

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA
ÁREAS VERDES URBANAS -PARQUE ZONAL HUIRACOCCHA SAN
JUAN DE LURIGANCHO-LIMA”**

Presentado por:

ANGGIE KAROLIN MORALES MORANTE

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima- Perú

2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de Tesis a mi Hijo, Maximiliano Alexandre Iglesias Morales, por ser mi gran motivación y alegría.

A mis padres Ramón Morales López y María Morante Andrade, por brindarme su apoyo incondicional y enseñarme que todo es posible con esfuerzo.

A mis hermanos Ramón, Sheyla y Nicole por su apoyo y cariño.

A mi compañero de vida Alberto Iglesias Cava, por su apoyo incondicional y por brindarme siempre una palabra de motivación.

En memoria de mi abuela, Angélica López Téves, por sus sabios consejos de vida y su gran cariño.

En memoria de un gran amigo y tío el Ing. Luis Morante Alvarado, por sus palabras de aliento y por brindarme su apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Dra. Lía Ramos Fernández por su valiosa dirección y apoyo en la elaboración de la tesis. Igualmente, manifiesto mi gratitud a los ingenieros David Ascencios Templo y José Arapa Quispe por el apoyo y sus contribuciones para la culminación del presente trabajo.

Al ing. Alberto estrella por su colaboración en la obtención de los datos importantes para la ejecución de la tesis.

A todos mis amigos y familiares por todo el tiempo que me han dado, por su apoyo incondicional, su respaldo y amistad. Las palabras nunca serán suficiente para expresar mi aprecio y agradecimiento. .

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	3
2.1.1 Definición de riego por aspersión.....	3
2.1.2 Tipos de sistema de riego por aspersión.....	3
2.1.3 Ventajas y desventajas de un sistema de riego por aspersión.....	3
2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	5
2.2.1 Cabezal de riego.....	5
2.2.2 Red de distribución.....	10
2.2.3 Elementos de seguridad y control.....	11
2.2.4 Automatización.....	13
2.2.5 Emisores de riego por aspersión.....	14
2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DEL RIEGO POR ASPERSIÓN.....	15
2.3.1 Viento.....	16
2.3.2 Presión.....	17
2.3.3 Infiltración.....	18

2.3.4	Traslape de aspersión.....	19
2.4	NECESIDADES DE RIEGO DE LA COBERTURA VEGETAL	20
2.4.1	Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	22
2.4.2	Coeficiente del jardín (K _j).....	24
2.4.3	Evapotranspiración del cultivo o parque (ET _p).....	27
2.4.4	Determinación de los parámetros de riego	27
2.5	DISEÑO HIDRÁULICO DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	30
2.5.1	Cálculo y tolerancia de presiones en el ramal de aspersores.....	31
2.5.2	Rugosidad relativa en tuberías.....	34
2.5.3	Velocidad de flujo en conductos cerrados.....	35
2.5.4	Pérdidas de carga en tuberías.....	35
2.5.5	Pérdida de carga en accesorios	38
2.5.6	Diámetro interno de tuberías	38
2.6	SOFTWARE WATERCAD V8I	39
2.6.1	Modelamiento hidráulico.....	39
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1	ZONA DE ESTUDIO	40
3.1.1	Ubicación y extensión	40
3.1.2	Vías de acceso	41
3.1.3	Agua y energía.....	41
3.1.4	Suelo	42
3.1.5	Clima	44
3.1.6	Vegetación.....	45
3.2	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES	47
3.3	PROCEDIMIENTO	48
3.3.1	Procedimiento para el diseño agronómico.....	49
3.3.2	Procedimiento para el diseño hidráulico	50
3.3.3	Procedimiento para el modelamiento hidráulico	52
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1	ANÁLISIS DE DATOS BÁSICOS	61
4.1.1	Fuente de agua	61
4.1.2	Cobertura vegetal.....	61
4.1.3	Fuente de energía.....	62

4.2	BALANCE HÍDRICO PROYECTADO	62
4.2.1	Balance hídrico diario.....	62
4.2.2	Balance hídrico global	63
4.3	DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA.....	64
4.3.1	Parámetros climáticos y necesidades netas	64
4.3.2	Selección del emisor	66
4.3.3	Dosis, frecuencia y tiempo de riego	68
4.3.4	Numero de emisores	69
4.3.5	Parámetros de operación.....	71
4.4	DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA	76
4.4.1	Redes de conducción y distribución	76
4.4.2	Requerimiento de presión y bombeo	81
4.5	MODELAMIENTO HIDRÁULICO	83
4.5.1	Modelamiento hidráulico de la red troncal.....	83
4.5.2	Sistema de bombeo.....	86
4.6	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	87
4.6.1	Cabezal de riego	88
4.6.2	Red de distribución.....	89
4.6.3	Aparatos de control.....	89
4.6.4	Automatización.....	90
4.6.5	Emisores	91
4.7	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO	92
4.7.1	Reservorio.....	93
4.7.2	Línea de conducción.....	93
4.7.3	Válvulas de control.....	93
4.7.4	Válvulas de aire	94
4.7.5	Válvula de purga.....	94
4.7.6	Aspersor de riego.....	94
V.	CONCLUSIONES	95
VI.	RECOMENDACIONES	97
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
VIII.	ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Clasificación de los sistemas de riego por aspersión	3
Tabla 2:	Sistemas de filtrado recomendado según partículas a retener	9
Tabla 3:	Tipos de tuberías y características	11
Tabla 4:	Tipo de elevación en aspersores	14
Tabla 5:	Clasificación de aspersores por alcance	15
Tabla 6:	Tipo de giro en aspersores	15
Tabla 7:	Reducción del traslape en función a la velocidad del viento	19
Tabla 8:	Valores de coeficiente de especie (K_e) de acuerdo al tipo de vegetación.....	24
Tabla 9:	Coeficiente de especie (K_e) por consumo de agua.....	24
Tabla 10:	Coeficiente de densidad (K_d) en función de sombra	25
Tabla 11:	Coeficiente de densidad (K_d) por tipo de vegetación	25
Tabla 12:	Coeficiente de microclima (K_m) de acuerdo al tipo de cultivo	26
Tabla 13:	Coeficiente de microclima (K_m) de acuerdo al campo	26
Tabla 14:	Agua retenida por diferentes suelos	28
Tabla 15:	Eficiencia de aplicación del agua en los sistemas de riego por aspersión.....	29
Tabla 16:	Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales.....	35
Tabla 17:	Velocidad media más económica en tuberías, en ms^{-1} según Richter.....	35
Tabla 18:	Formulas para el cálculo de pérdidas de carga por fricción, para el flujo de agua en conductos a presión aplicables a la fórmula de Darcy-Weisbach	36
Tabla 19:	Longitud equivalente de tubería recta en accesorios en metros	38
Tabla 20:	Características tubería NTP ISO 4422 clase 10, FS.=2.5.....	38
Tabla 21:	Diámetro interno tuberías NTP 399.002-2002	39
Tabla 22:	Suministro y almacenamiento de agua	41
Tabla 23:	Densidad de suelo en diferentes puntos del parque.....	43
Tabla 24:	Información climática mensual promedio del año 2006 al 2014	45
Tabla 25:	Especies identificadas en el parque zonal	47
Tabla 26:	Equipos y herramientas computacionales empleadas en el estudio	48
Tabla 27:	Oferta, Demanda diaria	62
Tabla 28:	Balance hídrico global anual	63

Tabla 29:	Evapotranspiración de referencia mensual obtenido con el Cropwat, -FAO ...	64
Tabla 30:	Resultados del coeficiente del jardín.....	65
Tabla 31:	Evapotranspiración del parque por tipo de vegetación, mes Febrero.....	65
Tabla 32:	Rendimiento de las boquillas de aspersor Rain Bird.....	67
Tabla 33:	Datos utilizados en el diseño agronómico	68
Tabla 34:	Lamina neta y lamina bruta	68
Tabla 35:	Resultados de diseño agronómico	70
Tabla 36:	Agrupación de aspersores por válvula para áreas verdes comunes.....	72
Tabla 37:	Turnos de riego del parque Huiracocha	73
Tabla 38:	Planificación horaria de riego diario	75
Tabla 39:	Demanda de agua mensual para el sistema de riego por aspersión en las 9.04 ha	76
Tabla 40:	Cálculo de la pérdida de carga de la subtronal en la cancha de futbol.....	77
Tabla 41:	Cálculo de perdida de carga en subunidad de riego, ejemplo válvula 1 con desnivel 0	78
Tabla 42:	Sentido de flujo de la red.....	79
Tabla 43:	Cálculo de la presión requerida en los arco de riego.....	79
Tabla 44:	Inventario de tuberías red subtronal	80
Tabla 45:	Cálculo de presiones en el cabezal	82
Tabla 46:	Codificación de velocidad del fluido en tuberías del modelo WaterCAD.....	84
Tabla 47:	Inventario de tuberías de la red troncal	86
Tabla 48:	Resultados de operación de la bomba modelo 50/200 de Hidrostral en los diferentes turnos de riego.....	87
Tabla 49:	Rangos de caudal de la válvula PRS-Dial	89
	Tabla 50: Perdida de presión de las válvulas serie PESB-R (bares).....	90
Tabla 51:	Rotores seleccionados en el diseño	92
Tabla 52:	Frecuencia de mantenimiento de elementos de riego.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Componentes de un sistema de riego por aspersión	5
Figura 2:	Clasificación de bombas: Centrifugas y volumétricas.....	6
Figura 3:	Curvas punto de operación de una bomba	8

Figura 4:	Punto de operación para caudal variable.....	8
Figura 5:	Sistemas de filtrado.....	9
Figura 6:	Puntos de ubicación de ventosas.....	13
Figura 7:	Patrones de humedecimiento en condiciones variables de viento	16
Figura 8:	Perímetro mojado por aspersor Naan, trabajando con boquilla de 3.5 mm a 300KPa, y un tubo porta aspersor de 1m, bajo diferentes velocidades de viento con dirección desde la izquierda.....	17
Figura 9:	Efecto de la presión en la distribución del agua en riego por aspersión	17
Figura 10:	Suelo de textura óptima para enraizamiento en césped	18
Figura 11:	Curvas de infiltración, según textura del suelo	19
Figura 12:	Separación de emisores y traslape en áreas verdes	20
Figura 13:	Metodología recomendada para el diseño agronómico.....	21
Figura 14:	Características del cultivo hipotético de referencia para el cálculo de la ETo	22
Figura 15:	Factores que afectan la evapotranspiración con referencia.....	27
Figura 16:	Metodología recomendada para el diseño hidráulico	31
Figura 17:	Ramal horizontal.....	32
Figura 18:	Ramal ascendente.....	33
Figura 19:	Ramal descendente con $h > H_g$	33
Figura 20:	Ramal descendente con $H_g > h$	34
Figura 21:	Partes de un modelo hidráulico.....	39
Figura 22:	Macro localización del proyecto.....	40
Figura 23:	Riego por personal de Serpar (izquierda), riego por inundación en áreas verdes (derecha).....	42
Figura 24:	Consumo de agua mensual (m^3mes^{-1}) en el año 2014 y 2015 del parque Huiracocha para todos los servicios	42
Figura 25:	Falla estructural zona patio de comidas (izquierda), grietas veredas (Derecha)	43
Figura 26:	Variación mensual promedio de la temperatura, radiacion, humedad, insolacion y viento	44
Figura 27:	Grass americano	45
Figura 28:	Área verde, zona anfiteatro (izquierda), área entrada principal (derecha).....	46
Figura 29:	Prueba de infiltración	49
Figura 30:	Esquema metodológico seguido en la investigación.....	51
Figura 31:	Metodología para el modelamiento hidráulico	52

Figura 32:	Creacion nuevo proyecto (Izquierda), Propiedades del proyecto (Derecha) ..	53
Figura 33:	Configuracion de unidades en WaterCAD	53
Figura 34:	Configuracion de dibujo en WaterCAD.....	54
Figura 35:	Selección de ecuación de perdida de carga y liquido a modelar.....	54
Figura 36:	Configuración de prototipos de la red.....	55
Figura 37:	Importación de plano CAD a <i>Software</i> WaterCAD.....	55
Figura 38:	Construcción topológica red principal de riego	56
Figura 39:	Edición de la nomenclatura de la red	56
Figura 40:	Asignación de curvas de nivel al proyecto.....	57
Figura 41:	Asignación de demandas en válvulas.....	57
Figura 42:	Configuracion de escenarios	58
Figura 43:	Creación de escenarios de funcionamiento	58
Figura 44:	Definicion de parámetros de la bomba	59
Figura 45:	Sector modelado de la red troncal.....	60
Figura 46:	Balance hídrico diario por mes	62
Figura 47:	Balance hídrico global anual.....	64
Figura 48:	Curva de velocidad de infiltración (ventana derecha) y curva de lámina infiltrada (ventana izquierda). Prueba de infiltración realizada con cilindros infiltrómetros 10/10/15	66
Figura 49:	Traslape de aspersores en el sector 2 del parque	71
Figura 50:	Turnos de operación del sistema de riego diferenciados por color y numeracion en circulo.....	74
Figura 51:	Distribución mensual del agua para el sistema de riego por aspersion en las 9.04 ha.....	76
Figura 52:	Distribucion de tuberías de la red subtroncal.....	81
Figura 53:	Resultados de la simulación con WaterCAD del turno 17.....	83
Figura 54:	Curva de presion, caudal y eficiencia de la bomba en el turno 17.....	85
Figura 55:	Porcentaje de tuberias de la red troncal	85
Figura 56:	Curva de funcionamiento de la bomba Hidrostral 50/200, indicando la numeracion de los 17 turnos de riego	86
Figura 57:	Curva característica de la bomba modelo 50/200 marca Hidrostral	88
Figura 58:	PRS-Dial (Izquierda), Válvula con instalación PRS-Dial (derecha)	89
Figura 59:	Vista transversal de una válvula PESB-R.....	90
Figura 60:	Controlador ESP-LDX con decodificador	91

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Valores históricos climáticos para el periodo 2005-2014, obtenida de la estación meteorológica von Humboldt y procesados en Cropwat.....	102
ANEXO 2: Resultados de laboratorio de ensayo de corte directo, de acuerdo a los procedimientos de la American Society For Testing And Materials (ASTM)	103
ANEXO 3: Cálculo de pérdida de carga en la subtronal de riego	104
ANEXO 4: Resultados de diámetros de tubería modelados en WaterCAD.....	121

RESUMEN

El presente trabajo consistió en desarrollar una propuesta de diseño de un sistema de riego por aspersión para áreas verdes en el parque zonal Huiracocha. El cual se encuentra ubicado en la provincia de Lima, departamento de Lima, distrito de San Juan de Lurigancho, latitud sur de $12^{\circ} 0'21.68''$ a $12^{\circ} 0'46.92''$ y longitud oeste de $76^{\circ}59'55.50''$ a $77^{\circ} 0'12.60''$, con la altitud media de 215 msnm. El parque tiene una extensión total de 21.3 ha. donde 12 ha. corresponden a las áreas verdes. Para el diseño del sistema de riego por aspersión se consideraron 9.04 ha. El diseño del sistema de riego por aspersión comprende los siguientes procesos: (i) Obtención de información básica como: topografía, estudios de suelo, parámetros climáticos y tipo de vegetación. (ii) Diseño agronómico que comprende el cálculo de las necesidades de agua y la determinación de los parámetros de riego: la dosis, frecuencia y tiempo de riego, así como la selección del emisor, la disposición y el número de los mismos. (iii) Diseño hidráulico que comprende el cálculo de los diámetros de la red, el cálculo de las pérdidas de carga y de las presiones requeridas en los arcos de riego, evaluando la tolerancia de presiones en la subunidad. (iv) Modelamiento hidráulico que comprende el cálculo de los diámetros de la red troncal, el cálculo de las presiones requeridas en el cabezal determinando con ello el sistema de bombeo para los 17 turnos de riego con ayuda del modelo WaterCAD V8i. Como resultado se obtuvo el dimensionamiento óptimo de las tuberías, manteniendo la tolerancia de presiones en la subunidad y las velocidades de flujo permitidas en la red. La estación de bombeo se diseñó para satisfacer la demanda de 83.4 metros de columna de agua y un caudal máximo de 19.78 l.s^{-1} . Se obtuvieron los metrajes de la red troncal 300, 77, 389 y 1918 metros para los diámetros 75, 90, 110 y 140 mm respectivamente. Finalmente se seleccionó una bomba marca Hidrostral modelo 50/200 de 40 HP de potencia nominal.

PALABRAS CLAVES:

Riego aspersión, áreas verdes, optimización, caudal, presión, modelamiento hidráulico

ABSTRACT

The matter of this research is the design of a sprinkles irrigation system for the gardens of the Park Huiracocha. The project location in investigation is located in the department of Lima, district of San Juan de Lurigancho, $12^{\circ} 0'21.68''$ to $12^{\circ} 0'46.92''$ south latitude, $76^{\circ}59'55.50''$ to $77^{\circ} 0'12.60''$ west longitude, 215 meters above sea level. The Park contains a potential of 9.04 ha. in gardens for sprinkles irrigation and a total surface of 21.3 ha. The planning and design of the sprinkles irrigation system covered the following process: (i) The approach consisted in obtaining basic information to acquire the design parameters, selection of the areas for the watering turns and to trace the topology of the net. (ii) The agricultural design consisted in assessment of the climate, soil, water and farming characteristics to determine the needs of water and irrigation programming. (iii) The hydraulic design included the designing of the diameters of the irrigation net, the calculation of the losses of charge and the pressures required in the arc of watering, in examination of the tolerance to pressure of the subunit. (iv) Hydraulic molding covered the calculation of the main net diameters, the required pressure on the head, resolving with these data the pumping system for the seventeen shifts of irrigation which distribution was drawn initially using AutoCAD, to be furtherly exported and simulated with the WaterCAD 8i software. As a result, optimal measures of the pipes were calculated, keeping the tolerance in the pressure of the subunit and the speed of the flow in the net, additionally, the requirement of the full pressure was obtained. The pumping station was designed to satisfy the demand of 83.4 meters of column of water and a maximum caudal of 19.78 l.s^{-1} . As a result, the pump Hidrostral model 50/200 was selected.

KEY WORDS:

Irrigation sprinkler, green areas, optimization, flow, pressure, WaterCAD.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La importancia de las áreas verdes radica en los efectos positivos que tienen sobre la población residente, sin embargo, los altos costos de mantenimiento debido al uso del agua, no permiten el incremento de áreas verdes en Lima. En un futuro cercano, se prevé una variación drástica en los patrones de lluvias debido al incremento de la temperatura. Para el caso de Perú, la ciudad desértica de Lima será la más perjudicada, afectando esto directamente en el costo del agua, que se verá incrementado debido a la escasez. Es por ello que existe un gran interés en el uso racional del recurso hídrico. Para ello la aplicación debe darse con criterios de eficiencia y sostenibilidad, dirigidos a optimizar el agua y la energía. Este manejo eficiente se puede conseguir mediante la adopción de medidas que permitan establecer un consumo acorde a las necesidades del jardín. Estas medidas consisten en el uso de sistemas de riego, que permiten la aplicación de cantidades de agua cercanas al óptimo con una alta precisión. Otras medidas a tomar para garantizar el ahorro de agua son el empleo de especies de poco consumo de agua y la utilización de aguas residuales depuradas.

Una de las medidas a tomar es el uso del sistema de riego por aspersión el cual permite el ahorro de agua, ya que suministra la cantidad suficiente para satisfacer la demanda hídrica de las especies, reduciendo de esta forma el daño potencial a las plantas por déficit del recurso o por exceso, ahorrando gastos por consumos elevados y favoreciendo a su vez en la dotación residencial, comercial e industrial de la ciudad.

De lo anterior, el presente trabajo tiene por finalidad optimizar el riego actual de las áreas verdes del parque, disminuyendo su consumo y evitando el colapso de estructuras ocasionadas por el asentamiento del terreno debido al riego por inundación. Para ello se diseñó un sistema de riego por aspersión para áreas verdes urbanas que cumplan con el dimensionamiento óptimo de las redes y la dotación necesaria para las plantas, propiciando el ahorro del agua y por ende la rentabilidad a favor del servicio de parques de Lima.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Realizar una propuesta de diseño del sistema de riego por aspersión para las áreas verdes, en una extensión de 9.04 hectáreas, para el parque zonal Huiracocha ubicado en el distrito de San Juan de Lurigancho, departamento de Lima.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por aspersión.
- Realizar el modelamiento de la red hidráulica con el modelo WaterCAD.
- Obtener la carga hidráulica que suministra la bomba.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

2.1.1 Definición de riego por aspersión

Para García *et al.* (1997), el sistema de riego por aspersión es la aplicación del agua en forma de lluvia, puede ser controlada tanto en el tiempo como en su intensidad, mediante una amplia gama de aspersores diseñados para operar a diferentes presiones, espaciamientos y tamaños. Con lo que se logra una variada distribución y diversas características de flujo que permiten elegir el aspersor adecuado según las condiciones del suelo y la planta.

2.1.2 Tipos de sistema de riego por aspersión

En el mercado, existe una variedad de sistemas de riego por aspersión, que se seleccionan en función al tipo de cultivo, la localización, la energía disponible entre otros factores. En la Tabla 1, se detalla la clasificación de los sistemas de riego por aspersión.

Tabla 1: Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

Estacionarios	Desplazamiento continuo
Permanecen en la misma posición mientras dura el riego	Se desplazan mientras aplican el agua de riego
Móviles semifijos:	Ramales desplazables:
- Tubería móvil	- Pívot
	- Lateral avance frontal
	- Ala sobre carro
Fijos:	Aspersor gigante:
- Tubería Fija	- Cañones viajeros
- Permanente (enterrada)	- Enrolladores
- Temporales (aérea)	

Fuente: Tomado de Tarjuelo (2005)

2.1.3 Ventajas y desventajas de un sistema de riego por aspersión

Algunas de las ventajas más importantes del sistema de riego por aspersión se detallan a continuación:

- Según Tarjuelo (2005), el sistema de riego por aspersión es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 30 mm.h-1) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas. Esto permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Puede conseguir altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, a costa normalmente de una mayor inversión.
- Permite trabajar contra heladas.
- Es el método más eficaz para el lavado de sales por originar un movimiento de agua en el suelo en subsaturación, obligándola a circular por los poros más pequeños y por lo tanto más en contacto con la solución del suelo.
- Permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios.
- Un control efectivo sobre la cantidad y tasa de aplicación del agua.
- Los riesgos de erosión son minimizados.
- Para García *et al.* (1997) se tiene un control efectivo sobre la cantidad y tasa de aplicación del agua.
- Los riesgos de erosión son minimizados.

Desventajas del sistema de riego por aspersión:

- Según Tarjuelo (2005) hay una mala uniformidad en el reparto de agua por la acción de fuertes vientos.
- Interferencia sobre los tratamientos, por el lavado de productos fitosanitarios que protegen la parte aérea de las plantas.
- Altas inversiones iniciales y elevado costo de mantenimiento y funcionamiento (energía).
- Exige de agua limpia, libre de sedimentos y libre de contenido de sales.
- Suelos de baja velocidad de infiltración menos de 3.8 mm.h-1 no se adaptan bien para el riego por aspersión.
- Lugares ventosos y excesivamente secos causan pérdidas de eficiencia apreciables.
- El impacto en algunas partes del área del cultivo pueden causar daños.
- Requiere de altas presiones para el funcionamiento.
- Parcelas irregulares, no son convenientes para sistemas mecanizados.
- Problemas sanitarios e interferencia con los tratamientos.
- Moja toda la superficie del suelo.

- Según García *et al.* (1997) puede producir daño en la floración de las plantas.
- Para Rodríguez *et al.* (2004) en caso de regar con agua salina puede producir quemadura en las hojas y flores por acumulación de sales.
- En caso de emplear agua muy dura y con elevado contenido de carbonatos o en hierro, pueden producirse manchas en las hojas y flores, con la consiguiente pérdida del valor ornamental.
- La forma de aportar el agua puede tener efectos negativos sobre algunas plantas, ya que al humedecerse la parte aérea de las mismas aumenta el riesgo de desarrollo de enfermedades.

2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Para Peña (2010), una instalación de sistema de riego está constituida por: el cabezal de riego, red de distribución, aparatos de control, automatización y emisores de riego por aspersión, ver Figura 1.

