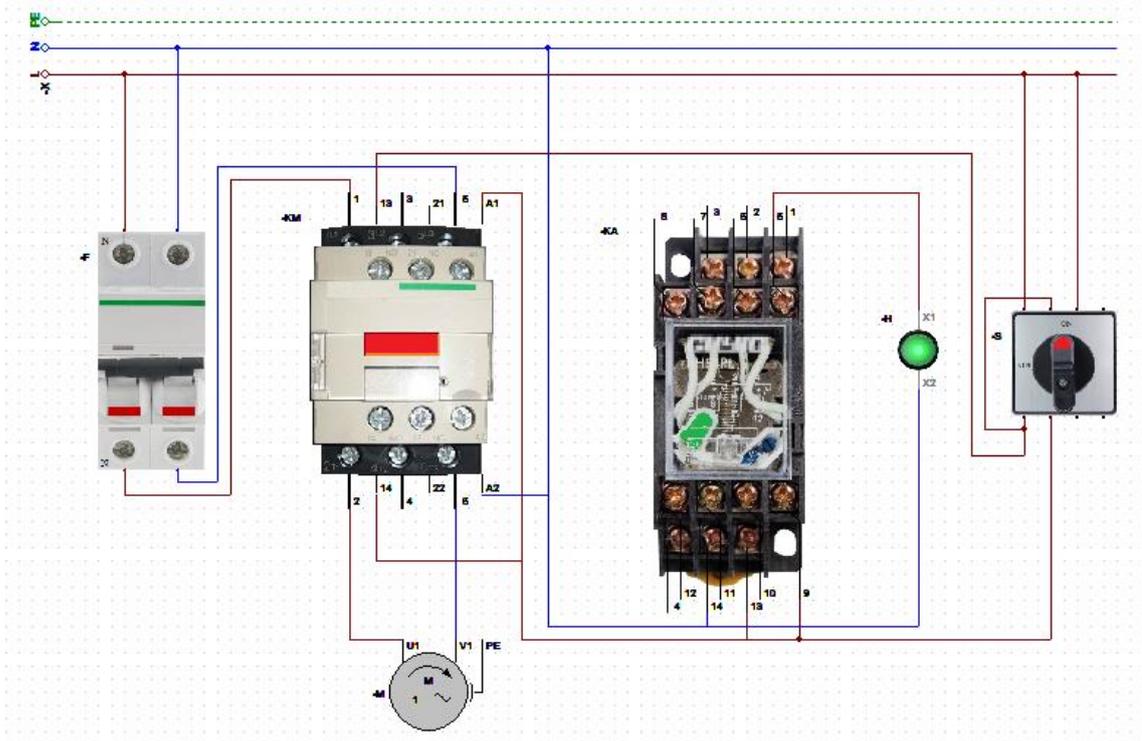
**Figura 11-4:** Activación electroválvula para el riego del jardín 2  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

### 4.3 Simulación sistema eléctrico

La validez del sistema eléctrico se lo realiza por medio del software CADeSimu, en donde se analiza los resultados obtenidos de la caja de control y de esta manera confirmar el sentido de giro del motor de la bomba hidráulica.

#### 4.3.1 Activación de la caja de control

Una vez encendido el sistema se puede visualizar el cambio de giro del motor monofásico que posee la bomba de agua, validando de esta manera el funcionamiento.



**Figura 12-4:** Funcionamiento del diagrama de mando del sistema  
Realizado por: Alulema, I, 2022

### 4.4 Análisis sistema fotovoltaico

Una vez seleccionados cada uno de los componentes del sistema renovable, el siguiente paso es conectarlo. En la figura 13-4 se puede observar el sistema fotovoltaico completo con un voltaje de corriente continua de 12 V.



**Figura 13-4:** Sistema fotovoltaico conectado  
 Realizado por: Alulema, I, 2022

La caja de control eléctrica cuenta con dos entradas, la una se conecta directamente a la fuente de energía del establecimiento y la otra al sistema fotovoltaico. Con esta instalación se pretende aprovechar una energía limpia y ecológica reduciendo de esta manera mensualmente costos por energía eléctrica y además considerar que es un sistema fácil de instalar con mantenimiento asequible.

## CONCLUSIONES

- Mediante la simulación realizada en Epanet se pudo verificar que tanto los valores de caudal y velocidad obtenidos en los tramos de tubería; así como la presión y altura piezométrica obtenidos en los puntos de consumo satisfacen con el criterio de la pendiente hidráulica analizado en Excel, garantizando de esta manera los 20 mca mínimos necesarios para no ocasionar un golpe de ariete en las tuberías y accesorios.
- Los datos que se ingresan en el editor de curva de Epanet que son de presión y caudal calculados anteriormente mediante el criterio de los mínimos cuadrados y, además, que se logran comprobar con la curva característica que facilita el catálogo de la bomba cumplen con los resultados en el diseño hidráulico, corroborando la correcta selección de la bomba de agua agrícola W3570 RL con una eficiencia de 42,75% en el sistema.
- Por medio de los softwares FluidSIM y CAdESIM se validó el funcionamiento electrónico y eléctrico del sistema, aprobando positivamente la selección del controlador y electroválvulas; así como la selección del voltaje y cableado del sistema.
- Partiendo del análisis de frecuencia y tiempo de irrigación se logró obtener la demanda energética que presenta el sistema, con esto se logró diseñar el panel fotovoltaico, batería, controlador e inversor. Resultó efectivo instalar este sistema de energía renovable que alimenta el sistema de bombeo y riego, obteniendo el funcionamiento total del sistema por medio de la energía solar y brindando un impulso al cuidado del medio ambiente.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el diseño de bombeo y riego por aspersión partiendo de la selección de aspersores (caudal y alcance) ubicándolos en función a un regadío equitativo y satisfaciendo los 20 mca en los puntos de consumo.
- Es recomendable seleccionar tuberías que cumplan criterios de velocidad y presión, pues de esta manera se evitará golpes de ariete y cavitación en los elementos.
- Al seleccionar la bomba, se recomienda que la potencia se encuentre sobreestimada en función a la potencia del fluido, por motivo de diseñar e instalar nuevas ramificaciones de tubería y accesorios en los espacios verdes de la hostería.
- Por razones de disponibilidad, instalación y programación es factible seleccionar un controlador de riego, de esta manera mediante una rápida explicación el usuario del establecimiento tendrá la capacidad de programar la irrigación realizando cambios si este lo requiera.
- En el diseño del sistema fotovoltaico, se recomienda hacer un análisis de frecuencia y tiempo de irrigación para conocer la demanda con el objetivo de hacer el respectivo análisis en la selección del panel fotovoltaico, controlador, inversor y batería; satisfaciendo las necesidades energéticas del sistema

## BIBLIOGRAFÍA

**BIRD, R.** *Landscape Irrigation Design Manual* [en línea]. Rain Bird, pp. 43-48. [Consulta: 14 de junio 2022]. Disponible en: <https://www.rainbird.com/sites2018-02/IrrigationDesignManual.pdf>.

**CAÑAS, J; et al.** Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego. *Facultad de Ciencias Agrarias*, (2010), (España) pp. 107-124.

**CERVANTES, A.** Determinación de la forma y dimensiones del bulbo húmedo en el riego subsuperficial para el cultivo de la caña de azúcar. *Ciencias técnicas y agropecuarias*, vol. 21, (2012), (Cuba) pp. 59-62.

**CISNEROS, R.** Riego y drenaje (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. México. 2003.

**FAO.** Poverty reduction and irrigated agriculture. *International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage*, (1999), (England) pp. 5-18.

**FERNANDEZ, R; et al.** *Manual de riego para agricultores: Fundamentos del riego*. Sevilla: Junta de Andalucía, 2010. ISBN 978-84-8474-133-6.

**FLORES, L.** Integración de incidentes a la metodología Scrumban para la administración efectiva de Proyectos de TI: El Caso de la Implementación en Sistemas Financieros en México (Trabajo de Titulación) (Maestría). Tecnológico de Monterrey. México. 2014.

**GUERRERO, S.** Catalogación de válvulas manuales, tuberías y accesorios en una planta papelera. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Autónoma Occidental, Colombia. 2020. pp. 27-39. [Consulta 11 de mayo 2022]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/1328/TME00463.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**HERAS, S.** *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona: Service Point, 2011. ISBN 978-84-7653-893-7.

**HOVSTADIUS, G; & BOLLES, S.** *Manual de optimización de sistemas de bombeo*. Colombia, 2018.

**HUERTA, E; et al.** *GPS Posicionamiento Satelital*. Argentina: UNR, 2005. ISBN 950-673-488-7.

**HUNTER.** *Manual de diseño de un sistema de riego residencial*. California: Hunter Industries Incorporated, 2013.

**KHAN, M.** Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Applied Energy. Science Direct*, vol. 86, (2009), pp. 1823-1825.

**LÓPEZ, J.** Calibración De Instrumentos De Medición De Flujo Para Conductos Cerrados [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de San Carlos, Guatemala. 2011. pp. 33.

[Consulta 10 de mayo 2022]. Disponible en:  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3300\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3300_C.pdf).

**MAGNE, F.** Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de Ingeniería Sanitaria 1 [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Mayor de San Simón, Bolivia. 2008. [Consulta 15 de mayo 2022]. <https://www.academia.edu/35016567/>.

**MARCHEGANI, A.** *Cavitación* [en línea]. [Consulta: 13 de junio 2022]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-tecnologica-nacional/ingenieria-civil-ii-int/cavitacion/5253915>.

**MARÍA, R; & FERREIRA, R.** *El desarrollo eólico en Brasil* [en línea]. [Consulta: 22 de julio 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/72046046.pdf>.

**MILLER, V.** *Ciencias Mecánicas: válvulas* [en línea]. [Consulta: 7 de junio 2022]. Disponible en: <https://industriasmiller.com/wp-content/uploads/manual-fundamentos.pdf>.

**MUKUND, R.** *Wind and solar power systems: Design, analysis, and operation* [en línea]. 2da edición. New York-USA, 2005. [Consulta 25 de junio 2022]. Disponible en: <https://diamoitruong.files.wordpress.com/2018/11/6-wind-and-solar-power-system-analysis.pdf>.

**NAVARRO, F.** Modelización de Transitorios Hidráulicos. Resolución numérica del Golpe de Ariete [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Jaume, 2019. [Consulta 12 de mayo 2022]. [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/190061/TFM\\_Navarro\\_y](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/190061/TFM_Navarro_y).

**NOVOA, J; et al.** Determining the efficiency of a mini photovoltaic solar panel: A laboratory experience in renewable energy. *Educación Química*, vol. 31, (2020), (Chile) pp. 22-37.

**PERALTA, J; & SIMPFENDÖRFER C.** *Riego por aspersión* [en línea]. [Consulta: 5 de mayo 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419>.

**PEREIRA, M; et al.** Estudio Técnico Del Uso De Energía Solar Y Biogás En Vehículos Eléctricos En Ilhabela-Brasil. *Ingenius*, (2018), (Ecuador) pp. 5-6.

**PILATASIG, E; & VALENZUELA, A.** Ubicación de paneles solares a la red de distribución de corriente continua de medio voltaje considerando cargas en DC. *ITECKNE*, vol. 18, (2021), pp. 132-140.

**RODRIGUEZ, M; & BUSTILLO, F.** *Manual de laboratorio de electrotecnia* [en línea]. Universidad de Cantabria. España, 2013. [Consulta: 3 de mayo 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=121164>.

**RODRIGUEZ, A; et al.** *Manual de Riego de Jardines. Riego por aspersión* [en línea]. [Consulta: 9 de julio 2022]. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/riegojardines.pdf>.

**SENNINGER, A.** *Catálogos* [en línea]. [Consulta 24 de abril 2022]. Disponible en: <https://www.senninger.com/es/catalogos>.

**TARJUELO, M.** *Riego por aspersión* [en línea]. Universidad de la República, pp. 20-44. [Consulta: 10 de junio 2022]. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Riego%20por%20aspersion.pdf>.