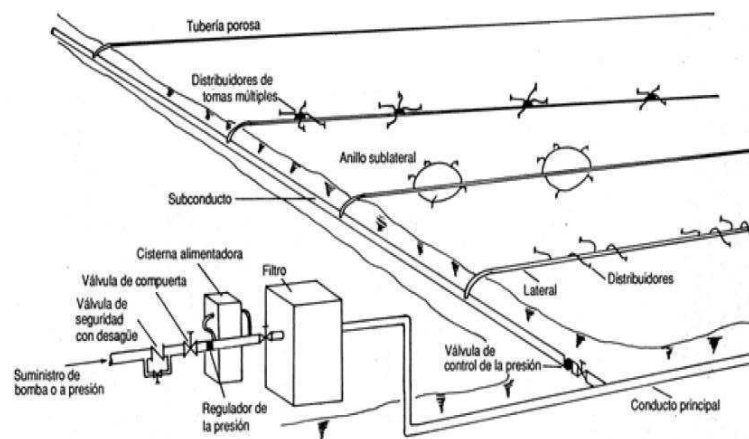


Figura 1: Componentes de un sistema de riego por aspersión
Fuente: Tomado de Ramos *et al.* (2013)

2.2.1 Cabezal de riego

a. Sistema de bombeo

Está conformado por el sistema de bombas que impulsan el flujo por las diferentes distribuciones de tuberías hasta llegar al emisor. Para Rázuri (2015) las bombas son máquinas hidráulicas que reciben energía potencial (Fuerza de un motor o turbina), y transforman parte de esta potencia en energía cinética (movimiento) y energía de presión (fuerza), cediendo estas dos energías al flujo bombeado, de forma de recircularlo o transportarlo de un punto a otro.

Debido a la gran diversidad de bombas existentes, se puede adoptar una clasificación resumida, dividiéndolas en dos grandes grupos, ver Figura 2.

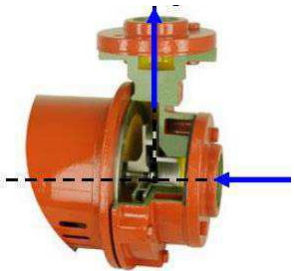
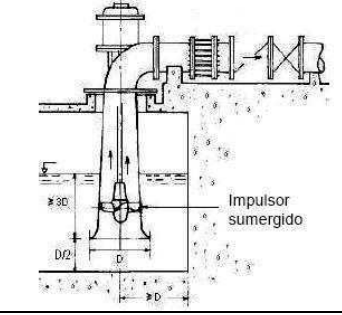
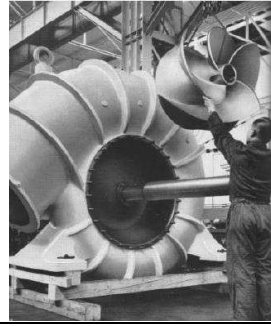
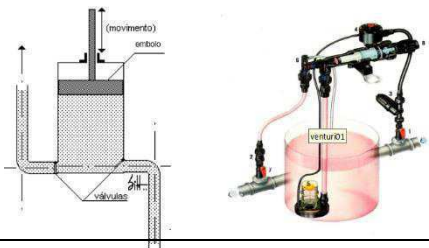
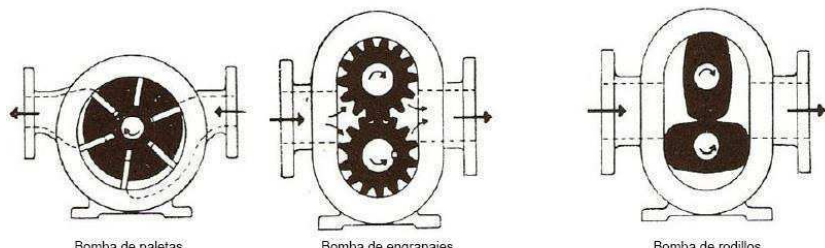
BOMBAS CENTRIFUGAS		
Centrifugas radiales (puras)	Centrifugas de flujo axial (propulsora)	Centrifugas de flujo mixto
		
BOMBAS VOLUMÉTRICAS		
Embolo o alternativas (pistón, diafragma, membrana)		
		
Rotativas (Engranajes, lóbulos, paletas, helicoidales, husos, pernos, etc.)		
		

Figura 2: Clasificación de bombas: Centrifugas y volumétricas
Fuente: Tomado de Rázuri (2015)

- Bombas centrifugas o turbo-bombas, también conocidas como hidrodinámicas o rotodinámicas.

El movimiento del fluido ocurre por la acción de fuerzas que se desarrollan en la masa del mismo, a consecuencia de la rotación de un eje el cual es acoplado a un disco (rotor o impulsor) dotado de alabes (paletas, hélices), el cual recibe el fluido por su centro y lo expulsa por la periferia, por la acción de la fuerza centrífuga. Son las de mayor aplicación en la irrigación.

- Bombas volumétricas, también conocidas como de desplazamiento positivo. Son dispositivos en los que el elemento impulsor aporta energía al líquido, en forma de pistón. Tienen una aplicación directa en la ingeniería del riego como sistemas de inyectar fertilizantes a la red. Se caracterizan por caudales bajos (<1000 l.h⁻¹) y altas presiones.
- Curvas del sistema

Si se utiliza la conservación de energía (o ecuación de Bernoulli) para el sistema bomba tubería, se obtiene la siguiente ecuación:

$$H_m = H_g + \Sigma h_r + \Sigma h_m = H_m = H_g + \Sigma f_i \frac{L_i v^2}{D_i 2g} + \Sigma h_{mi} \frac{v^2}{2g}$$

Donde H_m es la presión de descarga, H_g es la presión de succión, h_r es la presión de conducción, h_m es la presión dinámica y v es la velocidad del fluido.

Con esto se obtiene la presión requerida en el cabezal, y con la información de caudal se puede construir la curva del sistema para seleccionar el equipo de bombeo.

- Punto de operación o funcionamiento de la bomba

Es la carga que debe suministrar la bomba para elevar el caudal de diseño a una altura geométrica o topográfica (H_g) dada, venciendo las pérdidas que se producen en la tubería, se define como altura manométrica de la bomba (H_m), expresada como: **$H_m = H_g + KQ^2$**

Esta expresión depende únicamente de las características de la conducción y es función del caudal a transportar denominándose curva resistente de la tubería, en función de Q. Una vez encontrada la curva de la bomba es fácil encontrar el punto de operación, es decir el caudal que está siendo enviado y la altura manométrica dada. La curva de la bomba que intersecte estas dos variables dentro una eficiencia aceptada puede cumplir con el requerimiento del bombeo, tal como se muestra en la Figura 3.

El número de unidades de bombeo dependerá del caudal de bombeo y de sus variaciones, y de la necesidad de contar con una unidad de reserva para atender situaciones de emergencia (COSUDE 2007).

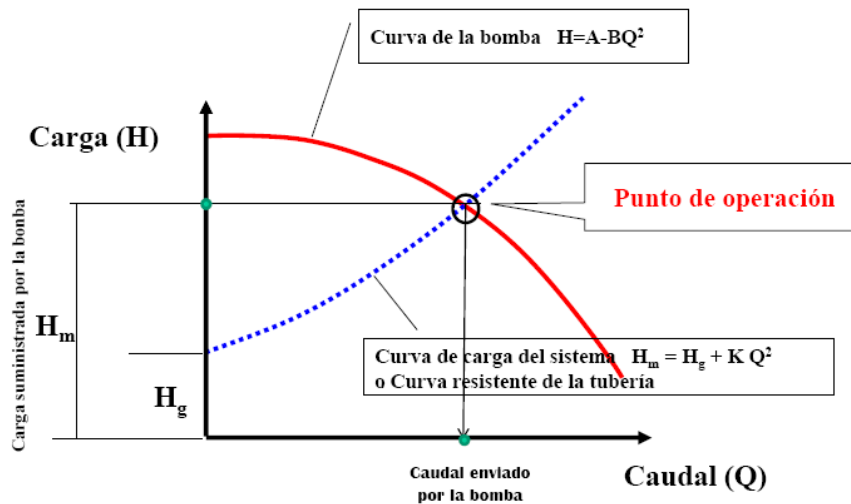
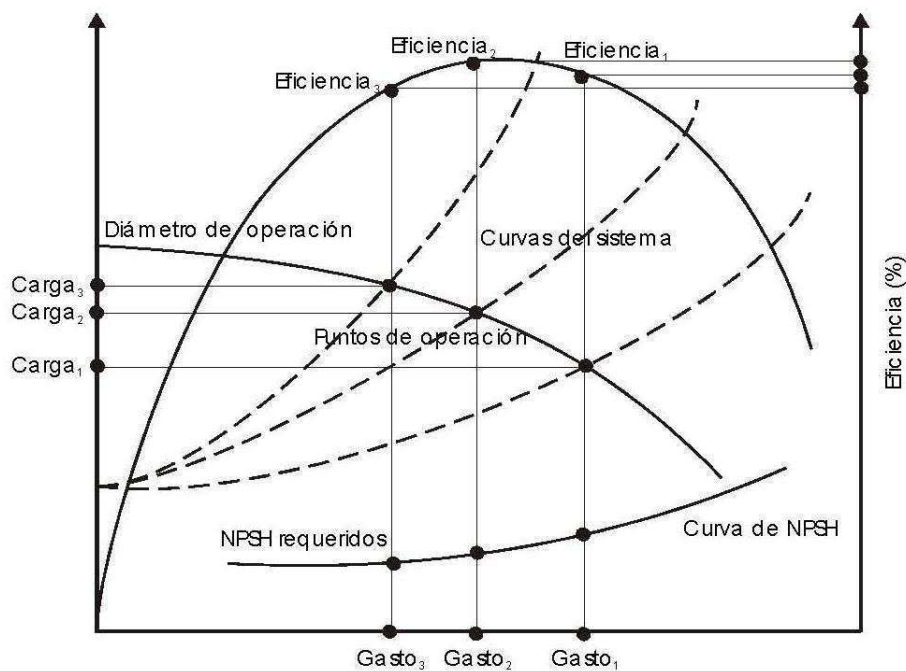


Figura 3: Curvas punto de operación de una bomba
Fuente: Tomado de Rázuri (2015)

En general los sistemas de bombeo requieren caudal variable, lo que significa que una bomba trabaja con diferentes puntos de operación. Se muestra el ejemplo de la gráfica en la Figura 4.

Figura 4: Punto de operación para caudal variable



Fuente: Tomado de Campos (S.f)

b. Sistema de filtrado

El filtrado es la operación más importante del sistema. Debe ser perfecto y nunca deficiente (Moya 2002), en el mercado existen variedad de filtros que se seleccionan de acuerdo al elemento a filtrar, ver Tabla 2.

Tabla 2: Sistemas de filtrado recomendado según partículas a retener

Tipo de partícula	Filtro de arena	Filtro Hidrociclón	Filtros de malla	Filtros de anillas
Arenas	✗	✓	✓	✓
Limos y arcillas	✓	✗	✓	✓
Sustancias orgánicas	✓	✗	✓	✓

Fuente: Tomado de Agromática (2017)

Cuando el caudal a filtrar es superior a la capacidad del filtro, se tienen que colocar dos en paralelo, pues es preferible que vaya sobrado.

Cuando las aguas llevan materias en suspensión es necesario realizar previamente un pre filtrado y colocarlo delante de toda la instalación.

Para la selección del equipo de filtrado se debe tener las siguientes consideraciones: grado de filtración, caudal máximo recomendado, presiones máximas y mínimas de trabajo, longitud del cilindro del filtro, área de filtraje, material del cuerpo del cilindro o elemento filtrante y pérdida de carga.

Según las consideraciones anteriores, los filtros se pueden clasificar en: hidrociclones, filtros de malla y filtros de anillas, ver Figura 5.



Figura 5: Sistemas de filtrado

Fuente: Adaptado de Agromática (2017)

- Filtro de arena o grava: es necesaria en la instalación cuando el agua proviene de ríos, acequias, vertidos de ciudad o estanques abiertos por su contenido de algas y materiales en suspensión. El agua entra por la capa superior y desciende atravesando la capa de arena, reteniendo las impurezas. Cuanto más capa atraviere, mejor será el filtrado.
- Hidrociclón: es un equipo que se instala cuando el agua contiene arenas y limos en suspensión. Se fundamenta en su movimiento giratorio dentro de un depósito

acampanado, que se va estrechando en la parte inferior. El agua entra por arriba, y se ve obligada girar. Las partículas en suspensión, al pesar más, golpean las paredes y se van hacia abajo, depositándose en un colector. El agua por el contrario, sale hacia arriba.

- Filtro de malla: consiste en un cuerpo cilíndrico, de plástico o metálico, en cuyo interior hay un cilindro o cartucho de malla plástica o de acero inoxidable. El agua penetra en el filtro por el centro y atraviesa sus paredes para continuar su salida a la red general. El parámetro que comúnmente se utiliza para evaluar la capacidad de retención del filtro es el número de mesh o milímetros.
- Filtro de anillas o discos: este sistema cuenta con un conjunto de anillas ranuradas que se comprimen unas contra las otras formando un cilindro filtrante, de manera que el agua pasa por las pequeñas ranuras entre las anillas, quedando atrapados en el filtro, las partículas de mayor tamaño al de las ranuras. Son apropiados para la limpieza de aguas de mediana a mala calidad. Las anillas pueden ser de diferentes diámetros de paso, así encontramos que cada tipo de anilla tiene un color asociado al grado de filtración.

Los filtros de anillas se presentan en tres modalidades: según el sistema de limpieza que tengan, manual y automáticos. Estos equipos pueden poseer sistemas autolimpiantes, los cuales realizan la limpieza mediante operaciones de contralavado automático o de manera manual en el caso de los filtros de malla, anillas e hidrociclones.

Los sistemas semiautomáticos tienen mecanismos que limpian mediante operaciones de contralavado a través del accionamiento de dicho mecanismo.

2.2.2 Red de distribución

Las tuberías trabajando “a presión” permiten conducir el agua, aún a contrapendiente. Para eso requieren de cierta cantidad de energía por unidad de peso, proporcionada por una unidad de bombeo (Ramos *et al.* 2013).

Los materiales más comunes para los sistemas de riego tecnificado son las de PVC y PE (polietileno) siendo de mayor resistencia mecánica las de PVC (Tabla 3).

Tabla 3: Tipos de tuberías y características

Material	Características	Uniones	Interacción con el agua	Vida útil (años)	Diámetro nominal	Actualidad
Poliétileno	Flexible Ligero Resistente	Presión Unión Mecánica Fundido	inerte	50	Diámetro exterior	vigente
PVC	Rígido Ligero Frágil	Encolado Unión mecánica	inerte	25	Diámetro exterior	vigente
Fibro cemento	Rígido Pesado Resistente erosionable	Unión mecánica	Precipitados salinos	40	Diámetro interior	Prohibido por toxicidad
Fundición dúctil	Rígido Pesado Resistente Incrustaciones internas	Unión mecánica	Precipitados salinos oxidación	50	Diámetro interior	Para grandes arterias de redes de agua

Fuente: Tomado de De la Fuente *et al.* (2013)

2.2.3 Elementos de seguridad y control

Ramos *et al.* (2013) indica que en todo sistema de riego es necesario instalar distintos tipos de válvulas y aparatos de control para garantizar su funcionamiento adecuado. Según estas funciones existen diferentes tipos de válvulas:

a. Medidor Totalizador de agua

Son componentes que permiten un mejor manejo del sistema en la aplicación de agua a los cultivos (Meza 2014).

b. Manómetros

Permiten verificar las caídas de presión a la entrada y salida de los filtros tanto de arena como de anilla. Usualmente también se instala un manómetro al inicio de la tubería primaria para verificar que la presión de entrega corresponda a la establecida en el diseño (Meza 2014).

c. Válvulas de corte o aislamiento

Estas válvulas se encargan de cortar o permitir el paso del agua en la conducción. Las válvulas de corte son imprescindibles en toda instalación de riego, siendo necesaria al menos una en cada cabezal de riego y otra en la acometida de agua. Las hay de varios tipos, clasificándose según el mecanismo de cierre. Los materiales en los que se fabrican las válvulas de corte son muy diversos, los más usuales son acero, latón, PVC y fundición

(De la Fuente *et al.* 2013). Ejemplos (válvula mariposa, válvula de esfera, válvula de compuerta)

d. Válvula reductora de presión

Estas válvulas realizan tareas de reducción de la presión aguas abajo, para la protección de la instalación. Las válvulas reductoras de presión son imprescindibles en zonas de altas presiones para proteger todo el sistema de riego, incluidas las tuberías (De la Fuente *et al.* 2013).

e. Válvula anti retorno o de retención

Estas válvulas obligan a que la circulación del agua sea en un único sentido, es decir, el agua no podrá retroceder a partir de ese punto (De la Fuente *et al.* 2013). Se emplea en zonas con grandes desniveles, para evitar desplomes en columna de agua (pozos), evitar escorrentías en zonas de goteo. También en grupos de presión ya que evita el regreso del agua a la bomba y al depósito, así como en grupos y acometidas de la red de distribución o varias redes de agua, para evitar la mezcla de aguas de diferente procedencia, y para evitar los efectos del golpe de ariete.

f. Válvula de seguridad

La válvula de seguridad es particularmente importante para eliminar sobrepresiones en grupos de presión (De la Fuente *et al.* 2013).

El funcionamiento es relativamente sencillo; al producirse la sobrepresión, la válvula libera agua hasta que se reduce la presión a un nivel admisible.

g. Válvula de llenado

La función de estas válvulas es permitir el llenado de depósitos cuando el nivel de agua baje de un nivel prefijado. Esta caída de nivel es detectada mediante una boya flotante unida a la válvula mediante un mecanismo de apertura (De la Fuente *et al.* 2013).

h. Válvula de ventosa

Su cometido principal consiste en expulsar el aire de las tuberías, con el fin de que pueda circular el agua a presión sin problemas (Moya 2002) (Figura 6).

Los puntos que requieren ventosas son: en cambios de pendiente, tramos superiores a 500 m, antes de contadores o válvulas volumétricas, después de una reductora de presión o de una reducción de diámetro.

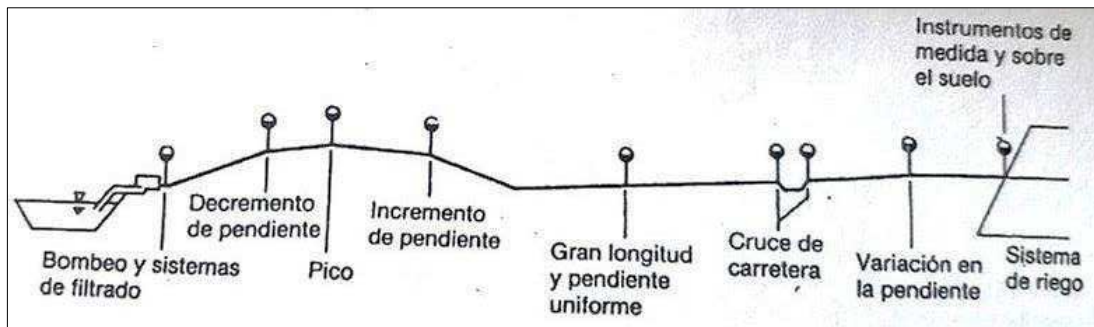


Figura 6: Puntos de ubicación de ventosas

Fuente: Tomado de Moya (2002)

i. Válvula hidráulica

Las válvulas hidráulicas son válvulas configurables para desempeñar diversas funciones. El punto común de las válvulas hidráulicas es que son válvulas automáticas que obtienen la energía para funcionar de la energía presente en el agua (presión). Suelen ser de fundición y estar recubiertas por una capa protectora epoxi.

j. Regulador de Presión

Tiene la función de mantener la presión aguas arriba y/o aguas abajo de la subunidad de riego (AECID 2009).

2.2.4 Automatización

a. Electroválvulas

Para De la Fuente *et al.* (2013), se trata de una válvula hidráulica muy especializada (adaptada en tamaño y materiales) que permite la automatización de la instalación. La apertura y cierre del flujo lo realiza tras una señal eléctrica que recibe desde un programador. Contiene los siguientes elementos:

- Solenoide: recibe las órdenes del programador a través de una señal eléctrica que le llega por cable.
- Cuerpo de electroválvula: es la carcasa de la electroválvula.
- Membrana de electroválvula: es la encargada de la apertura hidráulica de la electroválvula.
- Tornillo purgador: permite la salida de aire y despresurización de la cámara de la membrana.
- Regulador de caudal: gracias a él se puede disminuir o aumentar el caudal en función de las necesidades del sector de riego de tal forma que tengan el caudal que necesitan para su correcto funcionamiento.

b. Programadores

La automatización de los sistemas de riego permite, por un bajo costo, regular los tiempos de riego, reduciendo la mano de obra y limitando el consumo de agua (De la Fuente *et al.* 2013). Existen dos tipos de sistema de automatización:

- Sistema de automatización por volúmenes: se basa en la programación de riego según el volumen de agua que se quiere aportar. Se utiliza apenas debido al requerimiento de un programador muy complejo y a la necesidad de utilización de válvulas volumétricas (en desuso).
- Sistema de automatización por tiempos: es el más extendido, por ser mucho más cómodo y fácil de manejar. El encargado de la programación simplemente debe elegir la hora de inicio y el tiempo de riego.

2.2.5 Emisores de riego por aspersión

Para Rodríguez *et al.* (2004), los aspersores se caracterizan por distribuir el agua en forma de lluvia sobre la superficie de riego. Están formados por un cuerpo central y por una o más boquillas, por las que el agua sale a presión. Los aspersores realizan un movimiento rotatorio provocado por la presión del agua, que al salir moja una superficie más o menos circular, cuyo radio de alcance depende de la presión y el tipo de boquilla.

Estos se pueden clasificar en: aspersores circulares y sectoriales, dependiendo del ángulo a regar; en aspersores de baja presión ($1,5 \text{ kg.cm}^{-2}$) y media presión ($1,5\text{-} 4,5 \text{ kg.cm}^{-2}$); aspersores aéreo y emergentes, con porta aspersores o enterrados. También se pueden clasificar en función de las diferentes características de funcionamiento, por ejemplo según el tipo de alcance, según la elevación y según el giro, tal como se observa en la Tabla 4, Tabla 5, y Tabla 6 respectivamente.

Tabla 4: Tipo de elevación en aspersores

Forma de elevarse	Descripción	Aplicación
Emergentes	El aspersor se encuentra enterrado y emerge un vástago durante el riego.	Existen diferentes alturas de elevación. Además son estéticos y anti vandálicos.
Fijos	El aspersor es aéreo, siempre a vista en posición de riego	En desuso. Solo en zonas sin vandalismo.

Fuente: Tomado de De la Fuente *et al.* (2013)

Tabla 5: Clasificación de aspersores por alcance

Por alcance	Radio (m)	Rango de presiones y caudales	Aplicación principal
Bajo alcance	4-7	1.7-4.5 atm 0.12-1.04 m ³ h ⁻¹	Céspedes y praderas de reducido tamaño en los que no se puedan utilizar aspersores con mayor alcance.
Alcance medio	6-12	1.7-4.5 atm 0.25-2.19 m ³ h ⁻¹	Céspedes y praderas de tamaño medio. Es el aspersor más usual.
Alto alcance	12-18	3.5-6.9 atm 2.54-8.24 m ³ h ⁻¹	Céspedes y praderas de gran tamaño. Campos deportivos, golf, etc.
Cañón de riego	>25	3.5-8 atm 10-60 m ³ h ⁻¹	Campos deportivos

Fuente: Tomado de De la Fuente *et al.* (2013)

Tabla 6: Tipo de giro en aspersores

Forma de giro	Descripción	Características
Aspersor de impacto	Gira por el impacto de chorro de agua en la parte móvil del aspersor (alabe)	La eficiencia del aspersor de impacto es menor, por lo que solo está recomendado en zonas arenosas, ya que la turbina tiene problemas de emergencia con la arena, y para aguas con un grado de filtración bajo.
Aspersor turbina	Tiene un giro hidráulico interno mediante un juego de engranajes	Tiene mayor eficiencia, es menos ruidoso, más duradero y tiene menos problemas por vandalismo. Baja sensibilidad a una mala regulación.

Fuente: Tomado de De la Fuente *et al.* (2013)

2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

Para Tarjuelo (2005), el proceso de aplicación de agua en los sistemas de riego por aspersión depende principalmente de los siguientes factores:

- El modelo de distribución de agua del aspersor: determinado por el tipo de aspersor y número de boquillas y la presión de trabajo.
- La separación entre aspersores: referido a la forma del marco de riego (cuadrado, rectangular o triangular) y a la distancia entre ellos.
- El viento, tanto en intensidad como en dirección. Este es el principal factor que distorsiona la uniformidad de distribución, y juega un papel importante en las pérdidas por evaporación y arrastre durante el proceso de aplicación de agua.
- Constructivos. Los procesos de fabricación de los emisores y los materiales empleados hacen que los emisores de un mismo modelo no sean exactamente iguales entre sí, proporcionando caudales diferentes incluso para la misma presión de trabajo.

- Hidráulicos. Los distintos emisores de una instalación están sometidos a presiones diferentes, debido a las pérdidas de carga y a los desniveles.
- El tiempo de vida de los materiales y obturaciones.
- Diferencias de temperatura.

2.3.1 Viento

Es el principal problema para el funcionamiento de los aspersores. Según Pascual (2008), el viento puede perturbar la distribución del agua en el riego por aspersion, debiendo tenerse en consideración tanto la velocidad como la dirección. Para Valverde (2007) el viento distorsiona el modelo de aplicación, desvía el chorro de agua, produce escurrimiento y provoca la aplicación de agua fuera del área de riego, como se muestra en la Figura 7 y Figura 8.

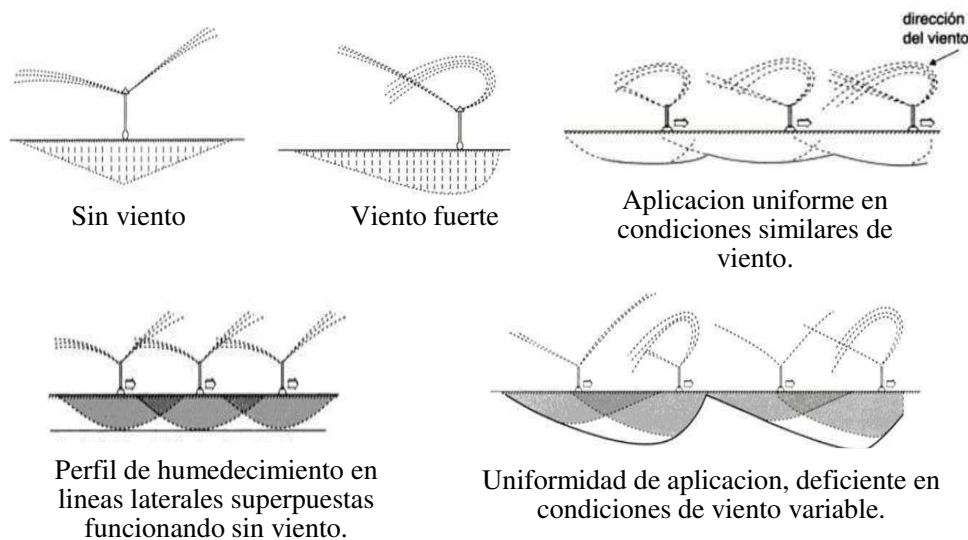


Figura 7: Patrones de humedecimiento en condiciones variables de viento

Fuente: Adaptado de Valverde (2007).

En el riego por aspersion, al igual que otros métodos de riego, se caracteriza por no aplicar la misma cantidad de agua en todos los puntos del área a regar, sino que siempre habrá algún grado de desuniformidad.

La uniformidad es un factor que la mayoría de las veces se asocia a la calidad del riego y relaciona la variabilidad de descarga de los emisores; es decir, la lámina de riego en toda el área.

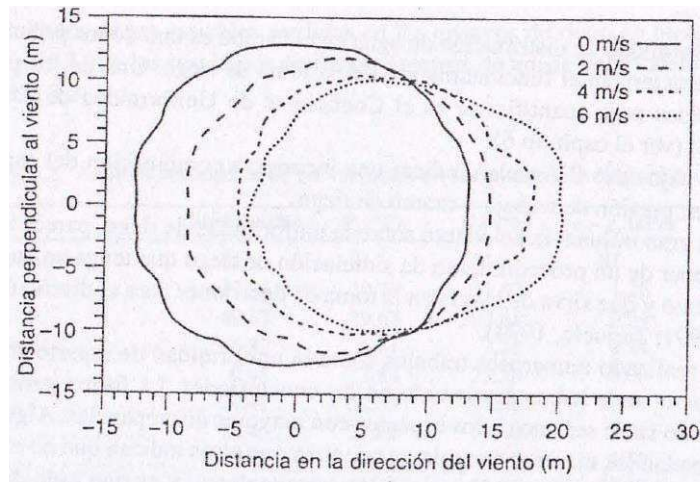


Figura 8: Perímetro mojado por aspersor Naan, trabajando con boquilla de 3.5 mm a 300KPa, y un tubo porta aspersor de 1m, bajo diferentes velocidades de viento con dirección desde la izquierda

Fuente: Tomado de Tarjuelo (2005).

2.3.2 Presión

Según Pascual (2008), si la presión es demasiado baja (para la boquilla correspondiente) se producen grandes gotas que caen mayoritariamente a una cierta distancia del aspersor, obteniéndose un modelo de aplicación en forma de corona circular. En cambio si la presión es demasiado elevada se producen gotas muy pequeñas que caen cerca del aspersor. Es por ello que la presión de aplicación tiene un rol importante en la distribución del agua en la superficie de riego, ver Figura 9.

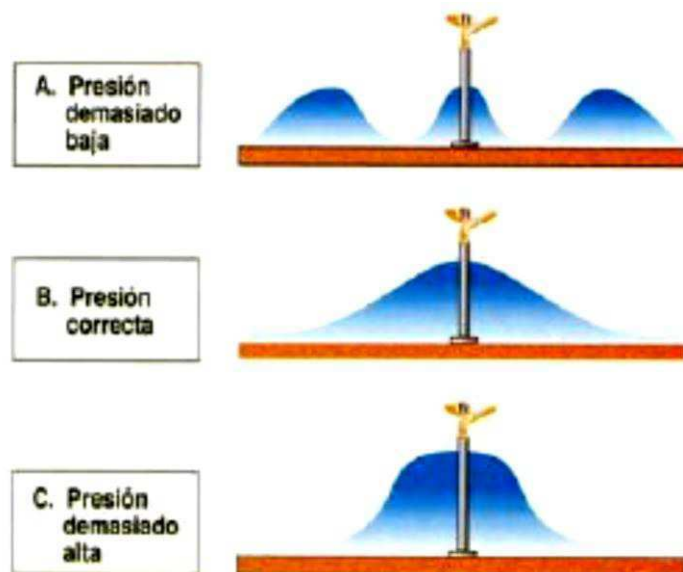


Figura 9: Efecto de la presión en la distribución del agua en riego por aspersión

Fuente: Tomado de Franco *et al.* (2015)

2.3.3 Infiltración

Monje (2006) indica que los suelos de textura fina retienen más cantidad de agua que los suelos de textura gruesa, tanto en lo referente a la capacidad de campo como en el punto de marchitamiento, tal como se muestra en la Figura 10.

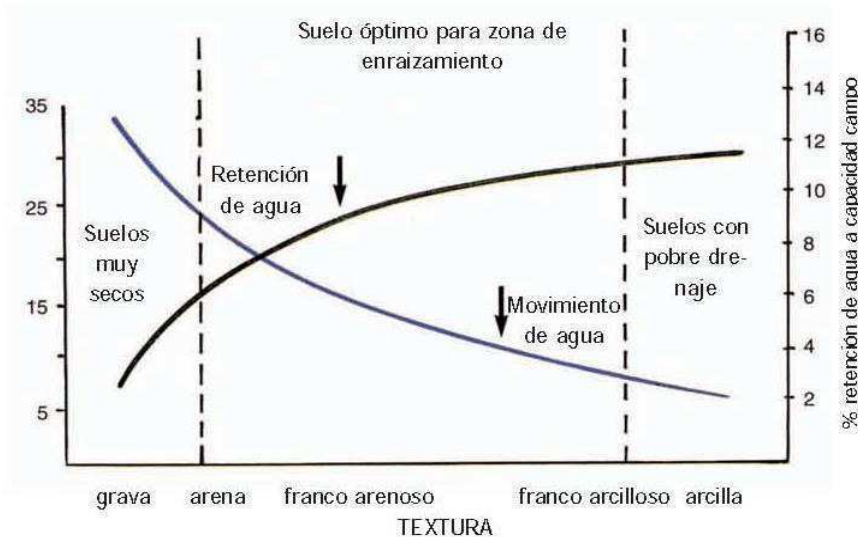


Figura 10: Suelo de textura óptima para enraizamiento en césped
Fuente: Tomado de Monje (2006)

Para el diseño del sistema de riego por aspersión éste factor es de suma importancia, la textura que involucra a su vez la capacidad de infiltración del suelo, es determinante ya que a partir de este dato se selecciona el modelo de aspersor que será utilizado en el sistema. Esta selección considera como variable la capacidad de infiltración de suelo, debiendo ser la pluviometría del aspersor, menor que la infiltración para no ocasionar escorrentía, que a la larga reducen la eficiencia de riego.

Sapir *et al.* (2005) indica que la velocidad de infiltración es un parámetro decisivo en el diseño y la operación de todo sistema de riego. La infiltración indica la velocidad a la cual el agua penetra el suelo. Comúnmente la velocidad de infiltración inicial disminuye durante el mismo riego. En un suelo arcilloso o limoso, el ritmo de infiltración decae considerablemente durante el riego, como se muestra en la Figura 11.

Tarjuelo (2005), indica que la precipitación media del sistema no debe superar la velocidad de infiltración existente al final de cada riego con el fin de evitar encharcamientos o que se produzca escorrentía, erosión, etc.

Pastor (2010) indica que la velocidad de infiltración no es siempre igual para un mismo suelo, pues depende de las condiciones de humedad que presente. Cuando el suelo se

encuentra seco, la infiltración tiene sus máximos valores y luego, conforme se humedece, su capacidad de retener agua es cada vez menor, hasta que en condiciones de saturación alcanza un valor constante, llamada infiltración básica.

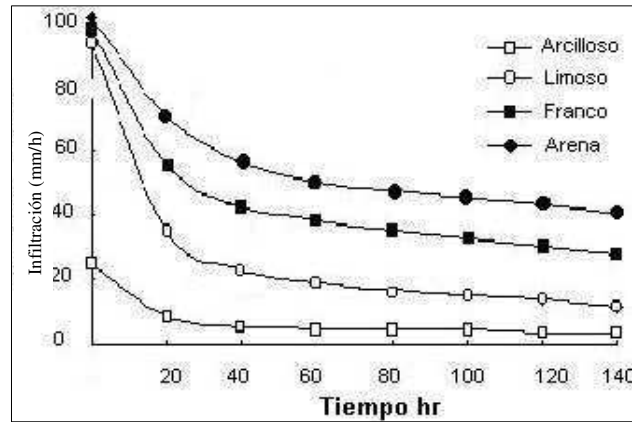


Figura 11: Curvas de infiltración, según textura del suelo
Fuente: Tomado de Pizarro *et al.* (2005)

El método más utilizado para determinar la infiltración básica del suelo es el de los cilindros infiltrómetros. Este método consta del uso de dos anillos de metal que se insertan concéntricamente en el suelo a una cierta profundidad que evite la fuga de agua, se agrega agua en ambos cilindros, pero solo se toman datos del cilindro interior ya que solo se quieren datos del movimiento del agua en sentido vertical. El cilindro exterior disminuye el efecto de expansión horizontal.

2.3.4 Traslape de aspersión

Franco *et al.* (2015) indican, separaciones del 60 por ciento del diámetro efectivo del aspersor para marcos cuadrados o en triángulo (Figura 12) y el 40 y 75 por ciento para diámetros rectangulares, en condiciones de vientos poco intensos (menores de 2 m s^{-1}). El viento por su parte es el principal distorsionador de la uniformidad de reparto, teniendo diferente repercusión según el tamaño de gota y la trayectoria que tenga que recorrer ésta en la caída, influyendo en gran medida en la evaporación y en el arrastre fuera del área regada. Este espaciamiento debe reducirse según la velocidad del viento, en la orden de magnitud, como se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7: Reducción del traslape en función a la velocidad del viento

% Reducción	Velocidad viento (ms^{-1})
10-12	4-6
18-20	8-9
25-30	10-11

Fuente: Tomado de Franco *et al.* (2015)

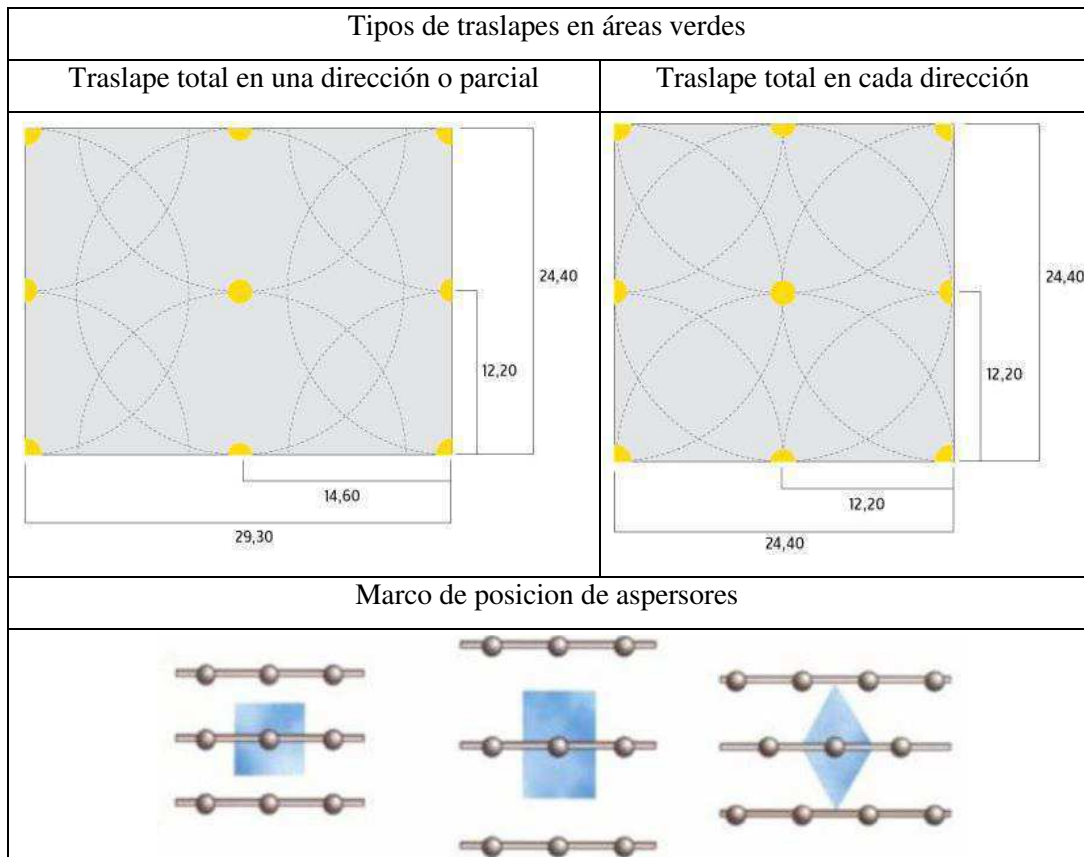


Figura 12: Separación de emisores y traslape en áreas verdes
Fuente: Adaptado de Franco A. y Pérez L. (2008)

En jardines se considera un traslape del 100 por ciento, ya que al haber zonas con riego irregular se notarían áreas con otra coloración.

Ramos *et al.* (2013) indica que los marcos normalmente adoptados como separación entre aspersores dentro de la tubería y entre tuberías suelen ser: 12x12, 12x15, 15x15, 12x18, 18x18 m, en rectángulo y 18x15 o 21x18 m en triángulos, medidos todos ellos en metros. En general son todos ellos múltiplos de seis o nueve. Para tuberías en superficie, y pueden tomar cualquier valor si se trata de tuberías enterradas. Se definen pues por dos cifras: la separación entre laterales y la separación entre aspersores dentro del lateral.

2.4 NECESIDADES DE RIEGO DE LA COBERTURA VEGETAL

Para Tarjuelo (2005), el diseño agronómico es una parte fundamental del proyecto de riego, presentando ciertas dificultades, tanto de tipo conceptual como de cuantificación de ciertos parámetros, por el gran número de condiciones que ha de tener en cuenta (suelo, clima, cultivo, parcelación, etc).

El diseño agronómico es parte del proyecto en cuanto decide una serie de elementos de la instalación tales como el número de emisores, disposición de los mismos, etc. Además proporciona unos datos básicos para el posterior diseño hidráulico, como caudal de emisor y planta, duración de riego, etc. (Pizarro 1996).

El diseño agronómico se desarrolla en dos fases:

- Cálculo de las necesidades de agua.
- Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia y tiempo de riego, caudal del emisor, número de emisores y disposición de los mismos.

Para la determinación de las necesidades netas es menester conocer las características climáticas, de suelo y de cobertura vegetal, en esta información se calcula la evapotranspiración de referencia, luego se calculan los coeficientes del jardín, para calcular la evapotranspiración del parque. En Figura 13 se detalla la metodología seguida.

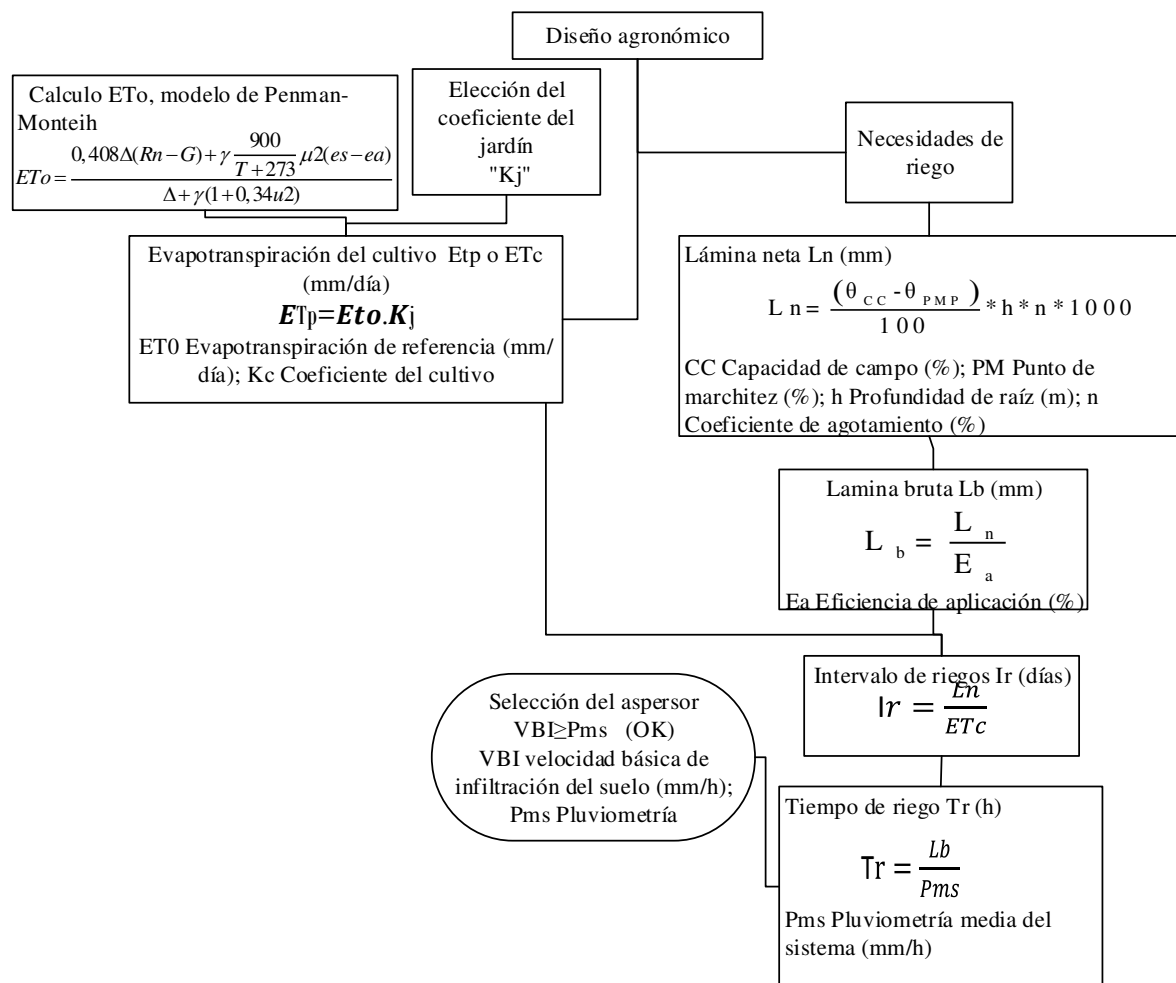


Figura 13: Metodología recomendada para el diseño agronómico
Fuente: Elaborado con base en Pizarro (1996), Tarjuelo (2005) y Allen *et al.* (2006)

Con los datos de suelo (capacidad de campo, punto de marchitez, profundidad de raíz, descenso tolerable) se calcula la lámina neta y la lámina bruta.

Conocida la lámina neta y la evapotranspiración del parque se calcula el intervalo entre riegos y el tiempo de riego con los datos de lámina bruta y precipitación del sistema.

2.4.1 Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La complejidad que presentan los métodos directos de estimación de la evapotranspiración real, ha llevado al desarrollo de una metodología basada en cálculos matemáticos. Basada en la evapotranspiración de referencia.

La ecuación de FAO Penman-Monteith es una representación clara, precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración.

Ecuación de Penman-Monteith

El método de FAO Penman-Monteith para estimar ET_o puede ser derivado de la ecuación original de Penman-Monteith, este método reduce las imprecisiones del método anterior, produciendo globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos. Este método fue desarrollado haciendo la definición de cultivo de referencia como un cultivo hipotético (Figura 14).

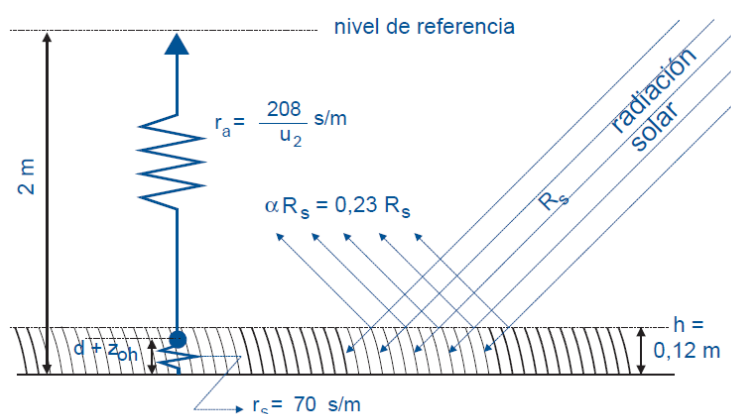


Figura 14: Características del cultivo hipotético de referencia para el cálculo de la ET_o
Fuente: Tomado de Allen *et al.* (2006)

En la determinación del ET_o se utiliza la fórmula de evapotranspiración de referencia según el método de la FAO Penman-Monteith. Esta ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a dos metros de altura,

sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua, se representa mediante la siguiente ecuación.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu^2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Dónde ET_o es la evapotranspiración de referencia ($mm \text{ día}^{-1}$), Rn es la radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); G es el Flujo de calor del suelo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), T es la temperatura media del aire a dos metros de altura ($^{\circ}C$), u_2 es la velocidad del viento a dos metros de altura ($m \text{ s}^{-1}$), e_s es la presión de vapor de saturación (kPa), e_a es la presión real de vapor (kPa), Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$) y γ es la constante psicrométrica ($kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$).

El Cropwat está diseñado para estimar las necesidades hídricas diarias de cultivos mediante la adquisición y procesamiento de datos agro meteorológicos, como son la temperatura del aire: temperatura máxima (T_{max}) y temperatura mínima (T_{min}) promedio diario para periodos de diez días o mensuales; humedad del aire: el promedio mensual o decadiario de la presión real de vapor (e_a) derivada del psicrómetro, del punto de condensación o de los datos de humedad relativa; velocidad del viento: valores promedio decadiarios o mensuales de la velocidad diaria del viento medida a una altura de dos metros (u_2) y radiación: promedio decadiario o mensual de la radiación neta diaria (Rn) calculada de la media decadiaria o mensual de la radiación de onda corta medida de la duración real de las horas diarias de insolación (n).