## ANEXOS

### ANEXO A: Aspersores Xcel-Wobbler

| Presión en la base del aspersor         |      |      |      |      |   |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|---|------|------|------|------|
| [psi]                                   | 10   | 15   | 20   | 25   | [bar]                                   | 0.69 | 1.03 | 1.38 | 1.72 |
| <b>Boquilla #6 - Dorada [3/32"]</b>     |      |      |      |      | <b>Boquilla #6 - Dorada [2.38mm]</b>    |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 0.78 | 0.95 | 1.1  | 1.23 | Caudal [L/hr]                           | 177  | 216  | 250  | 279  |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 36.5 | 41   | 45   | 46   | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 11.1 | 12.5 | 13.7 | 14   |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 32   | 35   | 38.5 | 41   | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 9.8  | 10.7 | 11.7 | 12.5 |
| <b>Boquilla #7 - Lima [7/64"]</b>       |      |      |      |      | <b>Boquilla #7 - Lima [2.78mm]</b>      |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 1.06 | 1.3  | 1.5  | 1.68 | Caudal [L/hr]                           | 241  | 295  | 341  | 382  |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 40   | 46.5 | 47   | 50.5 | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 12.2 | 14.2 | 14.3 | 15.4 |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 33   | 36.5 | 40.5 | 41   | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 10.1 | 11.1 | 12.4 | 12.5 |
| <b>Boquilla #8 - Lavanda [1/8"]</b>     |      |      |      |      | <b>Boquilla #8 - Lavanda [3.18mm]</b>   |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 1.4  | 1.71 | 1.98 | 2.21 | Caudal [L/hr]                           | 318  | 388  | 450  | 502  |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 42   | 46.5 | 47   | 51.5 | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 12.8 | 14.2 | 14.3 | 15.7 |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 34   | 38.5 | 41   | 42.5 | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 10.4 | 11.7 | 12.5 | 13   |
| <b>Boquilla #9 - Gris [7/64"]</b>       |      |      |      |      | <b>Boquilla #9 - Gris [3.57mm]</b>      |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 1.8  | 2.2  | 2.54 | 2.84 | Caudal [L/hr]                           | 409  | 500  | 577  | 645  |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 44   | 47   | 50.5 | 52.5 | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 13.4 | 14.3 | 15.4 | 16   |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 34.5 | 40.5 | 42   | 43   | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 10.5 | 12.4 | 12.8 | 13.1 |
| <b>Boquilla #10 - Turquesa [5/32"]</b>  |      |      |      |      | <b>Boquilla #10 - Turquesa [3.97mm]</b> |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 2.22 | 2.72 | 3.14 | 3.51 | Caudal [L/hr]                           | 504  | 618  | 713  | 797  |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 44.5 | 49   | 50.5 | 53.5 | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 13.6 | 14.9 | 15.4 | 16.3 |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 36   | 41   | 42.5 | 44   | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 11   | 12.5 | 13   | 13.4 |
| <b>Boquilla #11 - Amarilla [11/64"]</b> |      |      |      |      | <b>Boquilla #11 - Amarilla [4.37mm]</b> |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 2.69 | 3.3  | 3.81 | 4.26 | Caudal [L/hr]                           | 611  | 749  | 865  | 968  |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 44.5 | 50.5 | 51.5 | 54   | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 13.6 | 15.4 | 15.7 | 16.5 |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 36   | 41.5 | 43   | 44   | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 11   | 12.7 | 13.1 | 13.4 |
| <b>Boquilla #12 - Roja [3/16"]</b>      |      |      |      |      | <b>Boquilla #12 - Roja [4.76mm]</b>     |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 3.23 | 3.96 | 4.57 | 5.11 | Caudal [L/hr]                           | 734  | 899  | 1038 | 1161 |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 46   | 50.5 | 52   | 54.5 | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 14   | 15.4 | 15.9 | 16.6 |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 36.5 | 41.5 | 44.5 | 44.5 | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 11.1 | 12.7 | 13.6 | 13.6 |
| <b>Boquilla #13 - Blanca [13/64"]</b>   |      |      |      |      | <b>Boquilla #13 - Blanca [5.16mm]</b>   |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 3.8  | 4.65 | 5.38 | 6.01 | Caudal [L/hr]                           | 863  | 1056 | 1222 | 1365 |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 46.5 | 51   | 52.5 | 55.5 | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 14.2 | 15.6 | 16   | 16.9 |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 36.5 | 41.5 | 44.5 | 45   | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 11.1 | 12.7 | 13.6 | 13.7 |
| <b>Boquilla #14 - Azul [7/32"]</b>      |      |      |      |      | <b>Boquilla #14 - Azul [5.56mm]</b>     |      |      |      |      |
| Caudal [gpm]                            | 4.4  | 5.39 | 6.23 | 6.97 | Caudal [L/hr]                           | 999  | 1224 | 1415 | 1583 |
| HA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 47   | 51   | 53   | 55.5 | HA Diám. a 0.46m alt [m]                | 14.3 | 15.6 | 16.2 | 16.9 |
| MA Diám. a 1.5' alt [pies]              | 37   | 42.5 | 45   | 46.5 | MA Diám. a 0.46m alt [m]                | 11.3 | 13   | 13.7 | 14.2 |