También se debe considerar que ninguna ecuación formulada para el cálculo de la evapotranspiración y basada en datos climáticos, determina la evapotranspiración perfectamente, bajo diferentes situaciones climáticas específicas. Esto debido principalmente a la simplificación en la formulación y los errores en la recopilación de los datos climáticos. Es probable que instrumentos de precisión, bajo condiciones ambientales y biológicas completamente controladas, demuestren que la ecuación de FAO Penman-Monteith se desvía ocasionalmente de mediciones reales de la ET_o del pasto. Sin embargo, la FAO acordó utilizar la definición hipotética del cultivo de referencia sobre el que se basa la ecuación de Penman-Monteith como un valor de comparación homogeneizado de tal manera que los datos de diferentes zonas del mundo sean comparables entre sí.

2.4.2 Coeficiente del jardín (Kj)

Martin *et al.* (2010) indica que en jardines a diferencia de cultivos agrícolas, se emplea el coeficiente de jardín (Kj) que se basa en una evaluación de las especies plantadas, la densidad de vegetación, microclimas existentes y que se utilizara para el cálculo de la evapotranspiración en lugar del coeficiente del cultivo tradicional.

Para el cálculo de las necesidades de riego, se adopta el coeficiente de jardín, que se basa en una evaluación de las especies plantadas (coeficiente de cultivo Kc), la densidad de vegetación (coeficiente de densidad Kd) y los microclimas existentes (Km) (De los Ángeles 2007): $K_j = K_c \times K_d \times K_m$. Dónde: Kj es el coeficiente de jardín (adimensional); Kc es el coeficiente del cultivo o especie (adimensional); Kd es el coeficiente de densidad (adimensional) y Km es el coeficiente de microclima (adimensional).

a. Coeficiente de especie (Ke)

Existen varias maneras de hallar el valor del coeficiente de especie, aún no está normalizada aunque hay diferentes clasificaciones, ya queda a criterio del diseñador cual usar Fernández (2011) indica valores de coeficiente de acuerdo al tipo de vegetación y talla: alto (a), medio (m) y bajo (b). Ver Tabla 8.

También existe otra clasificación, según UCCE (2010), esta se clasifica según los requerimientos de agua bajo, medio y alto. Ver Tabla 9.

Tabla 8: Valores de coeficiente de especie (Ke) de acuerdo al tipo de vegetación.

Tipo de vegetación	Coeficiente de especies (Ke)		
	a	m	b
Árboles	1.4	1.0	0.5
Arbustos	1.3	1.0	0.5
Tapizantes	1.2	1.0	0.5
Plantas mixtas	1.4	1.0	0.5
Céspedes	1.2	1.0	0.8

Fuente: Tomado de Fernández (2011)

Tabla 9: Coeficiente de especie (Ke) por consumo de agua

Categorías	Valor
Categoría 1: Plantas usan poca agua	0-0.35
Categoría 2: Plantas moderado uso de agua	0.40-0.60
Categoría 3: Plantas alto uso de agua	0.60 a más

Fuente: Tomado de UCCE (2010)

b. Coeficiente de densidad (Kd)

Para Martin *et al.* (2010), el valor del coeficiente de densidad está en función del tipo de vegetación presente en el jardín, siendo el caso más difícil de evaluar el de los árboles, para éstos se considerará un valor de $Kd = 1,0$ cuando la cubierta vegetal (porcentaje de suelo sombreado) esté entre el 60 y el 100 por ciento.

Si este porcentaje es menor del 60 por ciento, Kd disminuye, llegando a su valor mínimo (0,5) cuando la cubierta es del 25 por ciento o menor (ver Tabla 10). Si el tipo de vegetación que predomina en el jardín es arbórea pero además hay arbustos y plantas tapizantes, el coeficiente densidad se ajusta hacia arriba hasta un valor máximo de 1,3.

Tabla 10: Coeficiente de densidad (Kd) en función de sombra

Porcentaje de suelo sombreado (P) en %	Valor
60-100	1
25-60	0.5-1
P<25	0.5

Fuente: Tomado de De los Ángeles (2007)

Para Martin *et al.* (2010), los jardines difieren considerablemente en cuanto a sus densidades de vegetación. Es por ello que el valor del coeficiente está en función de la vegetación presente en el jardín, siendo el caso más difícil de evaluar el de los árboles (ver Tabla 11).

Tabla 11: Coeficiente de densidad (Kd) por tipo de vegetación

Tipo de vegetación	Coeficiente de densidad (Kd)		
	a	m	b
Árboles	1.3	1.0	0.5
Arbustos	1.1	1.0	0.6
Tapizantes	1.1	1.0	0.7
Plantas mixtas	1.1	1.1	0.6
Céspedes	1.0	1.0	0.6

Fuente: Tomado de Martin *et al.* (2010)

c. Coeficiente de microclima (Km)

El coeficiente Km, depende de la influencia externa, se clasifican de acuerdo al tipo de cultivo y talle (ver Tabla 12).

Para Muncharaz (2013), el microclima afecta a las pérdidas de agua y debe considerarse en los cálculos, su valor oscila entre 0.5 y 1.4 de conformidad con los datos de la Tabla 13.

Tabla 12: Coeficiente de microclima (Km) de acuerdo al tipo de cultivo

	Km		
	Alta	Media	Baja
Árboles	1.4	1.0	0.5
Arbustos	1.3	1.0	0.5
Tapizantes	1.2	1.0	0.5
Plantas mixtas	1.4	1.0	0.5
Céspedes	1.2	1.0	0.8

Fuente: Tomado de Martin *et al.* (2010)

Tabla 13: Coeficiente de microclima (Km) de acuerdo al campo

Tipo	Valor
Bajo	0.5-0.9
Medio	1.0
Alto	1.1-1.4

Fuente: Tomado de Muncharaz (2013)

Para determinar el valor del coeficiente de microclima se considerarán los siguientes rangos:

- Medio: se da en condiciones de campo abierto sin que esté sometido a vientos mayores de lo habitual, ni focos de calor externos. Puede producirse en grandes jardines con una pequeña porción de pavimentos.
- Alto: se considera en esta categoría cuando la zona está influida por fuentes externas de calor o está sometida al aumento de la evaporación. Las fuentes de calor pueden proceder de vehículos, edificios, estructuras o uso masivo de pavimentos. También se deben considerar las superficies que reflejen la luz hacia las zonas ajardinadas tal como ventanas, vehículos y similares, que aumentan el calor recibido. Se deben incluir en esta categoría las medianas de autopistas, las alineaciones en ambiente urbano, pequeñas plantaciones en aparcamientos, jardines de solana con bastante pavimento, etc.
- Bajo: en esta categoría se incluirán los jardines en sombra (ya sea por exposición o por protección), y aquellos que están fuertemente protegidos de los vientos dominantes.

2.4.3 Evapotranspiración del cultivo o parque (ETp)

Para Allen *et al.* (2006), la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c , y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

El valor de ET_p o ET_c es calculado a través del enfoque del coeficiente del jardín, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en ET_o y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente K_j , según el método propuesto por la FAO: $ET_p = ET_o \times K_j$. Dónde: ET_o es la evapotranspiración de referencia ($mm\ día^{-1}$), ET_p es la evapotranspiración del jardín bajo condiciones estándar ($mm\ día^{-1}$) y K_j es el coeficiente del jardín (adimensional).

Los efectos combinados de la transpiración del jardín y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del parque, véase Figura 15. El coeficiente único K_j incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la Planificación normal del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico. Calcular el ET_p como el producto de ET_o y K_j . Estos valores de K_j , son aproximaciones usadas para estimar ET_p , solamente durante estudios preliminares o de planificación.

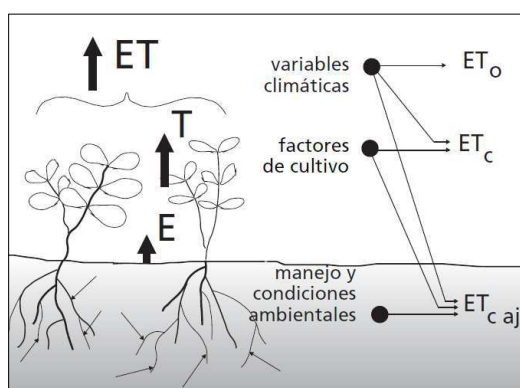


Figura 15: Factores que afectan la evapotranspiración con referencia

Fuente: Tomado de Allen *et al.* (2006)

2.4.4 Determinación de los parámetros de riego

Tarjuelo (2005), indica que para la obtención de los parámetros de riego con fines de diseño y dimensionamiento del equipo de riego es necesaria una información agrotécnica que incluye:

- CC= contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (% en peso).
- PM= Contenido de humedad del suelo en el punto de marchitamiento (% en peso).
- Da= Densidad aparente (t.m⁻³).
- Z= Profundidad radicular efectiva (m).
- DT= descenso tolerable, déficit permisible de manejo o nivel de agotamiento permisible del agua en el suelo para producir un mejor balance económico (%).
- Ea=Eficiencia de aplicación estimada.
- A=Área total a regar.
- Trd=tiempo disponible de riego al día.
- DL=Días libres de riego durante un ciclo de riego.

A partir de esos datos se pueden determinar los parámetros de riego.

a. Lámina neta de riego o dosis neta de riego (Ln)

Matheus (2011) indica que la lámina neta viene dada en función de las características físicas del suelo, que determinan su capacidad de almacenamiento hasta la profundidad radicular de las plantas.

Para el cálculo de la lámina se requiere de los datos de capacidad de campo y punto de marchitez indicados en la Tabla 14.

Tabla 14: Agua retenida por diferentes suelos

Textura del suelo	Cc (%)	Pm (%)	Agua útil (%)
Arcilloso	48	19	29
Arcillo - Limoso	45	18	27
Franco - Arcilloso	41	17	24
Franco - Limoso	38	16	22
Limoso	36	15	21
Franco	31	13	18
Limo - Arenoso	27	11	16
Areno - Limoso	18	8	10
Franco - Arenoso	16	7	9
Arenoso - Franco	14	6	8
Arenoso	12	5	7

Fuente: Tomado de Arapa (2009)

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Ln = \left(\frac{\varphi_{cc} - \varphi_{pm}}{100} \right) \times h \times n \times 1000$$

Siendo: CC la capacidad de campo del suelo (%), PM el Punto de marchitez (%), h la profundidad de raíz (m) y n el coeficiente de agotamiento (%).

b. Eficiencia de riego

Para García y Briones (1997), la Eficiencia de aplicación (Ea), está en función a la región climatológica donde trabaje el sistema de riego por aspersión (ver Tabla 15).

Tabla 15: Eficiencia de aplicación del agua en los sistemas de riego por aspersión

Región climatológica	Eficiencia de aplicación (%)
Humedad o clima frío	80
Clima moderado	75
Clima seco y cálido	70
Clima desértico	65

Fuente: Tomado de García y Briones (1997)

c. Lámina bruta (Lb)

La lámina bruta es la lámina de agua a reponer en cada riego, considerando el manejo del agua en el suelo considerando la lámina neta y la demanda de evapotranspiración para el periodo de máxima demanda.

d. Intervalo o frecuencia de riegos

La frecuencia de riego representa el máximo intervalo entre dos riegos consecutivos, se determina mediante la expresión:

$$I(\text{días}) = \frac{Ln(\text{mm})}{Et_c(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})}$$

e. Tiempo de riego

La duración del riego del riego será función de la dosis bruta que pretenda dar (L_b) y de la pluviométrica del sistema (P_{ms}), de modo que:

$$Tr = \frac{Lb (\text{mm})}{Pms(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})}$$

f. Caudal del sistema (Qs)

El caudal es el volumen de agua que pasa por una tubería o sale de un emisor en un tiempo determinado. Es fundamental conocer el caudal en la toma de agua del sistema de riego,

pues este dato junto a la superficie de jardín y de necesidades hídricas de las especies cultivadas, va a indicar el número de emisores que se necesitan y la zonificación de riego (Torres 2016).

La dotación definitiva del sistema (Q), será calculada una vez que queden fijos todos los aspersores en dicha área, se determina por la sumatoria de los aspersores agrupados resultando:

$$Q = N \times q_a$$

Siendo N el número de aspersores en funcionamiento en una área o postura y q_a el caudal nominal del aspersor.

g. Programación de turnos de riego

La Programación de los turnos consiste en definir las válvulas a abrir o parcelas a regar simultáneamente durante un turno de riego. Esta secuencia de abertura de válvulas normalmente se define en el diseño del sistema de riego, si se riega toda el área del proyecto o todas las válvulas están sujetas a operación. Esta programación es realmente importante analizarla de manera técnica para mantener en correcto funcionamiento hidráulico del sistema, pues de lo contrario, puede ser que algunas áreas del proyecto estén con bajas presiones afectando la uniformidad en la aplicación del agua (USAC 2011).

2.5 DISEÑO HIDRÁULICO DE RIEGO POR ASPERSIÓN

El agua proveniente de una fuente de agua debe ser manejada en forma técnica y económicamente eficiente mientras se pasa de los sistemas de conducción y distribución para alcanzar el suelo agrícola, donde debe ser suministrada a las capas del suelo. En otras palabras, las instalaciones de riego deben ser estructuras de suministro de agua con una amplia variación. Asimismo, deben ser fácilmente operables y servir eficientemente al usuario como una de las instalaciones del predio. Para alcanzar tales objetivos, es importante planificar las instalaciones comprensivamente como un sistema integrado.

Estos sistemas describen principalmente el plan del sistema de riego desde la fuente de agua al área verde. Sin embargo, para ajustar los planes en todas las etapas se deben considerar todos los factores necesarios entre ellos el método de riego, los requerimientos de agua entre

otros. Estos criterios proporcionan los conceptos fundamentales necesarios para el establecimiento de un proyecto de riego. Están destinados a facilitar el trabajo de planificación. En la Figura 16 se detalla la metodología para el diseño hidráulico de una red de distribución de agua.

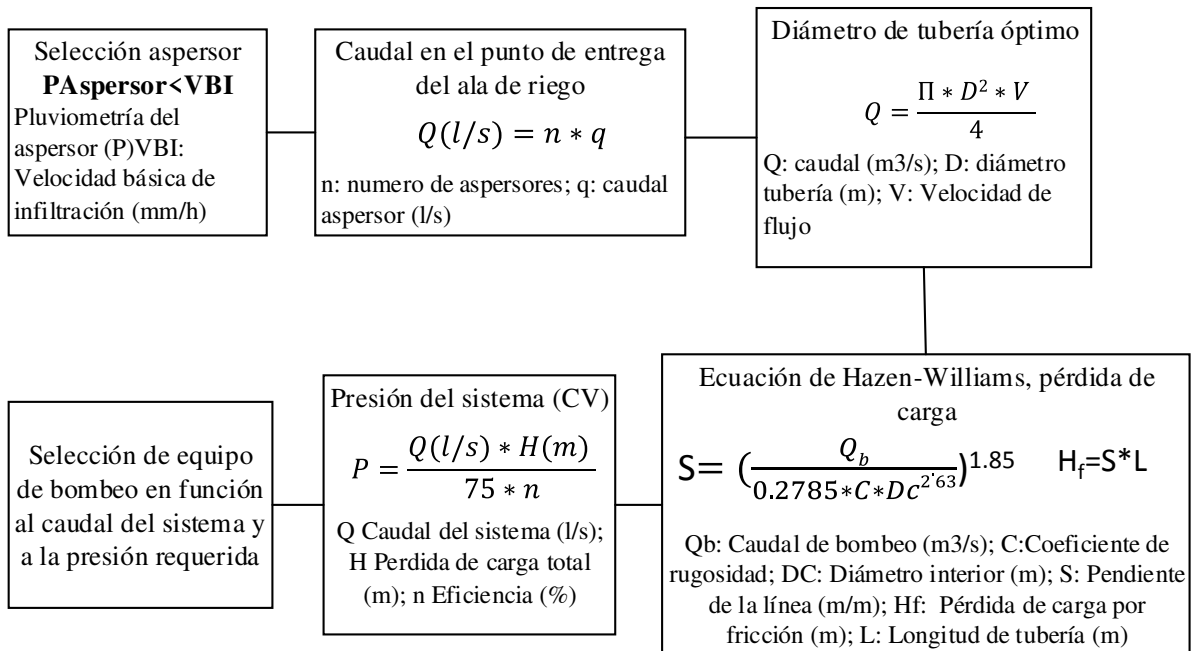


Figura 16: Metodología recomendada para el diseño hidráulico

Fuente: Elaborado con base en Pizarro (1996); Arapa (2009); Saldarriaga (1998); Tarjuelo (2005)

2.5.1 Cálculo y tolerancia de presiones en el ramal de aspersores

La base para determinar los diámetros de los ramales porta aspersores se fundamenta en la uniformidad de distribución de caudales en los mismos, dándose como norma convencional, ratificada por la experiencia, que la diferencia de caudal descargado por dos aspersores cualesquiera de un ramal sea inferior al 10 por ciento del caudal nominal (Tarjuelo 2005). Esta variación de caudal es equivalente a una variación de presión del 20 por ciento de esta manera se tendrá como condición de diseño:

$$\frac{P_m}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} \leq 0,2 \frac{P_a}{\gamma}$$

Donde $P_m \gamma^{-1}$ es la máxima presión en aspersor de ramal, $P_n \gamma^{-1}$ es la mínima presión en aspersor de ramal y $P_a \gamma^{-1}$ es la presión nominal aspersor.

a. Ramal horizontal

Se denomina al ramal cuya cota de inicio y fin es la misma, no hay desnivel topográfico, calculándose la pérdida de carga con la siguiente expresión:

$$H_a = H'_a + h'_a$$

Donde H_a es la altura tubo porta aspersor y h_a es la pérdida de carga en el tubo.

Se deduce de la Figura 17 que la ecuación de funcionamiento es: $\frac{P_o}{\gamma} = H_a + \frac{P_n}{\gamma} + h$, siendo $P_o\gamma^{-1}$ la presión en el origen del ramal, $P_n\gamma^{-1}$ la presión en el fin de línea.

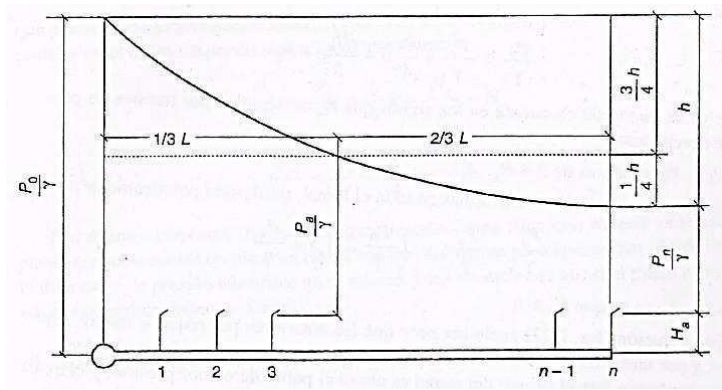


Figura 17: Ramal horizontal
Fuente: Tomado de Tarjuelo (2005)

b. Ramal ascendente

Es cuando el fin del ramal está por encima del nivel de cota del inicio de línea. De la Figura 18 se deduce que la ecuación de funcionamiento es:

$$\frac{P_o}{\gamma} = H_g + H_a + \frac{P_n}{\gamma} + h$$

Siendo H_g el desnivel geométrico entre los extremos del ramal.

Cuando H_g se aproxime a $0.2 P_a\gamma^{-1}$ será necesario cambiar el trazado de los ramales o emplear reguladores de presión en los tubos porta aspersores o aspersores con boquillas limitadoras de caudal con el fin de no elegir diámetros desproporcionadamente grandes (Tarjuelo 2005).

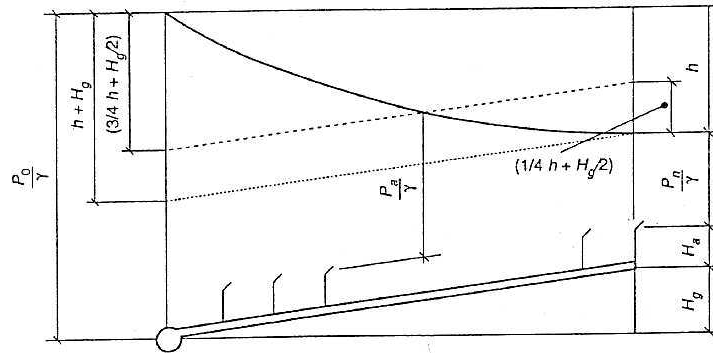


Figura 18: Ramal ascendente
Fuente: Tomado de Tarjuelo (2005)

c. Ramal descendente

En primer lugar es preciso indicar que en este tipo de ramales la presión mínima ($P_n \gamma^{-1}$) ya no se encuentra en el extremo, sino en un punto intermedio, pero el error suele ser pequeño en riego por aspersión si se mantiene como condición de diseño que la diferencia entre la presión en los extremos debe ser menor del 20 por ciento de la presión nominal, y de esta manera se simplifican los cálculos. A la presión en el extremo la llamaremos $P_u \gamma^{-1}$.

Distinguimos a su vez tres casos según sea el valor de la pendiente:

- Caso en que $h > H_g$, ver la Figura 19

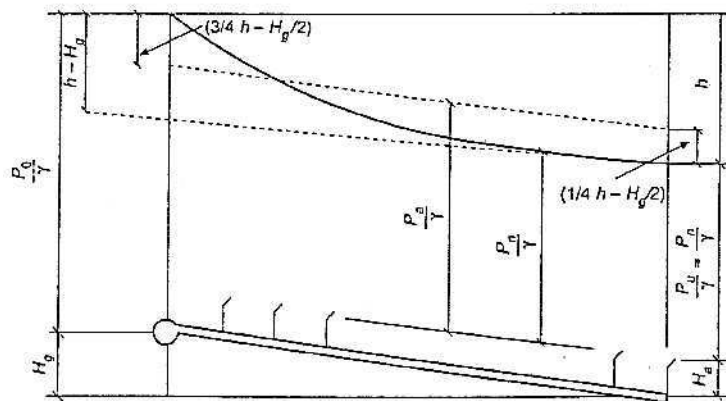


Figura 19: Ramal descendente con $h > H_g$
Fuente: Tomado de Tarjuelo (2005)

De la figura se deduce que la ecuación de funcionamiento es:

$$\frac{P_o}{\gamma} + H_g = H_a + \frac{P_u}{\gamma} + h$$

Donde ya se ha tenido en cuenta en los signos que H_g es negativo por tratarse de pendiente descendente.

- Caso en que $h = H_g$

Las presiones serán casi uniformes en todo el ramal, resultando prácticamente:

$$\frac{P_n}{\gamma} \approx \frac{P_a}{\gamma} \quad y \quad \left(\frac{P_o}{\gamma} - H_a\right) \approx \frac{P_a}{\gamma}$$

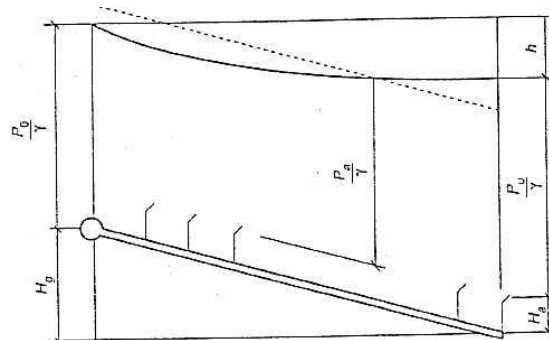
- Caso en que $H_g > h$

Esta solución suele ser peor que las anteriores por requerir mayor diámetro, y por tanto mayor inversión, aunque funciona con menor presión en el origen.

Se demuestra que el origen del ramal es ahora el punto de menor presión, y el extremo el de mayor presión. De la Figura 20 se deduce que la ecuación de funcionamiento será:

$$\frac{P_o}{\gamma} + H_g = H_a + \frac{P_u}{\gamma} + h$$

Figura 20: Ramal descendente con $H_g > h$



Fuente: Tomado de Tarjuelo (2005)

2.5.2 Rugosidad relativa en tuberías

Los valores típicos del coeficiente de rugosidad C usados en el diseño de la red pueden variar ya que por la antigüedad de las tuberías, estas tienden a ser más rugosas, por lo tanto el coeficiente disminuye. En la Tabla 16, se muestran los diferentes valores del coeficiente de rugosidad para la fórmula de Hazen Williams.