**ANEXO B: Espesores nominales tubería PVC**

| Diámetro Nominal (mm) | Serie del tubo (S)    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       | 25                    | 20   | 16   | 12,5 | 10,0 | 8    | 6,3  | 5    | 4    | 3,2  |
|                       | Presión nominal (MPa) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       | 0,5                   | 0,63 | 0,8  | 1    | 1,25 | 1,6  | 2    | 2,5  | 3,15 | 4,0  |
| 10                    | -                     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1,4  |
| 12                    | -                     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1,4  | 1,7  |
| 16                    | -                     | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1,5  | 1,8  | 2,2  |
| 20                    | -                     | -    | -    | -    | -    | -    | 1,5  | 1,9  | 2,3  | 2,8  |
| 25                    | -                     | -    | -    | -    | -    | 1,5  | 1,9  | 2,3  | 2,8  | 3,5  |
| 32                    | -                     | -    | -    | -    | 1,6  | 1,9  | 2,4  | 2,9  | 3,6  | 4,4  |
| 40                    | -                     | -    | -    | 1,6  | 1,9  | 2,4  | 3,0  | 3,7  | 4,5  | 5,5  |
| 50                    | -                     | -    | 1,6  | 2,0  | 2,4  | 3,0  | 3,7  | 4,6  | 5,6  | 6,9  |
| 63                    | -                     | 1,6  | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 3,8  | 4,7  | 5,8  | 7,1  | 8,6  |
| 75                    | 1,5                   | 1,9  | 2,3  | 2,9  | 3,6  | 4,5  | 5,6  | 6,8  | 8,4  | 10,3 |
| 90                    | 1,8                   | 2,2  | 2,8  | 3,5  | 4,3  | 5,4  | 6,7  | 8,2  | 10,1 | 12,3 |
| 110                   | 2,2                   | 2,7  | 3,4  | 4,2  | 5,3  | 6,6  | 8,1  | 10,0 | 12,3 | 15,1 |
| 125                   | 2,5                   | 3,1  | 3,9  | 4,8  | 6,0  | 7,4  | 9,2  | 11,4 | 14,0 | 17,1 |
| 140                   | 2,8                   | 3,5  | 4,3  | 5,4  | 6,7  | 8,3  | 10,3 | 12,7 | 15,7 | 19,2 |
| 160                   | 3,2                   | 4,0  | 4,9  | 6,2  | 7,7  | 9,5  | 11,8 | 14,6 | 17,9 | 21,9 |
| 180                   | 3,6                   | 4,4  | 5,5  | 6,9  | 8,6  | 10,7 | 13,3 | 16,4 | 20,1 | 24,6 |
| 200                   | 3,9                   | 4,9  | 6,2  | 7,7  | 9,6  | 11,9 | 14,7 | 18,2 | 22,4 | 27,4 |
| 225                   | 4,4                   | 5,5  | 6,9  | 8,6  | 10,8 | 13,4 | 16,6 | 20,5 | 25,2 | -    |
| 250                   | 4,9                   | 6,2  | 7,7  | 9,6  | 11,9 | 14,8 | 18,4 | 22,7 | 27,9 | -    |
| 280                   | 5,6                   | 6,9  | 8,6  | 10,7 | 13,4 | 16,6 | 20,6 | 25,4 | -    | -    |
| 315                   | 6,3                   | 7,7  | 9,7  | 12,1 | 15,0 | 18,7 | 23,2 | 28,6 | -    | -    |
| 355                   | 7,0                   | 8,7  | 10,9 | 13,6 | 16,9 | 21,1 | 26,1 | -    | -    | -    |
| 400                   | 7,9                   | 9,8  | 12,3 | 15,3 | 19,1 | 23,7 | 29,4 | -    | -    | -    |
| 450                   | 8,8                   | 11,0 | 13,8 | 17,2 | 21,5 | 26,7 | 33,1 | -    | -    | -    |
| 500                   | 9,8                   | 12,3 | 15,3 | 19,1 | 23,9 | 29,7 | 36,8 | -    | -    | -    |
| 560                   | 11,0                  | 13,7 | 17,2 | 21,4 | 26,7 | 33,2 | -    | -    | -    | -    |
| 630                   | 12,3                  | 15,4 | 19,3 | 24,1 | 30,0 | 37,4 | -    | -    | -    | -    |
| 710                   | 13,9                  | 17,4 | 21,8 | 27,2 | 33,9 | -    | -    | -    | -    | -    |
| 800                   | 15,7                  | 19,6 | 24,5 | 30,6 | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 900                   | 17,6                  | 22,0 | 27,6 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 1 000                 | 19,6                  | 24,5 | 30,6 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |

NOTA 1. Coeficiente de diseño (C) igual a 2, esfuerzo hidrostático de diseño de 12,5 MPa.

NOTA 2. Los espesores nominales de tubería se obtienen de las tablas de espesores universales de NTE INEN-ISO 4065 en función de la serie del tubo y el diámetro nominal. El cálculo de espesores de tubo se realiza de acuerdo con NTE INEN-ISO 4065.

NOTA 3. La serie 25 no aplica para uso en sistemas de agua potable.

## ANEXO C: Válvula universal PVC

### VÁLVULA DE UNA UNIVERSAL (PVC)



- Presión de trabajo 1 MPa (145psi)
- Disponible de 1/2" a 2" para rosca tipo NPT
- Disponible de 20mm a 90mm para cementado solvente

EN CRUZ: CERRADO

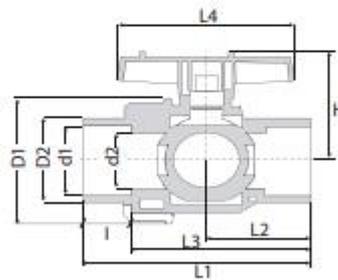


EN PERFIL: ABIERTO



La solución ideal para diseñar y sustituir daños producidos de válvulas metálicas en los sistemas a presión.

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



| Dimensiones:                    | 1/2"  | 3/4"  | 1"     | 1 1/4" | 1 1/2" | 2"     |
|---------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| d2 (mm)                         | 14,00 | 19,00 | 24,00  | 32,00  | 40,00  | 45,00  |
| d1 (mm)                         | 21,34 | 26,67 | 33,40  | 42,16  | 48,26  | 60,40  |
| D2 (mm)                         | 26,40 | 31,30 | 38,00  | 49,00  | 60,80  | 74,00  |
| D1 (mm)                         | 49,50 | 65,50 | 73,70  | 86,60  | 102,00 | 120,00 |
| l (mm)                          | 22,00 | 22,00 | 24,00  | 28,50  | 34,00  | 40,00  |
| L1 (mm)                         | 87,00 | 96,50 | 107,00 | 123,40 | 145,50 | 176,30 |
| L2 (mm)                         | 29,00 | 43,00 | 49,50  | 57,00  | 68,50  | 82,00  |
| L3 (mm)                         | 66,00 | 74,00 | 82,00  | 94,00  | 110,00 | 132,00 |
| L4 (mm)                         | 65,00 | 80,00 | 85,00  | 97,10  | 116,70 | 134,00 |
| H (mm)                          | 52,50 | 58,50 | 68,00  | 79,00  | 91,00  | 106,00 |
| Hilos/Pulgada<br>(Hilos/25,4mm) | 14,00 | 14,00 | 11,50  | 11,50  | 11,50  | 11,50  |

## ANEXO D: Válvula de pie

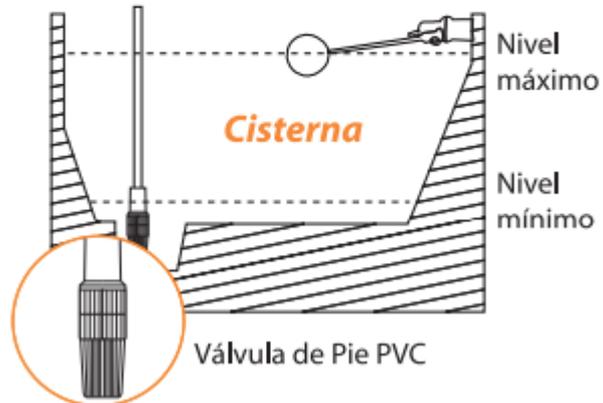
### VÁLVULA DE PIE (PVC)