Tabla 16: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales

Material	C
Pvc	150
Acero	140
Asbesto Cemento	135
Hormigón Vibrado	130
Plástico Corrugado 125	125
Polietileno	120

Fuente: Tomado de Saldarriaga (1998)

2.5.3 Velocidad de flujo en conductos cerrados

Un criterio para el diseño de tubería, es especificar la velocidad más económica en el tubo, de acuerdo con los datos de Richter (Sotelo 1997) y que se indican en la Tabla 17.

Tabla 17: Velocidad media más económica en tuberías, en ms^{-1} según Richter

Tipo tubería	Velocidad media ms^{-1}	
	Mínima	Máxima
Tuberías de succión en bombas centrífugas, de acuerdo con la carga de succión, longitud, temperatura del agua ($<70^{\circ}\text{C}$)	0.5	1.0
Tuberías de descarga en bombas	1.5	2.0
Tuberías principales	1.0	2.0
Tuberías laterales	0.5	0.7
Tuberías muy largas	1.5	3.0
Tuberías en instalaciones hidroeléctricas con turbinas:		
Con inclinación y diámetro pequeño	2.0	4.0
Con inclinación y diámetro grande	3.6	8.0
Horizontales y gran longitud	1.0	3.0

Fuente: Tomado de Sotelo (1997)

2.5.4 Pérdidas de carga en tuberías

Al circular el agua por una tubería, dado que lleva una cierta velocidad, al rozar con las paredes de las tuberías pierde parte de la velocidad por la fricción que se produce entre el material líquido contra el sólido de las paredes. En tanto mayor es la velocidad mayor será el roce. La pérdida por fricción se define como la pérdida de energía producto de la resistencia que la cañería opone al paso del agua. La fórmula general tiene la siguiente expresión: $H_f = J \times L$. Dónde: H_f es la pérdida de energía o carga producto de la fricción (m), J es la pérdida de carga por cada metro lineal de tubería (m/m) y L es la longitud de la cañería de conducción (m).

a. Numero de Reynolds

Para estudiar el problema de la resistencia al flujo resulta necesario volver a la clasificación inicial de los flujos y considerar las grandes diferencias de su comportamiento entre los flujos laminar y turbulento (Sotelo 1997). En el caso de un conducto cilíndrico a presión, el número de Reynolds se define así:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde V es la velocidad media, D es el diámetro del conducto y ν es la viscosidad cinemática del fluido.

Para el cálculo de resistencia al flujo en conductos a presión se utilizan las siguientes formulas.

b. Fórmula de Darcy-Weisbach

La ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación empírica que relaciona la pérdida de carga hidráulica (o pérdida de presión) debido a la fricción a lo largo de una tubería dada con la velocidad media del flujo del fluido. Esta fórmula puede aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento), debiendo tomar los valores adecuados del coeficiente según se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18: Formulas para el cálculo de pérdidas de carga por fricción, para el flujo de agua en conductos a presión aplicables a la fórmula de Darcy-Weisbach

Autor	Fórmula
Poiseuille: para tubos lisos y rugosos en la zona laminar, donde $Re < 2300$	$f = \frac{64}{Re}$
Nikuradse: tubos lisos, zona turbulenta, hasta $2.3 \times 10^4 \leq Re \leq 3.4 \times 10^6$	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{Re \sqrt{f}}{2.51}$
Nikuradse: tubos rugosos, zona turbulenta	$\frac{1}{f} = 2 \log \frac{3.71D}{K}$
Colebrook: para zona de transición de flujo laminar a turbulento en tubos comerciales. $Re > 4000$	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left\{ \frac{k}{3.71D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right\}$

Fuente: Elaborado con base en Sánchez (2013) y Sotelo (1997)

Dónde h_f es la pérdida de carga (m); f es el factor de fricción (adimensional); D es el diámetro (m); L es la Longitud del tubo (m); V es la velocidad media de flujo (ms^{-1}); G

es la aceleración de la gravedad (ms^{-2}); K es la rugosidad; Re es el número de Reynolds; Q es el caudal (m^2s^{-1}).

Formula general de Darcy –Weisbach es:

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

La fórmula de Darcy–Weisbach puede ser escrita, en función del caudal Q, como:

$$h_f = 0.0827f \frac{L}{D} Q^2$$

c. Fórmula de Hazen Williams

Saldarriaga (1998) indica que el coeficiente de Hazen-Williams (C) es más una medida de la rugosidad relativa que de la rugosidad absoluta. El coeficiente C no es una característica física del tubo, como lo es la rugosidad absoluta K, es una característica del tubo y del fluido. Por esta razón, el uso de la ecuación de Hazen-Williams tiene que estar limitado a ciertas características fluido y del flujo. Los límites, establecidos claramente por los dos investigadores son los siguientes:

- El fluido debe ser agua a temperaturas normales.
- El diámetro debe ser superior o igual a 2 pulgadas.
- La velocidad en las tuberías se debe limitar a 3 m/s.

La ecuación de Hazen William tiene la siguiente expresión:

$$Q = 0.85 \times C \times A \times R^{0.63} S^{0.54}$$

$$Q = 0.278531 \times C \times D^{2.63} S^{0.54}$$

Dónde Q es el caudal (m^2s^{-1}), C es el coeficiente de rugosidad (adimensional), A es el área (m^2), R es el radio hidráulico (m), S es la pendiente (m/m), h_f es la pérdida de carga (m), D es el diámetro (m) y L es longitud de tubería.

2.5.5 Pérdida de carga en accesorios

Para el cálculo de pérdidas de carga en accesorios, se utiliza el método de la longitud equivalente, ver Tabla 19.

Tabla 19: Longitud equivalente de tubería recta en accesorios en metros

Accesorios	Diámetros										
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	6	8
Codo 90°	0.5	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0	2.6	3.1	4.1	6.1	8.2
Tee pase directo	0.4	0.5	0.7	8.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.7	4.1	5.5
Válvula compuerta	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.3	1.7
Reducción a 1/2"	N.E.	0.2	0.4	0.6	0.7	1.0	1.2	1.4	N.E.	N.E.	N.E.
Reducción a 3/4"	N.E.	N.E.	0.2	0.5	0.6	1.0	1.2	1.4	N.E.	N.E.	N.E.
Reducción a 1"	N.E.	N.E.	N.E.	0.3	0.6	0.8	1.2	1.4	N.E.	N.E.	N.E.
Reducción a 1 1/4"	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	0.3	0.8	0.9	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Reducción a 1 1/2"	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	0.4	0.9	1.1	N.E.	N.E.	N.E.
Reducción a 2"	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	0.5	1.1	1.5	N.E.	N.E.
Reducción a 2 1/2"	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	0.6	1.5	N.E.	N.E.
Reducción a 3"	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	0.9	N.E.	N.E.
Reducción a 4"	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	2.3	N.E.
Reducción a 6"	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	1.7

N.E: No especificado

Fuente: Elaborado con base de López *et al.* (1998)

2.5.6 Diámetro interno de tuberías

Para la zona de Perú se utilizan los diámetros con la norma NTP (norma técnica peruana) 399 y 4422, según tipo de tubería, tal como se muestra en la Tabla 20 y Tabla 21.

Tabla 20: Características tubería NTP ISO 4422 clase 10, FS.=2.5

Dn (mm)	De (mm)	Di (mm)	e (mm)	Lt (mm)	Peso (kg)
63	63,0	57,00	3,00	6	5.07
75	75,0	67,80	3,60	6	7.26
90	90,0	81,40	4,30	6	10.43
110	110,0	99,40	5,30	6	15.70
140	140,0	126,60	6,70	6	25.35
160	160,0	144,60	7,70	6	33.34
200	200,0	180,80	9,60	6	52.13
250	250,0	226,20	11,90	6	80.81
315	315,0	285,00	15,00	6	128.54
355	355,0	321,20	16,90	6	169.49
400	400,0	361,80	19,10	6	215.74

Fuente: Tomado de Nicol Perú S. A (2006)

Tabla 21: Diámetro interno tuberías NTP 399.002-2002

Cl.	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	6	8	10
C 5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	56.4	69.4	84.1	108.4	159.8	208.4	259.6
C7.5	N.E.	N.E.	N.E.	38.4	44.4	55.6	67.8	82.1	105.8	155.8	203.2	253.2
C 10	17.4	22.9	29.4	38.0	43.4	54.2	66.0	80.1	103.2	152.0	198.2	247.0
C 15	17.4	22.9	28.4	36.2	41.4	51.6	62.8	76.1	98.0	144.6	188.4	235.0
C 10	15.2	20.7	26.2	34.8	40.6	52.2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

N.E: No especificado

2.6 SOFTWARE WATERCAD V8I

WaterCAD es un programa de cómputo que permite modelar sistemas de distribución y/o conducción de líquidos a presión, para analizar su comportamiento hidráulico o efectuar su dimensionamiento, cuya aplicación es amplia en el abastecimiento de agua para consumo humano, distribución de agua para riego, sistemas contra incendio, conducción de diversos líquidos a presión, etcétera (Sánchez 2013).

2.6.1 Modelamiento hidráulico

Para la elaboración del modelo hidráulico de la red de riego se requiere de la información que será ingresada en el modelo WaterCAD que son los datos de topología, demanda de agua, presión y los datos de operación. La información output del modelo mediante los algoritmos de solución del sistema serían los diámetros de las líneas de la red, presiones y valores asociados en un momento determinado mediante el cálculo hidráulico (Figura 21).

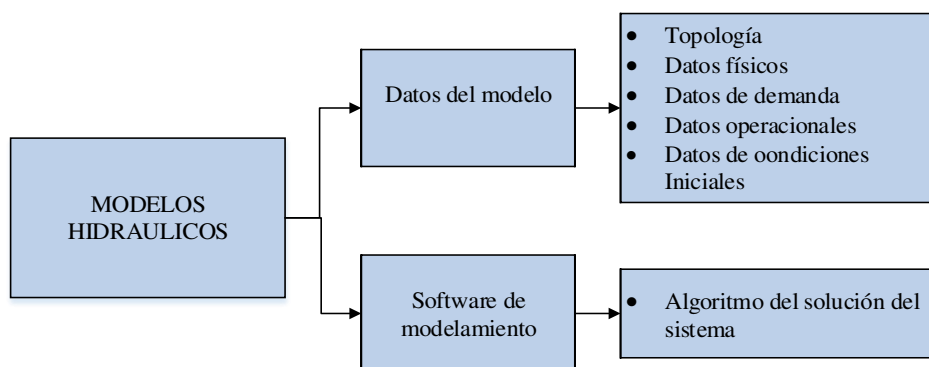


Figura 21: Partes de un modelo hidráulico

Fuente: Tomado de Sánchez (2013)

El modelamiento hidráulico permite determinar las presiones en los nudos y los caudales reales que circulan por las tuberías, para unas condiciones de trabajo dadas, también ayudan a diagnosticar el estado de la red detectando problemas, ayudan a estimar la eficiencia hidráulica del sistema, permiten planificar la red efectivamente y mejora las condiciones de operación de la red, entre otras aplicaciones.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación y extensión

El parque zonal Huiracocha se encuentra ubicado en el distrito de San Juan de Lurigancho, departamento de Lima (Figura 22), provincia de Lima y posee un área total de 21.3 ha, de los cuales 12 hectáreas corresponden a áreas verdes. Este parque está bajo administración de SERPAR (Servicio de parques de Lima).

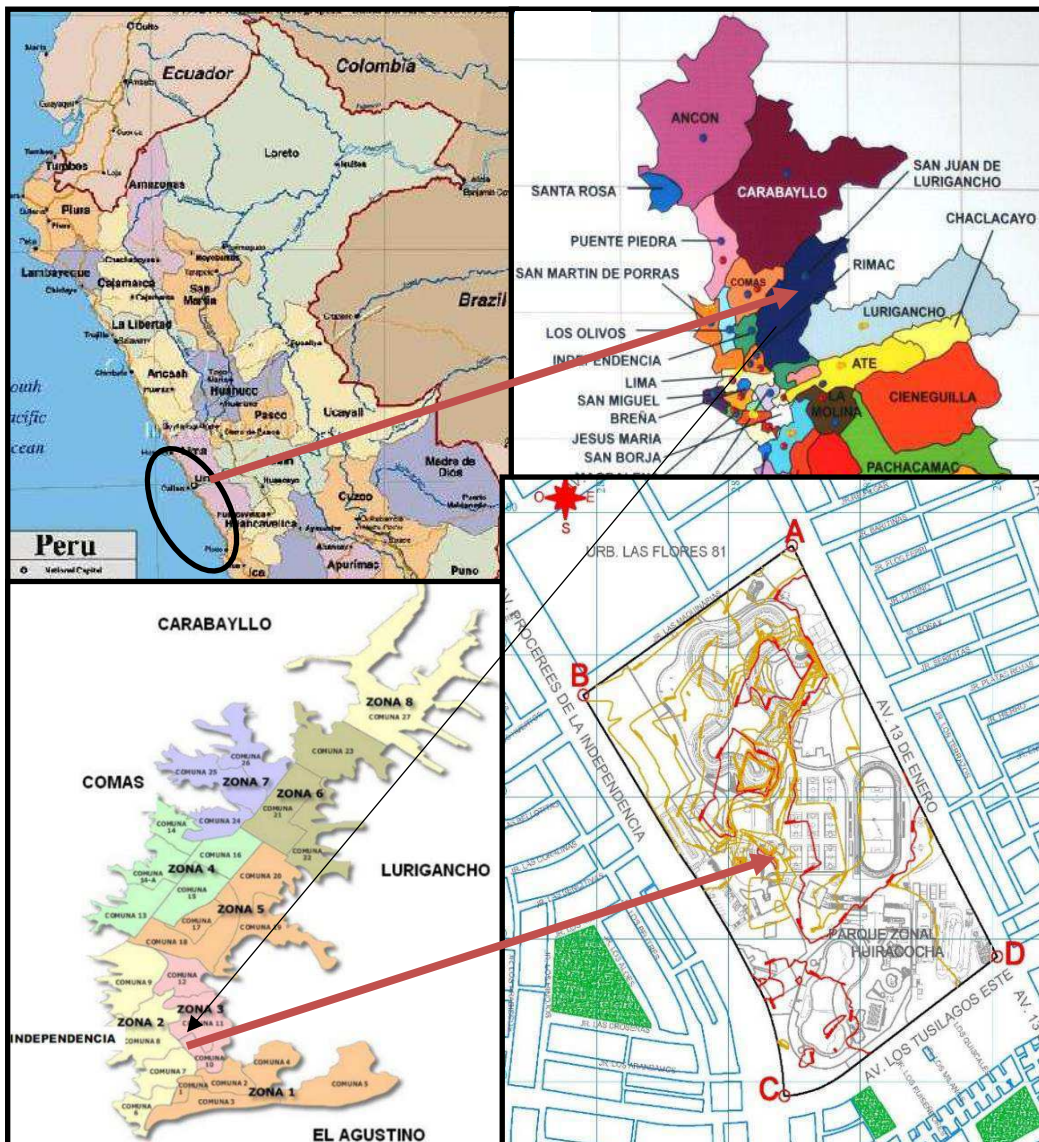


Figura 22: Macro localización del proyecto

3.1.2 Vías de acceso

El acceso al área de estudio es por vía terrestre desde el Cercado de Lima, a través de la avenida Próceres de la Independencia, para luego hacer el ingreso por la misma avenida a media cuadra del cruce con la avenida Tusilagos. Toda la vía se encuentra pavimentada y en condiciones óptimas, se observa un fácil acceso al parque zonal, al encontrarse en una zona urbana no se presentan problemas relacionados al acceso al agua y la energía.

3.1.3 Agua y energía

La fuente de agua para el riego proviene de la red de agua potable del distrito, el parque cuenta con 4 suministros de agua potable ubicados en diferentes puntos, dos de ellos cercanos al hospital de 2 pulgadas de diámetro, uno en la planta de tratamiento de 2 pulgadas de diámetro y otro cercano al tanque elevado de 1.5 pulgadas de diámetro.

Para el almacén del agua de los 4 suministros se tiene 1 tanque de 300 m³ cercano al hospital, uno de 120 m³ para el PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) y un tanque elevado de 300 m³ (que abastece a las piscinas y servicios higiénicos). Aparte se cuenta con un reservorio de 120 m³ dentro del área de piscinas, que almacena agua proveniente de las duchas y los lavaderos, esta agua se también se destina para el riego de áreas verdes. También cuenta con un reservorio que estaba destinado al acopio del agua para el Ptar que se utiliza cuando hay exceso de agua, sobretodo en invierno ya que en verano se consume toda la oferta.

En resumen se tiene un volumen de almacenamiento de 940 m³ de los cuales se almacena durante la noche en un promedio de 12 horas el volumen de 450 m³ en verano y 390 m³ en invierno con un caudal aproximado de 7.5 ls⁻¹. Ver Tabla 22.

Tabla 22: Suministro y almacenamiento de agua

Suministro	Diámetro (Plg)	Volumen reservorio (m ³)	Almacén diario verano (m ³)	Almacén diario Invierno (m ³)	Q (ls ⁻¹)
Hospital	$\frac{2}{2}$	300	150	150	2.98
Ptar	1.5	120	80	90	1.59
Tanque elevado	2	300	150	150	2.98
Desagüe piscina	x	120	70	0	
acopio Ptar		100			
	total	940	450	390	7.54

El riego está a cargo del personal del SERPAR, aplicado de manera manual, con periodicidad diaria en la temporada de verano e interdiario en invierno, tal como se muestra en la Figura 23.



Figura 23: Riego por personal de Serpar (izquierda), riego por inundación en áreas verdes (derecha)

No hay un control del gasto de agua para los servicios generales ni áreas verdes tal como se aprecia en la Figura 24.

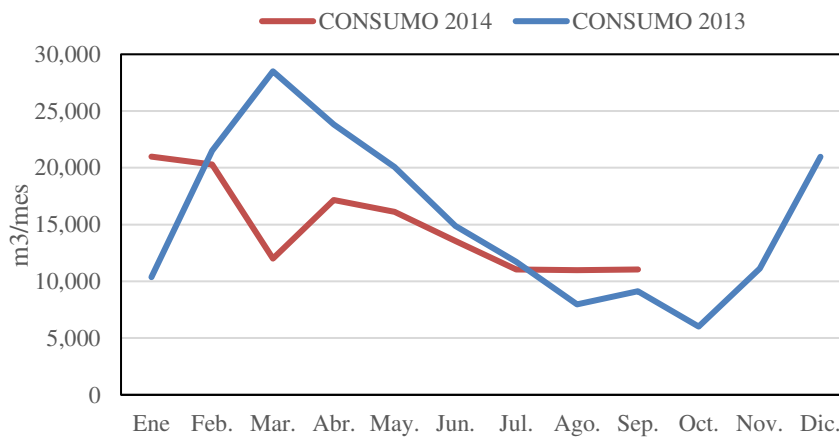


Figura 24: Consumo de agua mensual (m^3mes^{-1}) en el año 2014 y 2015 del parque Huiracocha para todos los servicios

Fuente: Elaborado con base de SERPAR

La energía disponible está distribuida entre los tableros de las piscinas, los circuitos de juegos, áreas comunes y oficinas con un valor de 325 kilo voltios ampere (KVA). Indicando que para los meses de verano hay una caída de tensión.

3.1.4 Suelo

La exploración de suelos se realizó mediante calicatas sobre las áreas donde se proyectaron las estructuras, con ello se identificó la estratigrafía del terreno así como el tipo de suelo.

Las calicatas alcanzaron profundidades variables, siendo la máxima de tres metros, obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 23).

Tabla 23: Densidad de suelo en diferentes puntos del parque.

Calicata	Profundidad (m)	Densidad (gcm^{-3})
C-1	2.5-3.0	1.54
C-5	2.5-3.0	1.73
C-6	0.0-1.0	1.50
C-10	2.6-3.0	1.53
C-11	2.1-3.0	1.60

Fuente: Elaborado con base de Serpar

En general, el área del parque Huiracocha presentaba una capa superficial de relleno contaminado con plásticos, entre otros sólidos, de tres metros de profundidad como mínimo. Hacia el sur este, zona de la losa deportiva, se registró localmente el suelo natural como limo arenoso, color beige, húmedo y de consistencia media. Y hacia el norte, zona de vivero y servicios higiénicos, el suelo arcilloso con una profundidad de 2.50 m, esta zona presenta un desnivel mayor de un metro conformado por relleno contaminado. La contaminación por plásticos y restos orgánicos se dio hasta en un ochenta por ciento.

Para la construcción de las estructuras se cubrió en ciertas zonas con un relleno de material propio, arena limosa, con una densidad de 1.58 Ton.m^{-3} . Al ser un suelo de relleno y al regarse por inundación se presentan problemas de socavación del suelo y falla de estructuras tal como se muestra en la Figura 25.



Figura 25: Falla estructural zona patio de comidas (izquierda), grietas veredas (Derecha)

3.1.5 Clima

En los meses de mayor temperatura se registró un incremento en los valores de viento, insolación y radiación, caso opuesto al dato de humedad que asciende en los meses de menor temperatura, tal como se detalla en la Tabla 24 y se puede visualizar en el esquema de la Figura 26.

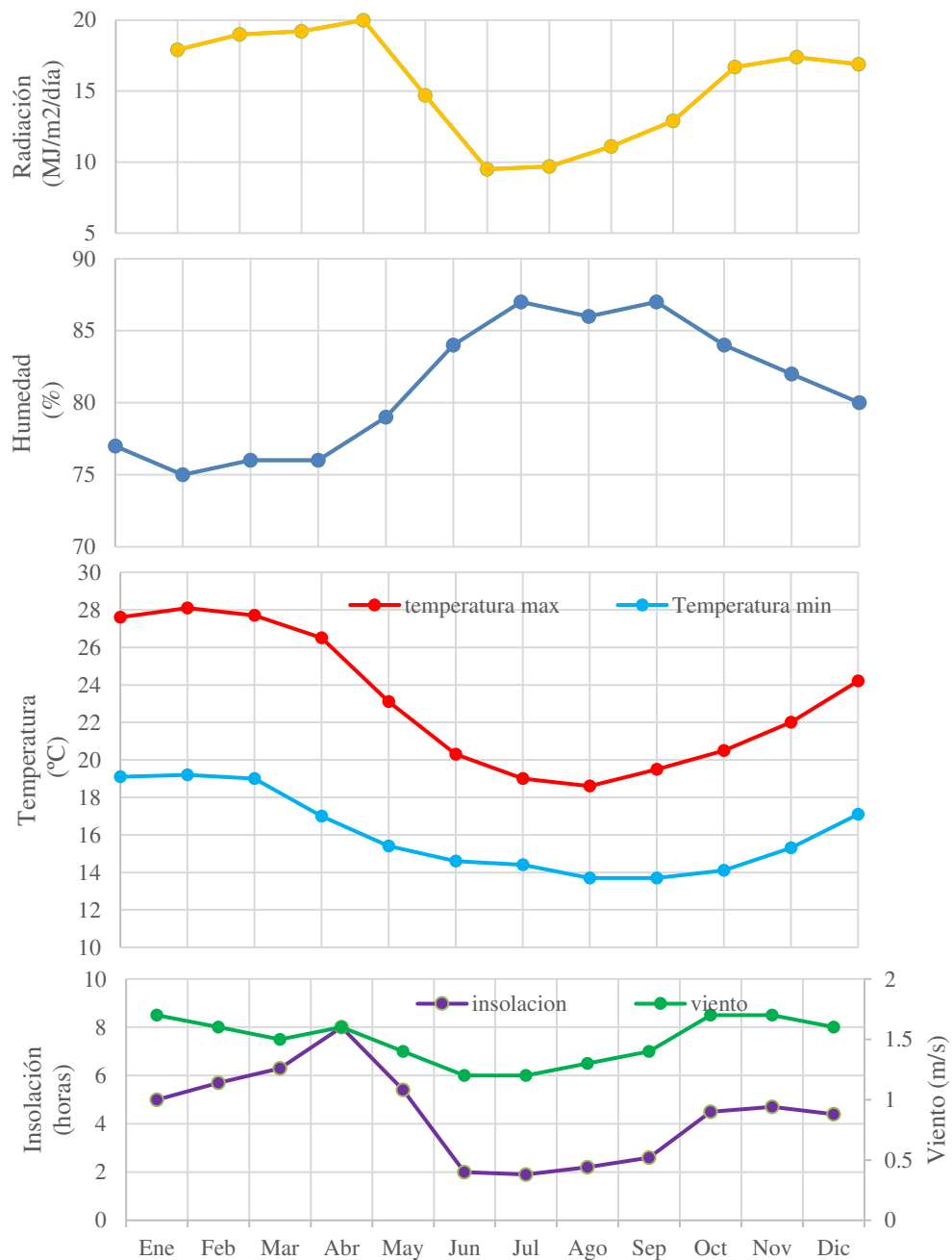


Figura 26: Variación mensual promedio de la temperatura, radiación, humedad, insolación y viento

Fuente: Elaborado con base en estación meteorológica Von Humboldt del año 2006 al 2014

Tabla 24: Información climática mensual promedio del año 2006 al 2014

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento ms ⁻¹	Insolación horas	Rad MJm ² día ⁻¹
Enero	19.1	27.6	77	1.7	5	17.9
Febrero	19.2	28.1	75	1.6	5.7	19
Marzo	19	27.7	76	1.5	6.3	19.2
Abril	17	26.5	76	1.6	8	20
Mayo	15.4	23.1	79	1.4	5.4	14.7
Junio	14.6	20.3	84	1.2	2	9.5
Julio	14.4	19	87	1.2	1.9	9.7
Agosto	13.7	18.6	86	1.3	2.2	11.1
Septiembre	13.7	19.5	87	1.4	2.6	12.9
Octubre	14.1	20.5	84	1.7	4.5	16.7
Noviembre	15.3	22	82	1.7	4.7	17.4
Diciembre	17.1	24.2	80	1.6	4.4	16.9
Promedio	16.1	23.1	81	1.5	4.4	15.4

Fuente: Estación Alexander Von Humboldt

3.1.6 Vegetación

Choy (2000) indica que las plantas que conforman un jardín pueden agruparse en:

- Especies cespitosas: plantas capaces de formar una cubierta vegetal continua y persistente, bajo uso frecuente y siegas regulares, las cuales a formar una comunidad con el suelo sobre el que se sustenta y adhieren las raíces dando lugar al césped. Ejemplos: grass bahía, grass bermuda, ray-grass, grass americano (Figura 27).



Figura 27: Grass americano

- Plantas herbáceas: se incluye en este grupo a las plantas de porte bajo, herbáceas y que se cultivan por la vistosidad de la flor. Ejemplos: Caléndula, nemesia, petunia, zinnia, celosía, agérato, pensamiento, viola, prímula, calceolaria, cineraria, alstroemeria, anemone, azucena, begonia, tuberosa, ciclamen, dalia, gladiolos, lirio, ranunculus, tulipán, hemerocalis.

- Especies de follaje ornamental: son aquellas utilizadas por su follaje como elemento ornamental, estando su belleza al mismo nivel que la de las flores de otras plantas. Según las necesidades y alturas se prestan a la formación de grupos y bordes para combinar con plantas floridas. Ejemplos: coleus, zebrinas, sanguinarias, cineraria blanca, kochia, hipoestis, espárragos, coles.
- Arbustos: son plantas de tamaño intermedio, que se les cultiva en unos casos por su follaje muy decorativo y en otros por sus flores vistosas. Se recomienda un riego frecuente con agua a presión, a fin de lavar las hojas y eliminar posibles insectos. Ejemplos: acalifas, sancheia, abutilon, aralia, cucardas, laurel, crotón.
- Trepadoras: las plantas incluidas en este grupo poseen un tallo alargado, que puede ser colocado sobre determinada estructura para su crecimiento. Ejemplos: Buganvilia, madreselva, bignonia, jazmín, alamanda, pirostegia o lluvia de oro.
- Tapizantes: son especies que revisten el terreno de una capa continua y de reducido espesor, dotadas de rusticidad frente a las condiciones climáticas, de suelo, etc. Ejemplo: ipomeas, portulacas, campanilla, mesembryatemos.
- Árboles xerófitos: Como por ejemplo jaracaranda, tulipán africano, ficus, tipa, ponciana, parkinsonia, molle, grevillea, sauce, scheffleras, palmeras.

Al respecto, de la inspección a la zona de estudio (Figura 28), se identificaron las especies que se detallan en la Tabla 25.



Figura 28: Área verde, zona anfiteatro (izquierda), área entrada principal (derecha)

Tabla 25: Especies identificadas en el parque zonal





Nombre común	Nombre científico	Familia
<u>CÉSPED:</u>		
Grass americano o grama americana	<i>Stenotaphrum secundatum</i>	Poaceae
Gramma común o bermuda	<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae
<u>ÁRBOLES:</u>		
Molle Serrano	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae
Huaranguay	<i>Tecoma sambucifolia</i>	Bignoniaceae
Molle costeño	<i>Schinus terenbenthifolius</i>	Anacardiaceae
Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae
Eucalipto blanco	<i>Eucaliptus globulus</i>	Mirtaceae
Papelillo	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Sapindaceae
Mimosa	<i>Acacia saligna</i>	Fabáceas
Palmera Bruja	<i>Syagrus romanziffiana</i>	Arecáceas
Eucalipto	<i>Eucalyptus longifolia</i>	Mirtáceas
Pino	<i>Pinus sp.</i>	Pinaceae
<u>ARBUSTOS</u>		
Farolito	<i>Malvaviscus arboreus Cav.</i>	Malvaceae
Abutilon	<i>Abutilon x hybridum</i>	Malvaceae
Crotón	<i>codiaeum variegatum</i>	Euphorbiaceae
Cheflera	<i>Schefflera arboricola</i>	Araliaceae
Acalifa roja enana	<i>Acalypha godseffiana</i>	Euphorbiaceae
Rosas	<i>Rosa sp.</i>	Rosaceae
Cordyline rojo	<i>Cordyline fruticosa</i>	Lomandraceae
Yuca	<i>Yucca aloifolia var. variegata</i>	Agavaceae
Cucarda	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	Malvaceae
<u>PLANTA CRASA</u>		
agave, pita, maguey	<i>Agave americana</i>	Agavaceae
Aptenia	<i>aptenia cordifolia</i>	Aizoaceae
Lamprantus rosa	<i>lampranthus roseus</i>	Aizoaceae
Hoja de lengua	<i>Glottiphyllum longum</i>	Aizoaceae
Candelabro	<i>euphorbia candelabrum</i>	Euphorbiaceae
Portulaca	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae
<u>PLANTAS HERBÁCEAS Y FLORES</u>		
Geranio	<i>Pelargonium zonale</i>	Geraniáceas
Salvia Roja	<i>Salvia splendens</i>	Labiaceae
Amor de hombre	<i>Tradescantia fluminensis</i>	Commelinaceae
Crisantemo	<i>Chrysanthemum x hortorum</i>	Asteraceae
Lengua de suegra	<i>Sansevieria trifasciata</i>	Liliaceae
Rhoeo	<i>Rhoeo spathacea</i>	Commelinaceae
Petunia	<i>Petunia hybrida</i>	Solanaceae

Fuente: Elaborado con base en Wust (2012), Bell (2001), Toogood (2000), Nessmann (1994) y García *et al.* (2008)

3.2 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Los principales equipos y herramientas computacionales empleadas en el estudio se detallan en la Tabla 26.

Tabla 26: Equipos y herramientas computacionales empleadas en el estudio

MATERIAL	DESCRIPCIÓN
SOFTWARE	
	Programa informático para el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos y las necesidades de riego en base a datos de suelo, clima y vegetación.
	Es un <i>software</i> de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D.
	AutoCAD Civil 3D cuenta con herramientas avanzadas para la creación dinámica y análisis de superficies, interacciona en tiempo real entre el diseño 2D y 3D, facilitando la simulación de un proyecto.
WaterCAD 	Es un <i>software</i> para el análisis, modelación y gestión de redes a presión. Permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.).
EQUIPO	
Cilindros infiltrómetros	Son cilindros concéntricos que permiten medir la capacidad de infiltración de los suelos, es usado frecuentemente ya que da una mejor evaluación, ya que en este procedimiento se limita la influencia del contorno, obteniéndose una mejor precisión en la determinación de la tasa de infiltración vertical

3.3 PROCEDIMIENTO

La problemática presente en el parque Huiracocha que motiva la presente investigación está relacionada con la deficiente utilización del recurso hídrico en el riego de las áreas verdes.

En este contexto, se propone una alternativa para el riego de las mismas, con el fin de disminuir la baja eficiencia y distribución en la aplicación de agua.

Dicho análisis contempla si el empleo de un sistema de riego por aspersión podrá satisfacer las necesidades hídricas de las especies plantadas, si podrá garantizar la uniformidad de riego en todas las áreas, si optimizará el consumo de agua y si evitará la compactación del suelo por saturación excesiva de agua, disminuyendo el riesgo de fallas en las estructuras.

Dado que el objetivo de la investigación es diseñar un sistema de riego por aspersión para áreas verdes urbanas, se prevé desarrollar el análisis, según los objetivos específicos del estudio.

3.3.1 Procedimiento para el diseño agronómico

- a. Se obtuvo información básica como: infraestructura de riego actual, acciones de operación y mantenimiento, las características del terreno, vegetación, topografía, abastecimiento de agua y la climatología.
- b. Se calculó la evapotranspiración de referencia (E_{To}) por el método de Penman Monteith con el modelo Cropwat, a partir de datos de 9 años (periodo 2006 al 2014) obtenidos en la estación meteorológica de Von Humboldt.
- c. Se determinó la evapotranspiración del parque (E_{Tp}), para ello se calculó el coeficiente del jardín (K_j) en función al tipo de cobertura vegetal: árboles, arbustos, herbáceas-flores, tapizantes y cespitosas, calculándose los coeficientes de: especie (K_e), densidad (K_d) y de microclima (K_m). La E_{Tp} se determinó por el múltiplo del coeficiente del jardín y la Evapotranspiración de referencia. Al no haber precipitación efectiva ni aporte capilar se igualan las necesidades netas al valor de la evapotranspiración del parque.
- d. Una vez conocidas las necesidades hídricas de los cultivos se determinaron los distintos parámetros de riego: dosis, intervalos entre riegos, caudal necesario, duración del riego, número de aspersores y disposición de los mismos. La dosis o lámina de riego se calculó con la información agrotécnica: capacidad de campo, punto de marchitez, densidad del suelo, profundidad radicular y fracción de agotamiento, luego con el valor de la eficiencia de aplicación estimada se calculó la lámina bruta. Con los datos de catálogo se eligió un aspersor que tenga una pluviometría inferior o igual a la velocidad de infiltración establecida y se obtenga una buena uniformidad en el reparto. Asimismo con los valores de E_{Tp} y pluviometría del sistema (obtenida de la prueba de infiltración, ver Figura 29, se calculó el tiempo y frecuencia de riego.



Figura 29: Prueba de infiltración

- e. Para la disposición de emisores se consideraron los siguientes criterios: la distribución y forma de las áreas a regar, la presencia de estructuras presentes en las áreas verdes, el radio de alcance de los emisores y que el traslape sea del 100. Una vez garantizada la cobertura de riego en el área, se agruparon los emisores en función al caudal de la válvula seleccionada.
- f. Se determinó el número de válvulas que serían operados simultáneamente, agrupándose en función al caudal, determinando los sectores o turnos de riego.

3.3.2 Procedimiento para el diseño hidráulico

- a. Se calcularon los diámetros de la red subtruncal en función a la velocidad permisible, los diámetros comerciales y a la tolerancia de presiones en la subunidad
- b. Se calculó la pérdida de carga en la subunidad, con las fórmulas de Hazen William y Darcy Weisbach. Para la pérdida de carga en accesorios se consideró el criterio de longitud equivalente.
- c. Conocidas las pérdidas de carga se calcularon las presiones en los arcos de riego considerando: la pérdida de carga en la subunidad, el desnivel topográfico, la altura del vástago del emisor, la pérdida de carga en el arco de riego, la presión requerida por el emisor y un margen de seguridad del 10 por ciento.
- d. Finalmente se procedió al modelamiento hidráulico donde se calcularon los diámetros de la red troncal, las presiones en el cabezal y se simuló el funcionamiento del equipo de bombeo en los 17 turnos de riego.

La metodología del diseño explicada anteriormente se detalla en la Figura 30.

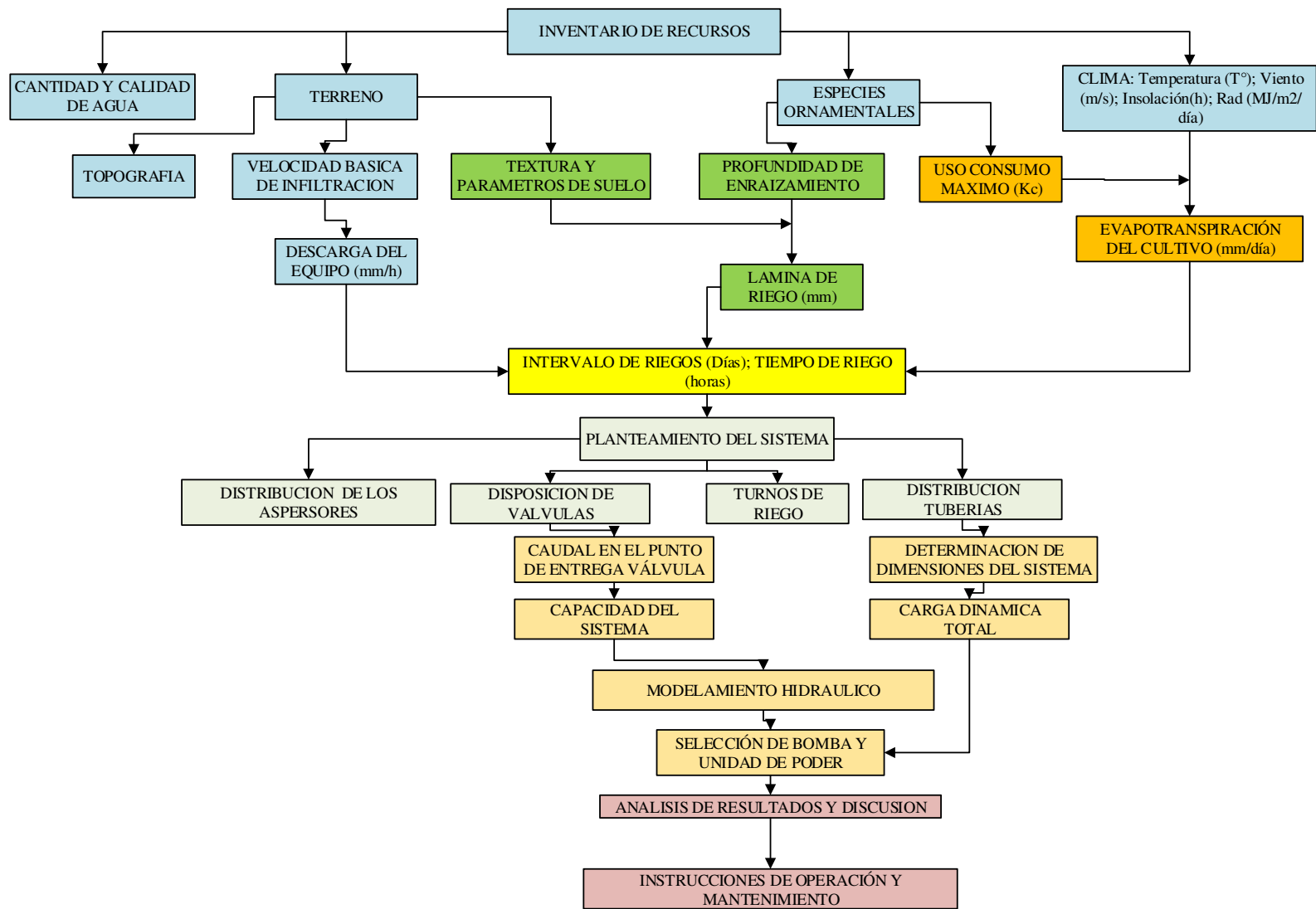


Figura 30: Esquema metodológico seguido en la investigación

3.3.3 Procedimiento para el modelamiento hidráulico

El modelamiento hidráulico se inició con la identificación del tipo de modelo, en este caso el de modelar una red abierta, luego se recolectó la información input (topografía, demanda de agua, elementos del sistema) para construir la topología de la red. Con los datos de calibración se simuló el funcionamiento del sistema para los 17 turnos de riego, obteniendo con ello los diámetros de la red troncal, las pérdidas de carga en la matriz, las presiones en el cabezal y el sistema de bombeo. Ver Figura 31.

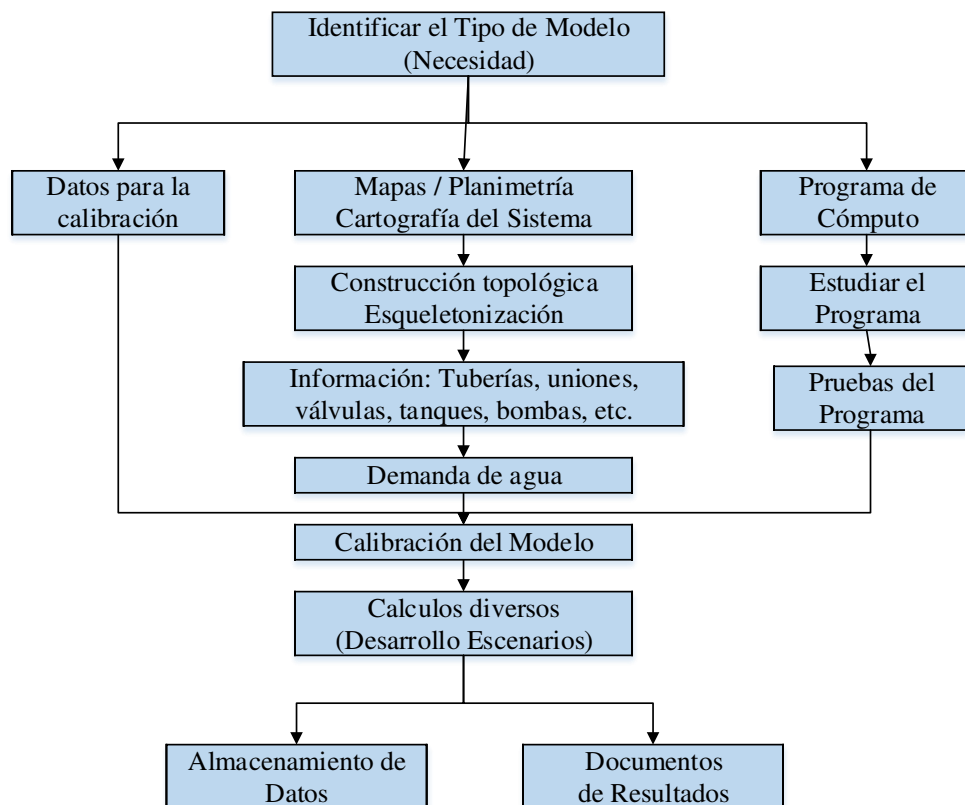


Figura 31: Metodología para el modelamiento hidráulico
Fuente: Tomado de Sánchez (2013)

Para ello se siguió el siguiente procedimiento:

a. Configuración general del modelo

- Se configuró el modelo para crear un nuevo proyecto con la opción *Create New Project*, así también se ingresó la información general del proyecto, estos datos son netamente informativos como se aprecia en la Figura 32.

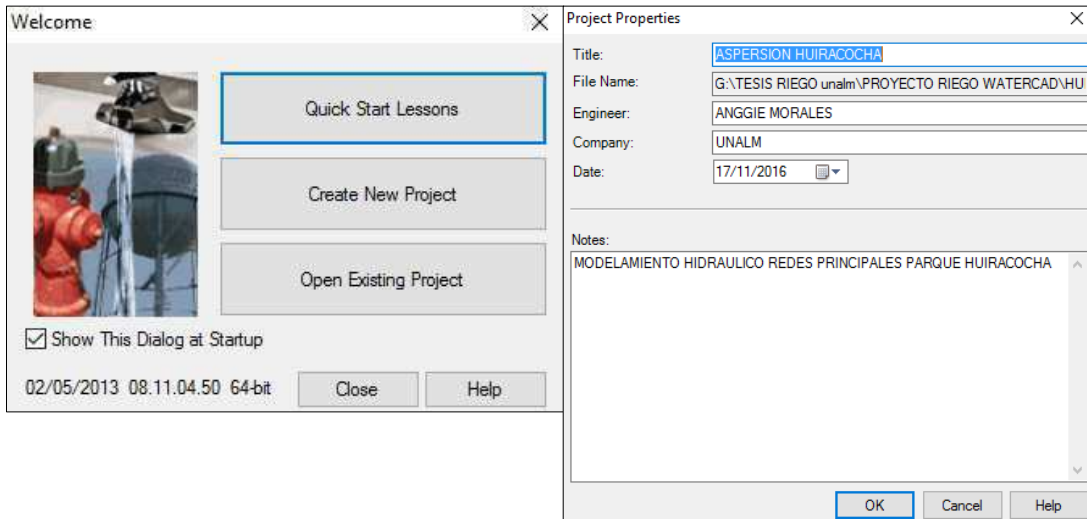


Figura 32: Creacion nuevo proyecto (Izquierda), Propiedades del proyecto (Derecha)
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

- Se configuraron las unidades, se seleccionó el sistema internacional y se ajustaron las unidades para las medidas de caudal, longitud y presión (Figura 33).

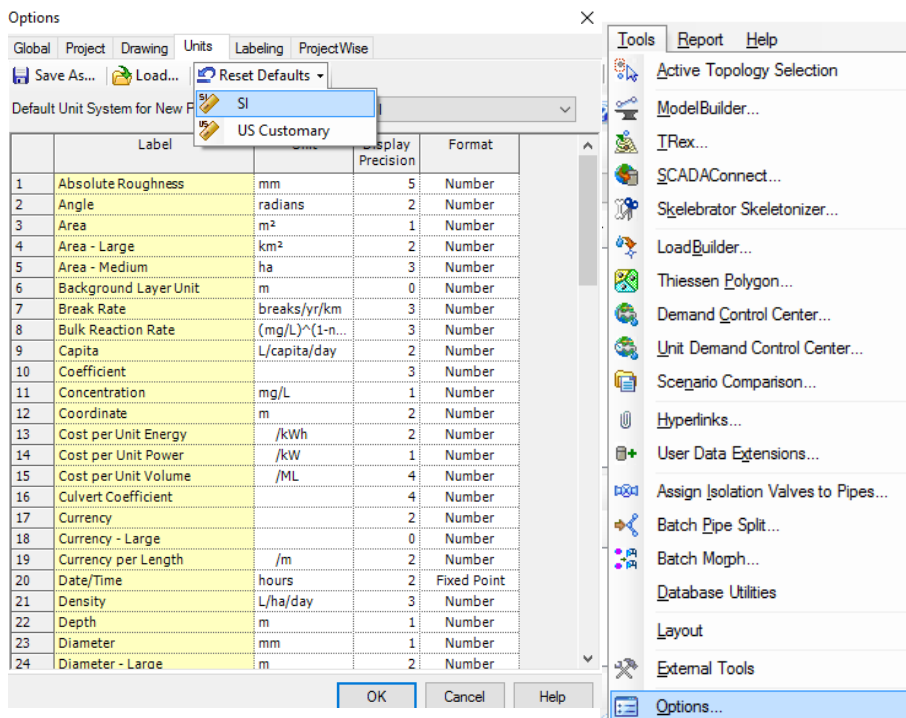


Figura 33: Configuración de unidades en WaterCAD
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

- Se configuraron las opciones del dibujo en la pestaña *Drawing* (Figura 34), se definió la escala del dibujo y opciones de texto. Se seleccionó el modo escalado para trabajar con las longitudes reales, para los demás campos se mantuvo la configuración por defecto.