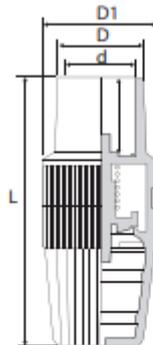
- Presión de trabajo 1 MPa (145psi)
- Disponible en 1" a 2"
- Rosca NPT

#### Aplicaciones

Cisternas, pozos, lagunas, para la succión de la bomba



#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



| Tamaño nominal               | 1"     | 1 1/4" | 1 1/2" | 2"     |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Dimensiones:                 |        |        |        |        |
| L (mm)                       | 41,60  | 49,00  | 60,80  | 73,10  |
| D (mm)                       | 54,00  | 68,00  | 77,60  | 77,60  |
| D1 (mm)                      | 176,00 | 188,00 | 218,00 | 218,00 |
| d (mm)                       | 33,40  | 42,16  | 48,26  | 60,40  |
| Hilos/Pulgada (Hilos/25.4mm) | 11,50  | 11,50  | 11,50  | 11,50  |

## ANEXO E: Bomba de agua agrícola 2Hp W4075H

### CARACTERÍSTICAS

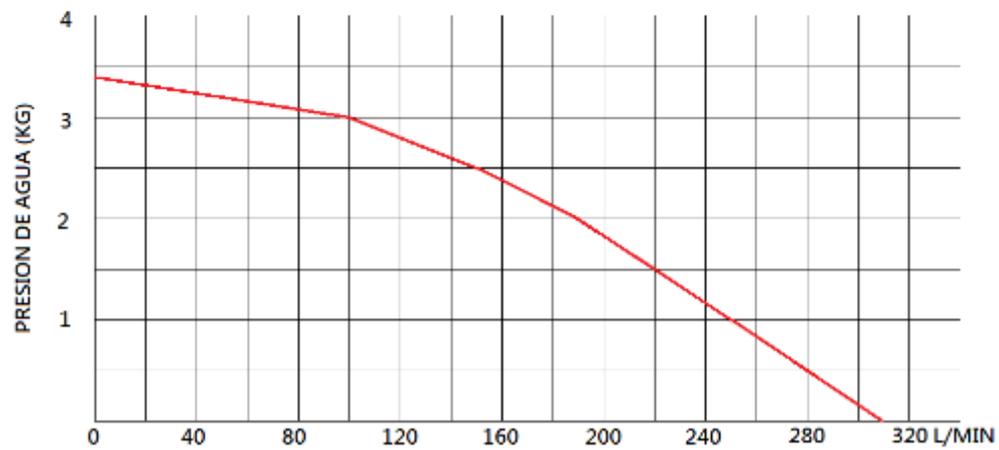
MOTOR: 2HP 60HZ 3450R.P.M.  
VOLTAGE: 110/220V MONOFASICO  
SUCCION: 9 METROS  
AMPERIO: 28A/14A  
SALIDA/ ENTRADA: 2"

### REPUESTOS PARA ESTA MAQUINA

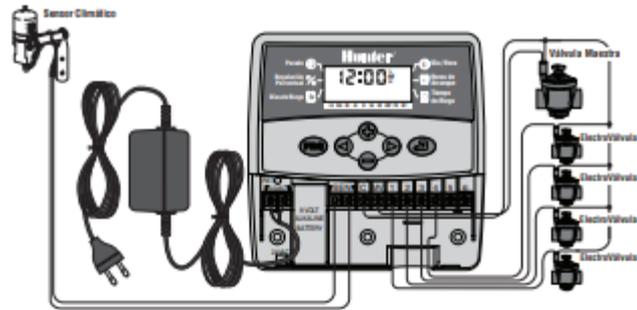
CONDENSO PARA BOMBA: 400UF/125V  
TURBINA: TUR-W4075H  
PORTA TURBINA: P-TUR-W4075

### DATOS TECNICOS

|         |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| (KG)    | 0,0 | 0,7 | 1,5 | 2,0 | 2,1 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| (L/MIN) | 305 | 281 | 230 | 190 | 188 | 151 | 85  | 0   |



## Manual de usuario e instrucciones de programación

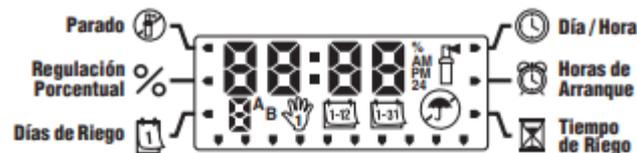


### Instrucciones de instalación

Extraiga la cubierta de acceso inferior. Coloque un tornillo en la pared y cuelgue el programador por el orificio de la parte posterior. Fije el programador con uno o más tornillos debajo de la regleta de terminales. Se debe conectar un cable de cada solenoide al terminal C (cable común). El otro cable de cada solenoide irá conectado a su número correspondiente de la regleta de terminales. Conecte los cables del transformador a la regleta de terminales de 24 VCA. Una los dos cables del sensor (si se requiere) con los terminales SEN. Conecte una pila alcalina de 9 voltios (no incluida) a los bornes de la conexión de la pila. Enchufe el transformador a la toma de corriente más cercana.

### Funciones de la Pantalla

- 🕒 **Hora/Día actuales** – Fija el día y la hora actuales.
- 🕒 **Horas de inicio** – Fija de 1 a 4 horas de inicio por cada programa.
- 🕒 **Tiempos de riego** – Fija el tiempo de riego de la estación desde 1 minuto a 4 horas.
- 📅 **Días de riego** – Selecciona días específicos de riego, días pares/impares, o un número determinado de días entre riegos (intervalo).
- 📊 **Ajuste estacional** – Modifica los tiempos de riego según las estaciones del año sin tener que volver a programar el programador
- 🛑 **Sistema apagado** – Detiene todo el riego automático.
- 🏷️ **Identificador de programa** – Identifica el programa en uso (A o B).
- 🚿 **Aspersor intermitente** – Indica que se está produciendo el riego.
- ☔ **Paraguas** – Indica que el pluviómetro ha suspendido el riego.
- ☔ **Paraguas tachado** – Indica que el pluviómetro ha sido desviado manualmente
- 📅 **1-12** – Identifica el mes en el que se programa la fecha actual.
- 📅 **1-31** – Identifica el día en el que se programa la fecha actual.
- 👉 **Una estación Manual** – Indica el riego de una estación una sola vez.
- 👉 **Todas las estaciones Manual** – Indica la activación del riego de todas las estaciones seleccionadas manualmente.