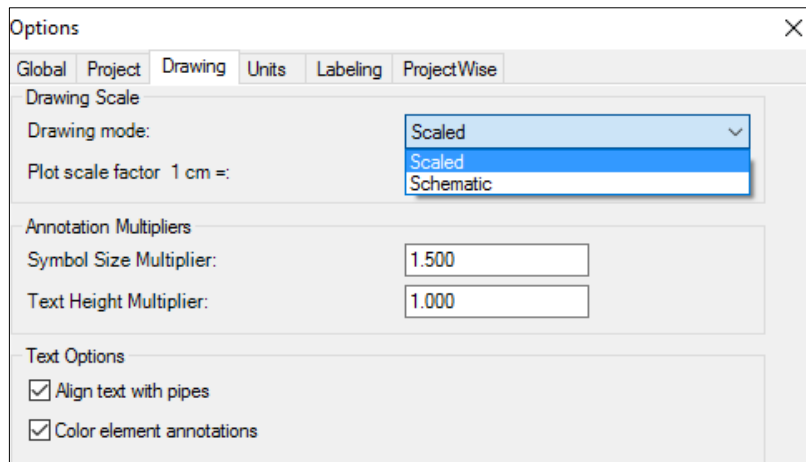


Figura 34: Configuración de dibujo en WaterCAD
Fuente: Tomado de Software WaterCAD

- Se definió la pérdida de carga y el fluido, con la opción *Analysis y Calculation Options*, en la ventana *Steady State/EPS Solver*, se definió los parámetros de pérdida de carga y fluido a modelar como se muestra en la Figura 35.

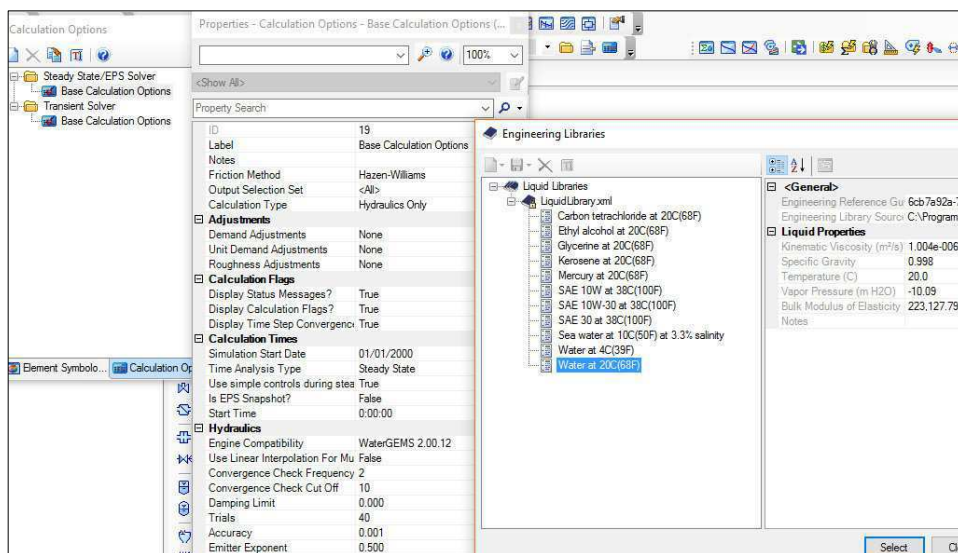


Figura 35: Selección de ecuación de pérdida de carga y líquido a modelar
Fuente: Tomado de Software WaterCAD

- Se seleccionó el método de pérdida de carga, en el campo de *Friction Method* se indicó la ecuación que utilizará el modelo, en este caso usaremos Hazen-Williams. Dentro de la misma ventana se seleccionó la clase de líquido a modelar, en este caso se queda por defecto el fluido agua a temperatura de 20 °C. Como último paso de la configuración se definieron los prototipos para el modelado, entrando a la pestaña *view* opción *Prototypes* (Figura 36), en la cual se visualiza en la nueva ventana los diferentes

elementos que conforman la red. Se Seleccionó como material tubo PVC con un diámetro de 110, por defecto, con un Hazen-Williams igual a 140 (C=140)

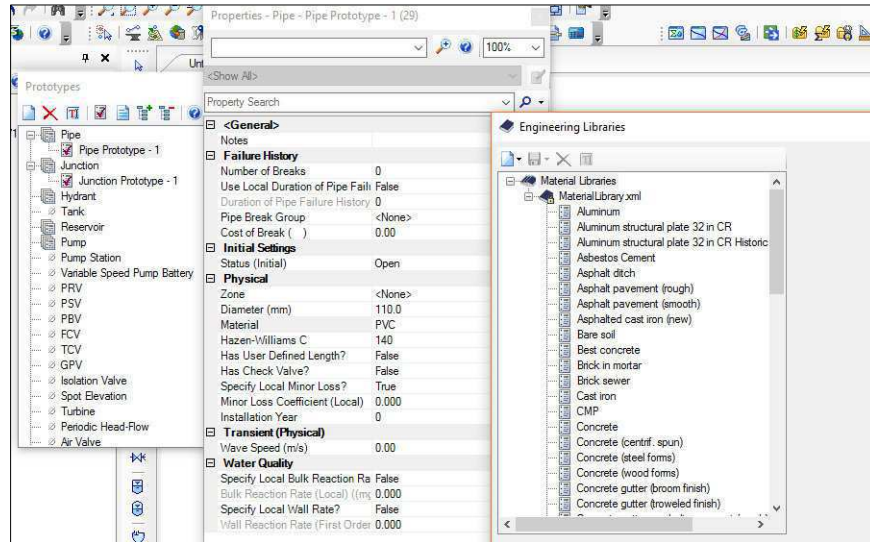


Figura 36: Configuración de prototipos de la red

- Se seleccionó el archivo que será la base de la construcción topológica, en este caso el archivo DXF de AutoCAD, ver Figura 37.

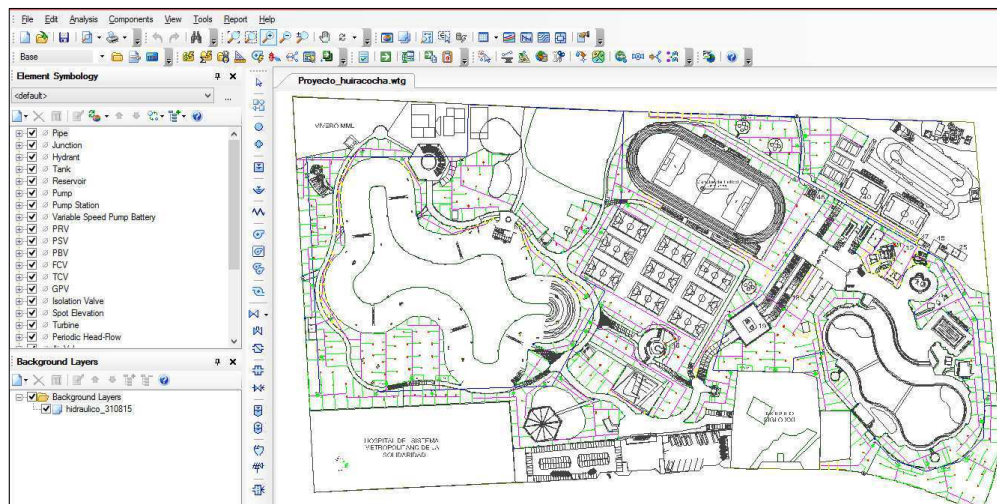


Figura 37: Importación de plano CAD a Software WaterCAD

Fuente: Tomado de Software WaterCAD

b. Construcción topológica- Esqueletonización

- Digitalizar la red, se identificaron los nodos, se verificó el campo, la conectividad de elementos y la determinación de las tuberías, ello se realizó con el plano de la red. Para este fin se verificó el sentido del flujo, los empalmes y la numeración correcta, ver Figura 38.

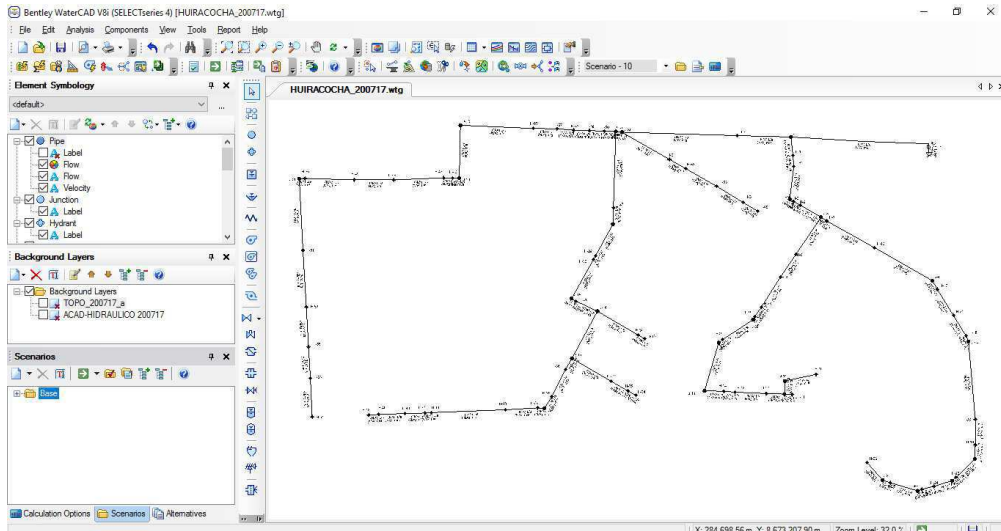


Figura 38: Construcción topológica red principal de riego
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

- Configurar la nomenclatura de la tubería, para ello se ingresó a *view* luego a la opción *flex table* donde se seleccionó el elemento pipe (Figura 39), cambiando la nomenclatura en este caso T-Nº, los demás elementos fueron asignados en la topología de la red.

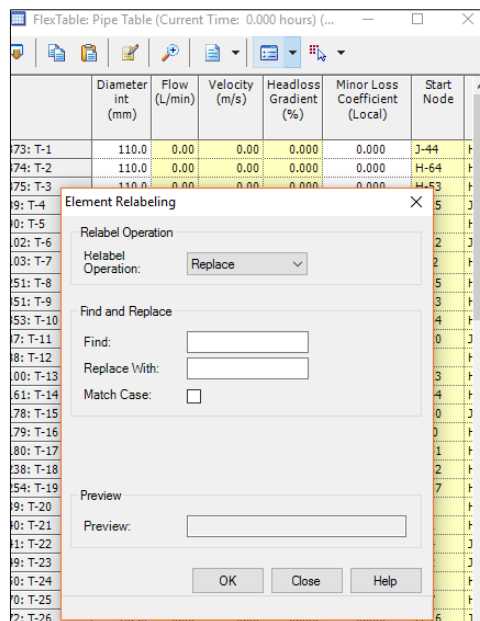


Figura 39: Edición de la nomenclatura de la red
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

c. Topografía

- Asignar las cotas mediante la herramienta del *software* denominada *TRex*. Con ello se seleccionó un mapa topográfico en *Dxf*. Mediante esta metodología se asignó una cota para cada elemento de manera automática por interpolación entre curvas. Luego se

verificó que todos los elementos del diseño tengan una cota, con ello se obtiene el plano de redes referenciado tal como se muestra en la Figura 40.

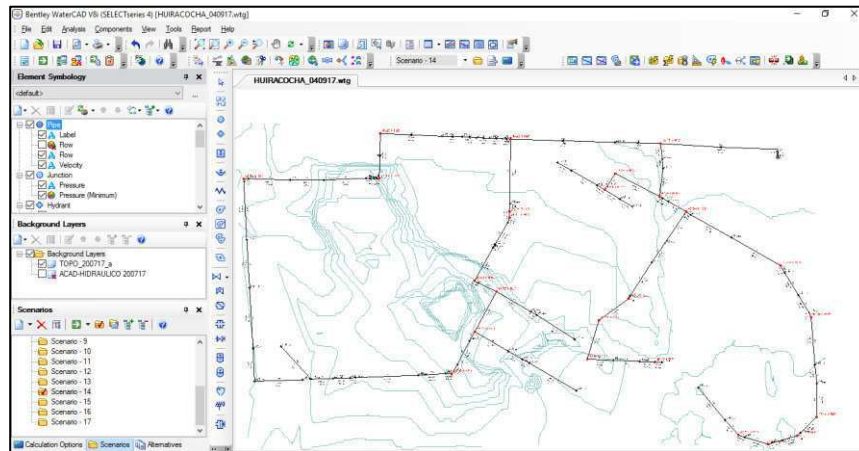


Figura 40: Asignación de curvas de nivel al proyecto
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

d. Demanda de agua

- Se asignó a cada hidrante el caudal de diseño, cada hidrante representa a una válvula. Para ello en la ventana “alternatives” opción demanda, se creó cada uno de los turnos, en las propiedades del turno se asignaron los números de válvula correspondientes y el respectivo caudal de diseño, ver Figura 41.

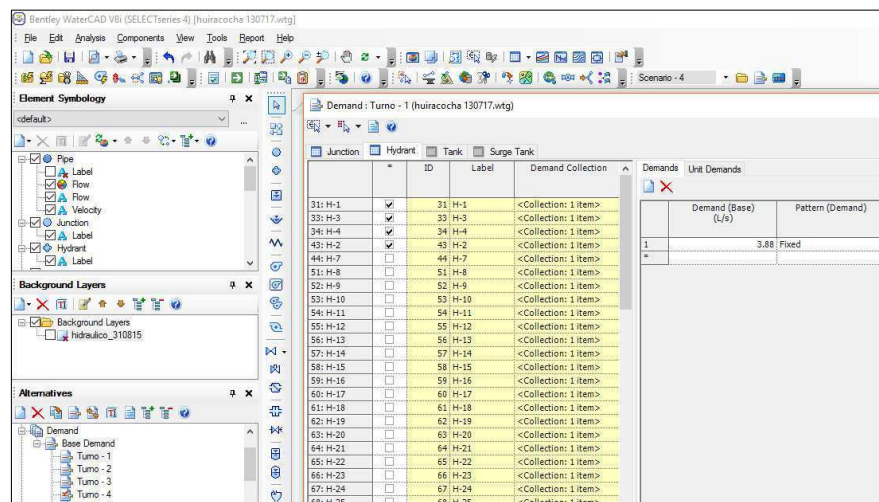


Figura 41: Asignación de demandas en válvulas
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

- Se creó los 17 escenarios correspondientes a cada turno; en propiedades se seleccionó el turno que representa el escenario, ver Figura 42.

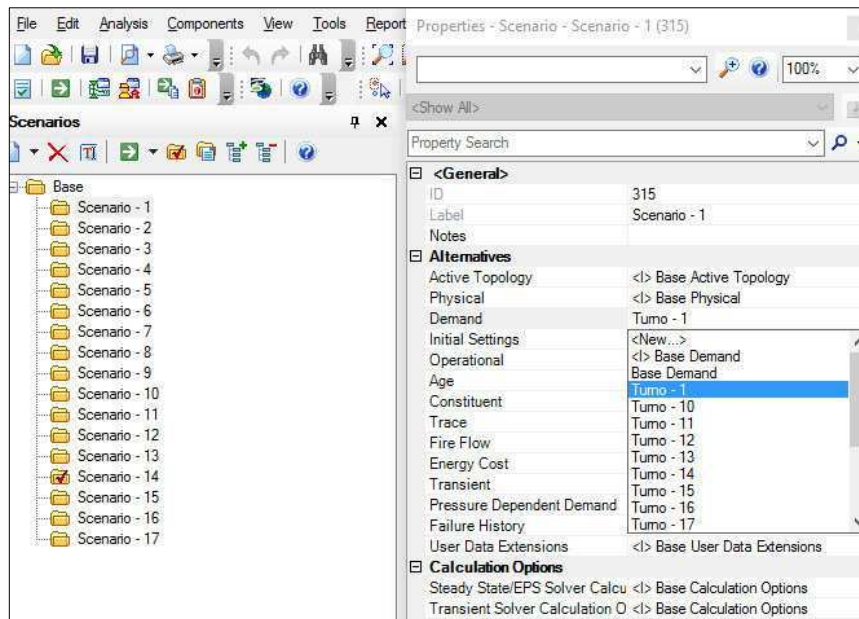


Figura 42: Configuración de escenarios
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

e. Desarrollo de escenarios

Se crearon diecisiete escenarios que corresponden a los turnos de riego. En cada escenario se agrupan los hidrantes que corresponden a cada turno, por ejemplo en la Figura 43 se muestra un escenario en funcionamiento.

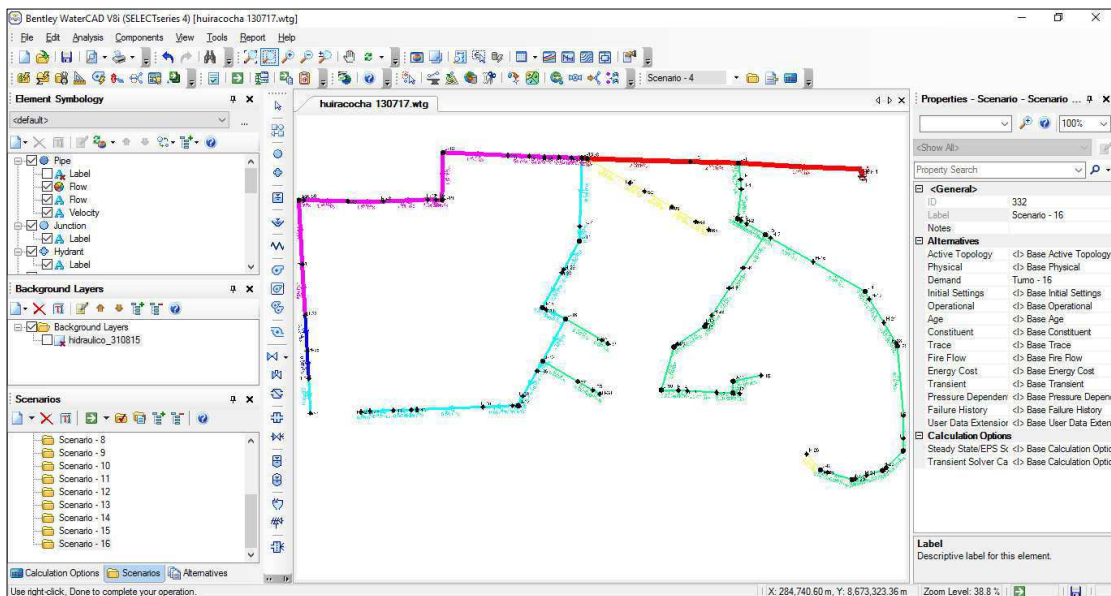


Figura 43: Creación de escenarios de funcionamiento
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

f. Selección del equipo de bombeo

Se seleccionó el equipo de bombeo adecuado para la red, con el requerimiento de presión y caudal de operación (Figura 44).

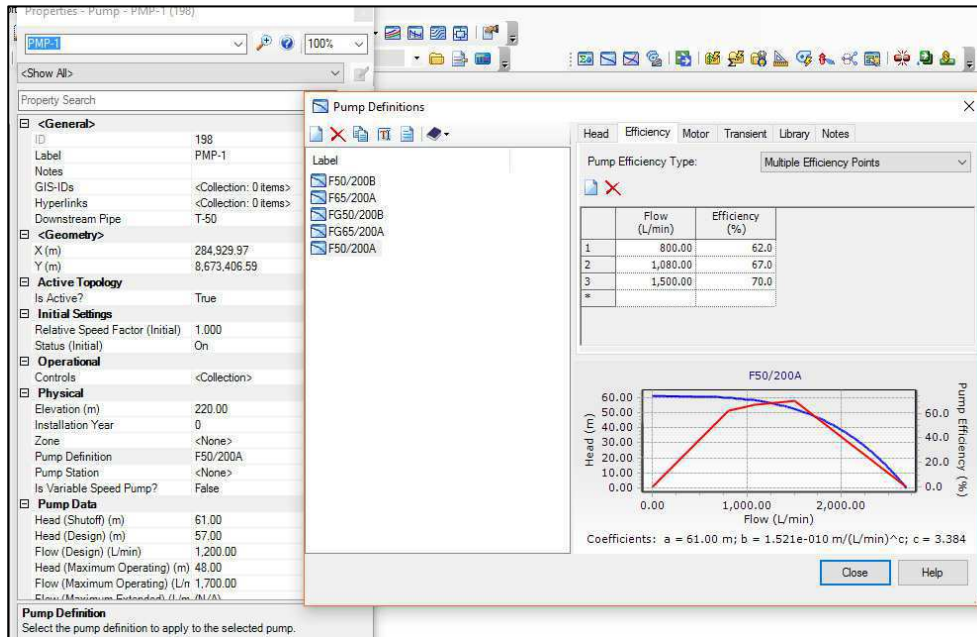


Figura 44: Definición de parámetros de la bomba

Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

Con la información de la curva de funcionamiento de la ficha técnica, se ingresaron los puntos de operación de la bomba en el modelo en la pestaña *Head*, luego se ingresaron las eficiencias para diferentes puntos de caudal. Con ello se dibujó la curva de la bomba y la curva de eficiencia. En este caso se seleccionó como bomba del sistema la marca Hidrostral modelo 50/200, al cubrir con los requerimientos de presión y caudal en los diferentes puntos de operación.

g. Diseño de la red troncal

Se realizó la simulación de escenarios considerando lo siguiente:

- La velocidad no debe producir depósitos ni erosiones, por lo que se considera una velocidad máxima admisible de tres ms^{-1} .
- Se verifica que los hidrantes tengan una presión superior a la requerida en el arco de riego, dato calculado.

Se simuló con un modelo de bomba, se contrastó que la presión que llegue a los hidrantes sea similar a la requerida según el cálculo. Del mismo modo se descartaron las bombas que no cubran el requerimiento de presión. Finalmente se seleccionó el modelo Hidrostral 50/200.

Se empezó por el escenario más alejado a la bomba y se evaluaron las velocidades de las tuberías según el criterio de velocidad permitida. Con ese criterio se ajustaron los diámetros en la tabla de atributos hasta alcanzar las velocidades permitidas o las que se consideren adecuadas. Así se aprecia en el ejemplo de red modelada en WaterCAD (Figura 45).

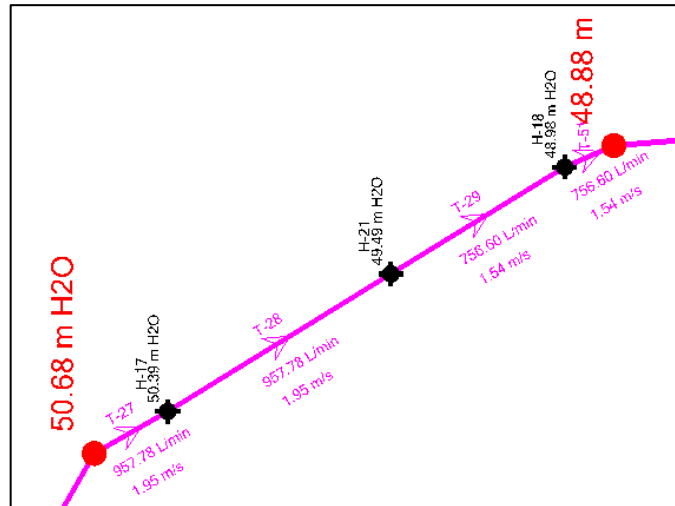


Figura 45: Sector modelado de la red troncal
Fuente: Tomado de *Software WaterCAD*

Donde las líneas magenta son las redes modeladas indicando la velocidad de flujo en este caso entre 1.54 a $1.95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Los puntos negros son los hidrantes 17 y 21 y los puntos rojos son los nodos de la red.

Un mismo tramo alimenta a varias válvulas y por ende a varias zonas de riego o turnos. En la simulación se verificó que el diámetro de tubería cumpla los requerimientos de velocidad de flujo para todos los escenarios.

Finalmente se elaboraron los cuadros de resultados, los planos, las conclusiones y recomendaciones del estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE DATOS BÁSICOS

4.1.1 Fuente de agua

Actualmente, el agua proviene de la red de distribución de agua potable. Tiene cuatro suministros de agua potable ubicados en los extremos del parque que alimentan 5 reservorios de 940 m³ de capacidad.

Según la Administración del parque se tiene un caudal promedio de ingreso de 7.8 (ls⁻¹) de los cuatro suministros.

Se determinó que el volumen ofertado diario es de 460 m³ en verano y 390 m³ en invierno. En verano es mayor ya que almacenan agua residual de las duchas y lavaderos del área de piscinas.

Se prevé en un futuro cercano la utilización de aguas tratadas de la planta de tratamiento del mismo parque. Es por ello que los elementos que conforman la red, deben tener la resistencia para el uso de agua reciclada tratada.

4.1.2 Cobertura vegetal

El parque tiene una extensión total de 21.3 ha, de los cuales 12 ha corresponden a áreas verdes donde se encuentra el área del vivero, área de huertos urbanos y las áreas verdes comunes.