### Teclas de control

- ➕ **Tecla** – Aumenta el elemento en pantalla.
- ➖ **Tecla** – Diminuye el elemento en pantalla.
- ➡ **Tecla** – Avanza hasta la tecla siguiente.
- ⏪ **Tecla** – Retrocede hasta la tecla anterior.
- 🏷️ **Tecla** – Selecciona programa A o B según las diferentes necesidades de riego.
- 🔄 **Tecla de Modo** – Avanza por las funciones de programación.

### Programación del programador

Un programa de riego se basa en tres parámetros principales:

**1)** Una hora de inicio del programa; **2)** la duración del riego por cada estación; **3)** Los días en los cuales tiene lugar el riego. Un programa pondrá en funcionamiento todas las estaciones que tiene asignadas por orden. Los programas son independientes y las estaciones se pueden asignar a los dos programas.

### Configuración del día y la hora actuales

1. Pulse la tecla de modo  hasta que la flecha señale la posición Hora/Día Actuales.
2. El año se pondrá intermitente. Use las teclas  o  para modificar el año. Pulse la tecla  acceder a la configuración del mes.
3. El mes se pondrá intermitente y se mostrará el icono . Use las teclas  o  para modificar el mes. Pulse la tecla  para acceder a la configuración el día.
4. El día se pondrá intermitente y se mostrará el icono . Use las teclas  o  para modificar el día. Pulse la tecla  para acceder a la configuración la hora.
5. La hora se pondrá intermitente. Use las teclas  o  para seleccionar AM o PM, o 24 horas. Pulse la tecla  para configurar el espacio para la hora.
  
6. Las horas se pondrán intermitentes. Use las teclas  o  para cambiar las horas mostradas. Pulse la tecla  para acceder a la configuración de los minutos.
7. Pulse las teclas  o  para cambiar los minutos mostrados. La fecha, el día y la hora ya están configurados.

### Configuración de la(s) hora(s) de inicio del programa



**NOTA:** una sola hora de inicio activará todas las estaciones por orden. Esto elimina la necesidad de introducir la hora de inicio de cada estación. Se pueden usar múltiples horas de inicio de un programa para separar ciclos de riego de mañana, tarde o noche.

1. Pulse la tecla de modo  hasta que la flecha señale las horas de inicio .
2. Se mostrará el programa A (si desea el programa B, pulse la tecla .
3. Use las teclas  o  para modificar la hora de inicio.
4. Pulse la tecla  para agregar una hora de inicio adicional, o la tecla  para pasar al programa siguiente.

### Cancelación de una hora de inicio del programa

Con la flecha señalando las horas de inicio, pulse las teclas  o  hasta llegar a las 12:00 AM. Pulse la tecla  una vez para llegar a la posición OFF (apagado).

### Configuración de los tiempos de riego de la estación

1. Pulse la tecla  hasta que la flecha señale Tiempos de Riego .
2. Pulse la tecla  para seleccionar un programa (A o B).
3. Pulse la tecla  o  para modificar el tiempo de riego de la estación, desde 1 minuto a 4 horas. Pulse la tecla  para avanzar a la estación siguiente.

### Configuración de los días de riego

1. Pulse la tecla de modo  hasta que la flecha señale Días de Riego .
2. Pulse la tecla  para seleccionar el programa deseado.
3. Las flechas señalan los días de la semana en los que el riego debe tener lugar. Pulse la tecla  para activar ese día o la tecla  para cancelar el riego de ese día.

### Selección de días pares o impares para el riego

Esta función utiliza la numeración de los días del mes en vez de los días de la semana (días impares: 1, 3, 5, etc; días pares: 2, 4, 6, etc).

1. Una vez en el modo Días de Riego, pulse  hasta que el cursor se coloque encima de PAR o IMPAR, en la pantalla.
2. Pulse la tecla  para realizar la selección o la tecla  para cancelar el riego en los días PARES o IMPARES.

### Selección de intervalos de riego

Puede seleccionar riego por intervalos de 1 a 31 días.

1. Una vez en el modo Días de Riego, pulse la tecla  hasta que el cursor se coloque encima de INT. Pulse la tecla  y el símbolo de riego por intervalo  se visualizará, y un 1 se pondrá intermitente.
2. Pulse las teclas  o  para seleccionar el número de días entre días de riego (de 1 a 31 días). Este valor se llama intervalo.

El programador regará según el programa seleccionado a la siguiente hora de inicio y luego regará en el intervalo programado.

### Ajuste estacional %

El ajuste estacional se usa para modificar totalmente los tiempos de riego sin tener que volver a programar todo el programador.

1. Pulse la tecla  hasta que la flecha señale Ajuste Estacional %.
2. Pulse las teclas  o  para regular el porcentaje del ajuste estacional de 10% a 150%.



**NOTA: el programador siempre debe ser programado inicialmente en la posición 100%.**

### Sistema apagado

Para apagar el programador, pulse la tecla  hasta que la flecha señale Sistema Apagado . Espere 2 segundos y se podrá leer en pantalla OFF (apagado). Las electroválvulas en funcionamiento se apagarán. Todos los programas activos serán interrumpidos y se detendrá el riego. Para volver a poner el programador en funcionamiento automático normal, sólo tienen que pulsar la tecla  una vez. Se visualizarán la hora y el día actuales.

### Sistema programable apagado

Esta función detendrá todos los riegos programados durante un período de tiempo definido, que abarca entre 1 y 7 días. Tras el período de paro programado, el programador reanudará el riego programado automáticamente.

1. Pulse la tecla  hasta que la flecha se coloque junto a la función del Sistema Apagado.
2. Espere 2 segundos hasta que se muestre OFF (apagado).
3. Pulse la tecla  para fijar el número de días apagados (hasta 7).

### Riego automático

Al término de la fase de programación, pulse la tecla  hasta que se visualice la hora. Eso habilitará la ejecución automática de todos los programas de riego y las horas de inicio seleccionadas.

### Riego Manual – Todas las estaciones

Todas las Estaciones Manual permite el funcionamiento por orden de todas las electroválvulas asignadas a un programa

1. Pulse y mantenga pulsada la tecla  durante tres segundos. El símbolo  se mostrará junto con la letra de programa. También se podrá ver el número de estación.
2. Seleccione el programa pulsando la tecla .
3. Use las teclas  o  para seleccionar el tiempo durante el cual la estación va a regar, si es diferente del tiempo de riego mostrado.
4. Pulse la tecla  para pasar a la estación siguiente
5. Repita los pasos 3 y 4 hasta llegar a la estación en la que desea que comience el riego.

Después de 2 segundos de inactividad, comenzará el riego manual y pasará por todas las electroválvulas del programa. Una vez finalizado el riego manual, el programador volverá automáticamente al modo automático, sin que eso modifique el programa fijado previamente

### Riego Manual – Una Estación

La función una estación manual permite el funcionamiento de una sola electroválvula.

### Derivación del Sensor

Es posible derivar el sensor para permitir el funcionamiento manual en los casos en que el sensor haya desactivado el sistema.

1. Pulse la tecla  durante dos segundos y se mostrará .
2. Pulse la tecla  para derivar el pluviómetro. Se mostrará en pantalla .

### Borrar la memoria del programador/ restablecimiento del programador (RESET)

Si cree que puede haber programado el programador equivocadamente, existe un procedimiento que restablecerá la memoria a los valores predeterminados de fábrica y borrará todos los programas y datos introducidos en el programador.

1. Pulse y mantenga pulsadas las teclas , , y .
2. Pulse y suelte la tecla de reposición ("reset") situada en el compartimento de cableado inferior.
3. Espere 2 segundos y suelte las teclas , , y . La pantalla mostrará 12:00 am. Se han borrado de la memoria todos los datos programados y ahora ya puede volver a programar el programador.

### Dispositivo de diagnóstico Quick Check de Hunter

Esta función permite diagnosticar rápidamente los problemas de cableado del programador.

1. Pulse las teclas , , , y  simultáneamente. En el modo "standby", en la pantalla LCD se podrán ver todos los segmentos.

- Pulse la tecla **+** una vez para iniciar el procedimiento Quick Check. En pocos segundos el sistema realiza una búsqueda en todas las estaciones de posibles problemas en los circuitos. Cuando se detecta una discontinuidad del cableado del terreno se mostrará en pantalla momentáneamente un símbolo de ERR precedido del número de estación correspondiente.

### Modo de programa : limitado/normal/avanzado

Se puede programar el programador para que disponga de más o menos Programas Independientes, con un máximo de tres: programa A, B, y C.

- Pulse y mantenga pulsada la tecla **+**. Mientras tiene pulsado la tecla **+** pulse la tecla **PROG**.
- Suelte las teclas **+** y la tecla **PROG**.
- Use la tecla **+** o **-** para cambiar los modos de programa:  
 Modo limitado: 1 programa (A)/1 tiempo de arranque  
 Modo normal: 2 programas (A y B)/4 tiempos de arranque  
 Modo avanzado: 3 programas (A, B y C)/4 tiempos de arranque

### Especificaciones de funcionamiento

- 2 programas independientes de riego
- Tiempo de riego de las estaciones: de 0 a 4 horas en incrementos de 1 minuto.
- Horas de inicio: 4 al día, por programa hasta un máximo de 12 inicios diarios.
- Programación de riego: 365 días naturales, días pares o impares o programación por intervalos (de 1 a 31 días).
- Funcionamiento de arranques manual.
- Ajuste estacional (de 10% a 150%).
- Retraso por lluvia programable (de 1 a 7 días).

### Especificaciones eléctricas

- Entrada de transformador: 230VCA 50/60 Hz.
- Salida de transformador: 24VCA 0.625 amp.
- Salida de la estación: 0.56 amp.
- Pila de 9 voltios (no incluida) para contador horario de seguridad.
- Protección contra cortocircuitos electrónicos.
- Memoria no volátil para programar datos.
- Homologación CE.

### Certificado de conformidad con las normativas europeas

Hunter Industries declara que el programador de riego modelo Eco-Logic cumple las normativas del reglamento europeo en materia de "compatibilidad electromagnética" 87/336/EEC y "baja tensión" 73/23/EEC.

| PROBLEMA  | CAUSAS   | SOLUCIONES   |
|---|--|--|
| La pantalla muestra riego en curso pero no sucede nada.   | Electroválvula defectuosa o mal conectada.<br>Bomba o relé de la bomba defectuosos.<br>El agua no llega con presión al sistema.  | Compruebe la electroválvula y su conexión correspondiente.<br>Compruebe la bomba y el relé de la bomba. Sustituya si están defectuosos.<br>Active el suministro de agua del sistema principal.                                       |
| La pantalla que muestra la hora del día parpadea.   | Se acaba de activar la unidad por primera vez.<br>Se ha producido un corte de electricidad prolongado y ha descargado la pila de seguridad.  | Configure la hora / fecha.<br>Sustituya la pila y vuelva a programar el programador.   |
| La electroválvula no se activa.   | Cortocircuito en las conexiones del cableado.<br>Solenoides defectuosos.   | Compruebe el cableado por posibles cortos o malas conexiones.<br>Sustituya el solenoide.   |
| La pantalla muestra "ERR" con un número (1-6).  | Cortocircuito en el circuito de cableado de la electroválvula o solenoide defectuoso en la estación indicada.  | Compruebe el circuito de cableado o solenoide por el número de electroválvula indicado. Repare el cortocircuito o sustituya el solenoide. Pulse cualquier tecla para eliminar "ERR" de la pantalla.                                  |
| La pantalla muestra "P ERR".  | Relé de la bomba o cableado de la válvula maestra defectuoso.<br>Relé de la bomba incompatible o defectuoso.   | Compruebe el cableado al relé o al solenoide de la válvula maestra. Pulse cualquier tecla para borrar "P ERR" de la pantalla.<br>Compruebe las especificaciones eléctricas del relé de la bomba. Cambie en caso de estar defectuoso. |
| En la pantalla aparece "no CA".   | No hay Corriente Alterna.  | Asegúrese de que esté encendido. Compruebe que el transformador esté instalado correctamente.  |
| El Pluviómetro no detiene el riego.   | Pluviómetro defectuoso o mal conectado.<br>No se ha extraído el puente   | Compruebe el funcionamiento y el cableado del sensor.<br>Extraiga el puente.   |
| Pantalla congelada o con información incorrecta.  | Picos de tensión.  | Restablezca el programador en "Borrado de memoria del programador/Restablecimiento del programador".   |
| El riego automático no arranca a la hora de inicio y el programador no está en el modo Sistema Apagado. | No se ha fijado correctamente AM / PM de la hora del día.<br>No se ha fijado correctamente AM / PM de la hora de inicio.<br>La hora de inicio está inhabilitada (en apagado).<br>El programador no recibe corriente. | Corrija AM/PM de la hora del día.<br>Corrija AM/PM de la hora de inicio.<br>Ver "Configuración de las horas de inicio del riego".<br>Compruebe las conexiones de electricidad.   |
| El programador riega la misma zona más de una vez/el programador repite el ciclo continuamente.         | Se han instalado demasiadas horas de inicio en el programa (error de usuario), solapando las horas de arranque.  | Una hora de inicio activa un ciclo completo. Ver "Configuración de las horas de inicio del riego".   |

## ANEXO G: Electroválvula CEPEX

### ELECTROVÁLVULAS CPV

|                       |  |
|-----------------------|--|
| APLICACIÓN            | Residencial, comercial, agrícola   |
| MEDIDAS               | 3/4", 1", 1 1/2", 2", 3" BSP hembra  |
| OPCIONES              | 24 VAC / 9 V latch   |
| CAUDAL MÍNIMO         | 0,5 m <sup>3</sup> /h  |
| PRESIÓN DE TRABAJO    | 0,7 - 10 bar   |
| MATERIAL              | Nylon reforzado  |
| CONTROL               | Eléctrico - solenoide 2 vías   |
| CONTROL DE CAUDAL     | SI   |
| OTRAS CARACTERÍSTICAS | Sin tubos ni accesorios externos<br>Construcción compacta<br>Cierre por tornillos<br>Orificio auto-limpiante |



3/4" - 1"

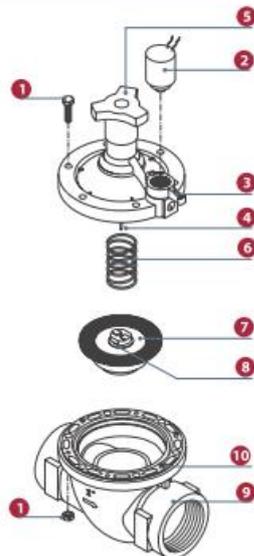


1"1/2-2"



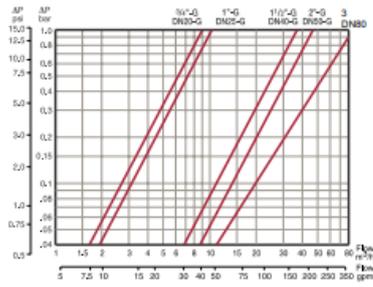
3"

### COMPONENTES



| COMPONENTE                                | MATERIAL         |
|---|------------------|
| 1 Tornillos y tuercas                     | Acero inoxidable |
| 2 Solenoide                               |                  |
| 3 Palanca de apertura manual              |                  |
| 4 Aguja                                   |                  |
| 5 Control de caudal                       |                  |
| 6 Resorte (muelle) de cierre auxiliar     | Acero inoxidable |
| 7 Diafragma                               | NBR              |
| 8 Restricción interna                     |                  |
| 9 Cuerpo                                  | Nylon reforzado  |
| 10 Salida del circuito de control interno |                  |

## DIAGRAMA DE FLUJO



## Pérdida de presión

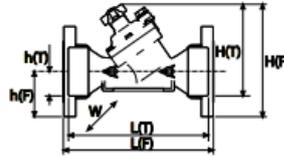
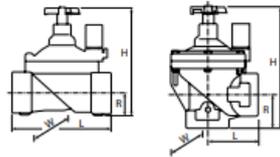
|    | 3/4"  | 1"   | 1 1/2" | 2"   | 3"   |
|----|-------|------|--------|------|------|
| 2  | 0,06  | 0,04 |        |      |      |
| 3  | 0,125 | 0,09 |        |      |      |
| 4  | 0,2   | 0,15 |        |      |      |
| 5  | 0,3   | 0,25 |        |      |      |
| 6  | 0,5   | 0,35 |        |      |      |
| 7  | 0,7   | 0,5  | 0,04   |      |      |
| 8  | 0,8   | 0,6  | 0,05   |      |      |
| 9  | 1,0   | 0,7  | 0,07   | 0,04 |      |
| 10 |       | 1,0  | 0,09   | 0,05 |      |
| 15 |       |      | 0,175  | 0,1  | 0,06 |
| 20 |       |      | 0,3    | 0,2  | 0,1  |
| 30 |       |      | 0,7    | 0,4  | 0,2  |
| 40 |       |      |        | 0,7  | 0,3  |
| 50 |       |      |        |      | 0,4  |

## PÉRDIDAS DE CARGA

|           | DN20 - 3/4" | DN25 - 1" | DN40 - 1 1/2" | DN50 - 2" | DN80 - 3" |
|-----------|-------------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| Kv (m3/h) | 9           | 10,5      | 37            | 47        | 100       |

Valor de KV:  
El caudal V (flujo de agua) en m3/h a temperatura de 5 a 30 °C, que pasa a través de la válvula con una pérdida de presión de  $\Delta p = p_1 - p_2 = 1$  bar

## DIMENSIONES



|            | DN20 | DN25 | DN40 | DN50 |
|------------|------|------|------|------|
| L (mm)     | 110  | 110  | 160  | 170  |
| H (mm)     | 115  | 115  | 180  | 190  |
| R (mm)     | 22   | 22   | 35   | 38   |
| W (mm)     | 78   | 78   | 125  | 125  |
| Peso (kg.) | 0,35 | 0,33 | 1,0  | 1,1  |

|      | L (mm) | H (mm) | h (mm) | W (mm) | Peso (kg.) |
|------|--------|--------|--------|--------|------------|
| DN80 | 298    | 180    | 50     | 190    | 1,6        |