Las áreas verdes consideradas en el diseño tienen una extensión de 9.04 ha, con una cobertura vegetal de grass americano, grama común, árboles (xerófilos en su mayoría), arbustos y herbáceas. El parque no cuenta con un diseño paisajista por hidrozonas, cambiándose algunas coberturas y jardineras según la temporada o la gestión de turno. Es por ello que se selecciona como cobertura de diseño el grass americano, recomendando que en un futuro se utilice el diseño por hidrozonas y se usen coberturas de menor consumo de agua como tapizantes o especies xerófilas para reducir el consumo de agua.

4.1.3 Fuente de energía

El parque cuenta con una energía disponible de 325 KVA, que satisface la demanda de energía del sistema de riego de 129.50 KVA por el sistema de bombeo. Este sistema se utilizara en los horarios de menor consumo del parque de 6 pm a 5 am.

4.2 BALANCE HÍDRICO PROYECTADO

4.2.1 Balance hídrico diario

La oferta diaria de agua es de 460m³ en verano y de 390m³ en invierno, siendo la primera más cantidad porque se recicla el agua proveniente de las duchas y caños del área de piscinas. Lo cual nos indica que satisfacemos las necesidades hídricas, tal como se puede apreciar en la Tabla 27 y Figura 46.

Tabla 27: Oferta, Demanda diaria

mes	Demanda	Oferta
Ene	355.2	460
Feb	387.1	460
Mar	371.4	460
Abr	370.9	390
May	258.2	390
Jun	177.2	390
Jul	161.5	390
Ago	177.8	390
Sep	209.8	390
Oct	274.1	390
Nov	290.6	460
Dic	306.7	460

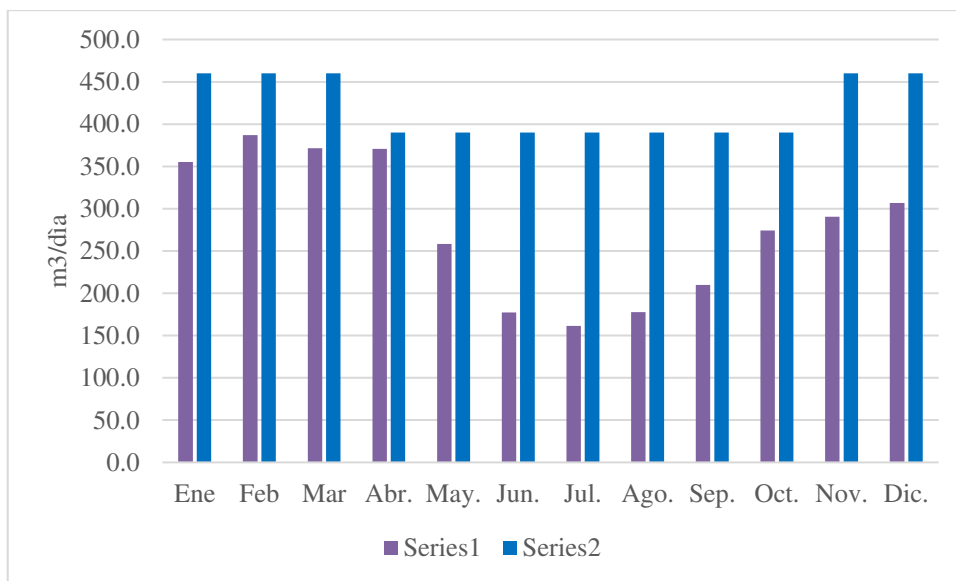


Figura 46: Balance hídrico diario por mes

4.2.2 Balance hídrico global

El parque zonal Huiracocha cuenta con 12 ha de áreas verdes urbanas de los cuales 9.04 se han considerado en el diseño de riego por aspersión (no se han considerado las áreas de vivero ni cactáceas), se realizó el balance hídrico Oferta-Demanda, para las 9.04 ha de áreas verdes urbanas.

La oferta anual fue de 152 920m³ y la demanda de 101 341.1 m³, se concluyó desde el punto de vista hídrico que el sistema de riego por aspersión es viable, tal como se muestra en la Figura 47. Resultados en la Tabla 28.

Tabla 28: Balance hídrico global anual

	Ene	Feb	Mar	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Demanda (m ³ /mes)	11012.4	10838.1	11512.5	11127.0	8003.5	5317.3	5006.2	5510.6	6293.6	8496.2	8717.3	9506.5	101341.1
Oferta (m ³ /mes)	14260	12880	14260	11700	12090	11700	12090	12090	11700	12090	13800	14260	152920
Balance (m ³)	3247.6	2041.9	2747.5	573.0	4086.5	6382.7	7083.8	6579.4	5406.4	3593.8	5082.7	4753.5	51578.9

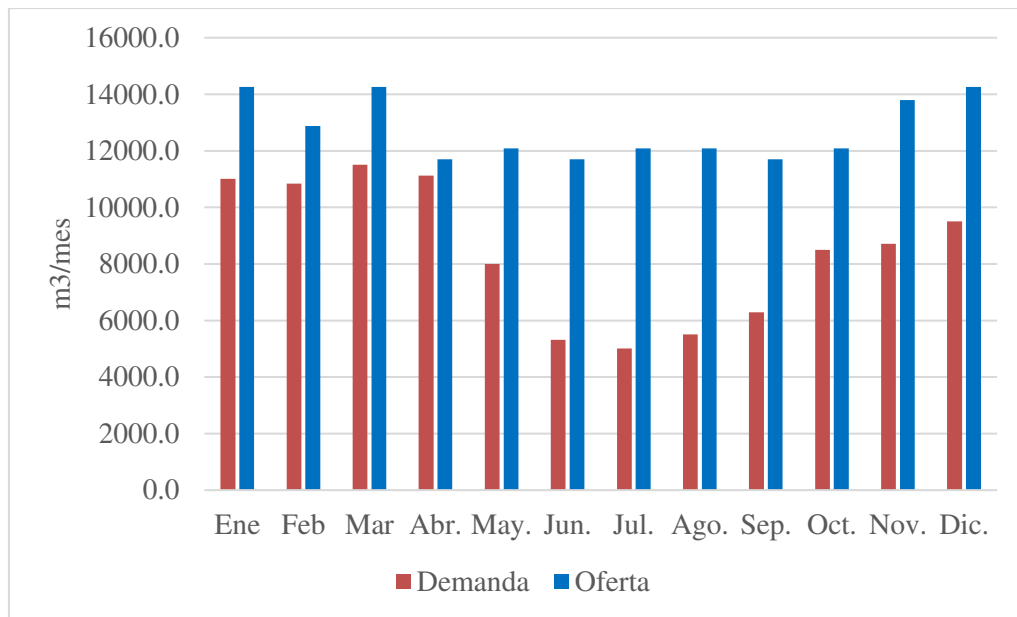


Figura 47: Balance hídrico global anual

4.3 DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA

4.3.1 Parámetros climáticos y necesidades netas

a. Evapotranspiración de referencia

Los datos climáticos (temperatura, radiación, humedad, insolación y viento) fueron recopilados de la estación Von Humboldt para el periodo 2006 al 2014, luego se calculó la evapotranspiración con el software Cropwat. En la Tabla 29 se muestra el mes de febrero que tiene la máxima evapotranspiración de referencia con un valor de 4.07 mm/día⁻¹, dato usado para calcular la máxima demanda del sistema de riego.

Tabla 29: Evapotranspiración de referencia mensual obtenido con el Cropwat, -FAO

mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
ET _o mm/día ⁻¹	3.82	4.07	3.99	3.89	2.7	1.8	1.74	1.94	2.23	2.86	3.11	3.27	2.96

b. Coeficientes del jardín

Existe muy poca información de los coeficientes para especies de jardín, lo que dificulta el cálculo. Los coeficientes se obtuvieron utilizando la fórmula del coeficiente del jardín con los coeficientes de vegetación teóricos. Se ha tomado el coeficiente por el tipo de vegetación más no por especie unitaria, ya que es escasa la información. En el caso del

coeficiente de especie K_e se ha calculado en función al tipo de talle (medio) y por tipo de consumo de agua, tal como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30: Resultados del coeficiente del jardín

Tipo de vegetación	Coeficiente de jardín (K_j)			
	K_e	K_d	K_m	K_j
Arboles	0.50	1.0	1.0	0.50
Arbustos	0.50	1.0	1.0	0.50
Herbáceas y flores	0.50	1.1	1.0	0.55
Tapizantes	0.35	1.0	1.0	0.35
Césped	0.85	1.0	1.0	0.85

El coeficiente de densidad K_d está en función del tipo de especie presente en el jardín, hay una distribución mixta de especies que se van actualizando cada temporada a excepción de los árboles, en el caso de árboles se considerará un valor de $K_d = 1,0$. Similarmente para el caso de herbáceas y flores al tener una densidad alta el valor es de $K_d=1,1$. Para las demás especies se considera un porcentaje de suelo sombreado entre el 60 y el 100 por ciento equivalente a $K_d=1$. En el caso del coeficiente de microclima K_m , al tener zonas cercanas a infraestructuras y otras zonas más despejadas, se estiman unas condiciones de microclima medias para el parque, por tanto $K_m=1$.

Como resultado obtenemos un coeficiente de jardín (K_j) de 0.5, 0.5, 0.55, 0.35, 0.85 para los árboles, arbustos, herbáceas, flores, tapizantes y césped respectivamente. Siendo el césped la cobertura de mayor demanda y la que se encuentra en mayor extensión. Para un ahorro de agua mayor sería adecuada la utilización de tapizantes.

c. Evapotranspiración real de cobertura vegetal

Se calculó la evapotranspiración del parque y, para fines de diseño, se consideró el máximo requerimiento hídrico correspondiente al mes de febrero, resultando ser el césped el que tiene mayor consumo de agua, ver la Tabla 31.

Tabla 31: Evapotranspiración del parque por tipo de vegetación, mes Febrero

Tipo de vegetación	K_j	ET_o (mmdía^{-1})	ET_p (mmdía^{-1})
Arboles	0.5	4.07	2.04
Arbustos	0.5	4.07	2.04
Herbáceas y flores	0.55	4.07	2.24
Tapizantes	0.35	4.07	1.42
Césped	0.85	4.07	3.46

Del grupo de cobertura vegetal se observa que el césped tiene mayores necesidades netas, seguido de las herbáceas, flores, árboles, arbustos y finalmente los tapizantes.

Al no haber precipitación efectiva ni aporte capilar, las necesidades netas fueron iguales a los valores de la evapotranspiración de la cubierta vegetal.

Esta información puede ser tomada para un futuro planeamiento del parque, para que se considere una distribución de especies por hidrozonas, y con ello evitar dar una dosis mayor a plantas que no requieran tanta agua, disminuyendo con ello las enfermedades fitosanitarias y optimizando la distribución de agua de riego.

4.3.2 Selección del emisor

a. Velocidad de infiltración

De la ecuación de la curva de velocidad de infiltración (Figura 48) se obtuvieron los valores de $a=105.14$ y $b=-0.421$. Ambos valores fueron necesarios para obtener el valor de la velocidad de infiltración mediante la fórmula $I_b = a \times (-600 \times b)^b$ cuyo resultado es 10.2 mm.h^{-1} , dato irremplazable para seleccionar los aspersores de trabajo.

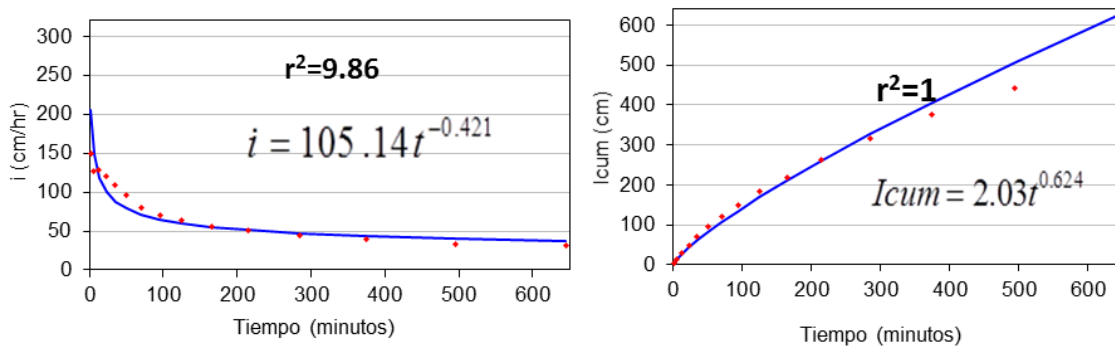


Figura 48: Curva de velocidad de infiltración (ventana derecha) y curva de lámina infiltrada (ventana izquierda). Prueba de infiltración realizada con cilindros infiltrómetros 10/10/15

b. Pluviometría del sistema

Bajo este criterio se seleccionó el aspersor modelo Rain Bird con las siguientes características (Tabla 32):

Con el resultado de la prueba de infiltración se buscó un aspersor de pluviometría similar o menor a la velocidad de infiltración para evitar la escorrentía, sobre todo en zonas de pendiente. Debido a este motivo se eligió un aspersor con una pluviometría $\geq 10.2 \text{ mm.h}^{-1}$, la selección de la pluviometría también depende de los modelos comerciales. Por lo mencionado, se seleccionó el aspersor modelo Rain Bird cuya pluviometría media es de 11 mm.h^{-1} para las áreas en general, con radios de alcance de 7 y 10 metros; y de 20 mm.h^{-1} con radios de alcance de 17 metros para la cancha de fútbol.

Tabla 32: Rendimiento de las boquillas de aspersor Rain Bird

Presión bares	Boquilla	Radio (m)	Caudal (m ³ h ⁻¹)	Caudal (lm ⁻¹)	Δ Precip. (mmh ⁻¹)	□ Precip. (mmh ⁻¹)	
Rendimiento de las boquillas Serie 3504 SIST. MÉTRICO							
3	0.75	5.2	0.17	2.86	13	15	7m
	1	6.4	0.24	3.93	12	13	
	1.5	7.3	0.33	5.49	12	14	
	2	8.2	0.43	7.17	13	15	
	3	9.4	0.67	11.13	15	17	
Rendimiento de las boquillas Rain Curtain™ de la serie 5000							
3	1.5	10.6	0.34	6	6	7	10m
	2	11.2	0.45	7.8	7	8	
	2.5	11.3	0.56	9.6	9	10	
	3	12.1	0.69	11.4	9	11	
	4	12.7	0.89	15	11	13	
	5	13.5	1.13	18.6	12	14	
	6	13.9	1.34	22.2	14	16	
8	14.1	1.79	30	18	21		
Rain Bird Rendimiento de las boquillas Serie 8005 SIST. MÉTRICO							
4.0	4	11.9	0.93	14.38	13	15	17m
	6	13.7	1.37	22.71	15	17	
	8	14.9	1.75	30.44	16	18	
	10	16.3	2.30	37.63	17	20	
	12	17.7	2.70	44.74	17	20	
	14	18.5	3.17	52.85	19	21	
	16	19.6	3.54	58.98	18	21	
	18	19.7	3.97	66.10	20	24	
	20	20.3	4.50	74.95	22	25	
	22	21.3	5.23	85.94	23	27	
	24	20.7	5.50	91.69	26	30	
26	21.8	6.01	99.26	25	29		

Fuente: Elaborado con base en Catalogo Rain Bird (2014)

c. Precipitación horaria

Los índices de precipitación del aspersor seleccionado se basan en un funcionamiento en semicírculo para un alcance del 50 por ciento del diámetro. Con esta consideración, se seleccionó para las áreas pequeñas el modelo Rain Bird 3504 con boquilla N° 1.5 esto para un alcance de siete metros y una precipitación horaria de 14 mm.h⁻¹. Para las áreas medianas y grandes se seleccionó el modelo Rain Bird 5000 con las boquillas 1.5, 3, 6 y 8 para sectores de 90°, 180°, 270° y 360° respectivamente. Con ello se garantiza una pluviometría promedio de 11 mmh⁻¹ que sería la pluviometría del sistema.

Para el caso de la cancha de futbol, se trabajó con el aspersor Rain Bird 8005; con la boquilla N° 12 para un alcance de 17 m y una pluviometría de 20 mmh⁻¹. Para alcances mayores la pluviometría es superior. En este caso no afectaría la escorrentía por ser un terreno del mismo nivel topográfico.

4.3.3 Dosis, frecuencia y tiempo de riego

Considerando las características físicas del suelo y la profundidad de la planta, se determinaron los parámetros que caracterizan al riego, ver Tabla 33.

Tabla 33: Datos utilizados en el diseño agronómico

Datos	Unidad	Cantidad
Kc césped	-	0.85
Salinidad	mg ^l ⁻¹ sales solubles	640
Velocidad de viento (Max)	ms ⁻¹	1.7
Humedad a capacidad de campo	%	18
Humedad punto de marchitez perm.	%	8
Profundidad radicular (z)	m	0.2
Eficiencia de aplicación	%	80%
Coefficiente de agotamiento	%	40%
Velocidad de infiltración básica (V _i)	mm.hr ⁻¹	11
Jornada de trabajo	Hr.día ⁻¹	10
Densidad aparente (Da)	Ton.m ³	1.58

Cualquier variación en alguno de los parámetros modifica a las demás, es por ello que se trabaja conjuntamente partiendo de la capacidad de absorción del suelo.

a. Lamina neta y lamina bruta de riego

Con los datos obtenidos de la muestra del suelo y por asociación de tablas, se calculó la lámina o dosis neta, para ello se consideró como porcentaje de agotamiento o descenso tolerable (DT) el 40 por ciento (Allen *et al.* 2006), en función al tipo de cubierta vegetal, en este caso el césped, ver Tabla 34.

Tabla 34: Lamina neta y lamina bruta

CC (%)	PM (%)	da (g/cc ³)	DT (%)	Pr (cm)	Ln (mm)	Lb (mm)
18	8	1.58	40	20	12.64	15.80

Se obtuvo una lámina neta de 12.64 mm.día⁻¹, dividido entre la eficiencia de aplicación 80 por ciento se obtuvo una lámina bruta 15.80 mm.día⁻¹.

En este caso, la lámina a aplicar cubre la demanda de las demás especies presentes en el parque a excepción de los árboles. Para evitar un exceso de riego en zonas de menor demanda, se recomendaría que de manera complementaria se trabaje la distribución del

parque por hidrozonas (agrupación de plantas por necesidades de agua), con el fin de dosificar mejor el uso del agua y evitar problemas fitosanitarios.

En el caso de los árboles se recomienda un riego pesado cada 15 días o semanal para profundizar el agua y evitar que las raíces se desarrollen de manera superficial.

b. Frecuencia y tiempo de riego

El tiempo de riego es igual a la lámina bruta entre la precipitación del sistema. Así en el cuadro se observó que para el mes de febrero (mes de máxima evapotranspiración) la frecuencia de riego es cada tres días con un tiempo de riego de 1.18 horas; mientras en invierno en el mes de julio la frecuencia es de cada 8 días a una tasa de 1.41 horas, ver Tabla 35.

Al ser un suelo de relleno y presentarse problemas por asentamiento, se sugiere el riego diario, con ello la tasa de aplicación diaria para el mes de febrero sería de 23.5 y 12.9 minutos, para las áreas comunes y la cancha de fútbol respectivamente. En el caso de la cancha de fútbol el tener aspersores de mayor diámetro involucra una mayor precipitación 20 mm hora^{-1} , es por ello que la tasa de aplicación sería menor.

El riego diario se definirá según necesidades de operación del sistema de riego del parque Huiracocha.

4.3.4 Numero de emisores

a. Distribución de aspersores

Basándose en un traslape del 100 por ciento para áreas verdes se ubicaron los aspersores de tal manera que quede cubierta la superficie del terreno, como se aprecia en la Figura 49. Donde posteriormente se trazaron las líneas de tubería. En el gráfico, las líneas azules son las troncales, las líneas magenta son las subtroncales. De esta forma los puntos son los aspersores asociados al tipo de boquilla; y las líneas plomas y verdes son los radios de alcance del emisor.

Tabla 35: Resultados de diseño agronómico

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm.día ⁻¹)	3.82	4.07	3.99	3.89	2.74	1.83	1.74	1.94	2.23	2.86	3.11	3.27
Precipitación efectiva (mm.día ⁻¹)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kc grass	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Etc. grass (mm.día ⁻¹)	3.25	3.46	3.39	3.31	2.33	1.56	1.48	1.65	1.90	2.43	2.64	2.78
Lamina neta (mm.día ⁻¹)	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64
Eficiencia de aplicación	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Lamina bruta (mm.día ⁻¹)	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80
Intervalo entre riegos (días)	3.89	3.65	3.73	3.82	5.43	8.13	8.55	7.67	6.67	5.20	4.78	4.55
Ir´ ajustado (día)	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	8.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	4.00
Ln´ ajustada (mm.día ⁻¹)	9.74	10.38	10.17	9.92	11.65	12.44	11.83	11.54	11.37	12.16	10.57	11.12
Lb´ ajustada (mm.día ⁻¹)	12.18	12.97	12.72	12.40	14.56	15.56	14.79	14.43	14.22	15.19	13.22	13.90
Tiempo de riego con pluviometría de 11 mm.h ⁻¹ (hrs)	1.11	1.18	1.16	1.13	1.32	1.41	1.34	1.31	1.29	1.38	1.20	1.26
Tiempo de riego con pluviometría de 11 mm.h ⁻¹ (min.día ⁻¹)	22.14	23.59	23.12	22.54	15.88	10.61	10.08	11.24	12.92	16.58	18.02	18.95
Tiempo de riego con pluviometría de 20 mm.h ⁻¹ (hrs)	0.61	0.65	0.64	0.62	0.73	0.78	0.74	0.72	0.71	0.76	0.66	0.69
Tiempo de riego con pluviometría de 20 mm.h ⁻¹ (min.día ⁻¹)	12.18	12.97	12.72	12.40	8.73	5.83	5.55	6.18	7.11	9.12	9.91	10.42

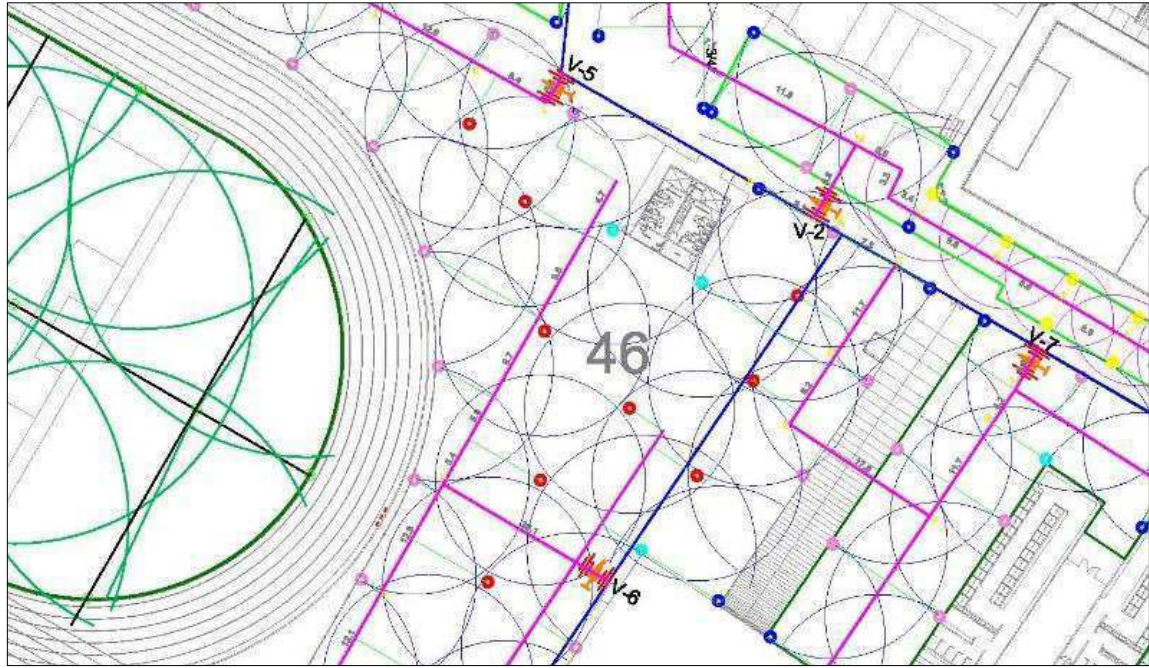


Figura 49: Traslape de aspersores en el sector 2 del parque

b. Numero de aspersores

Los parques y jardines, a diferencia de las áreas agrícolas, tienen formas irregulares y áreas diferentes por lo que las líneas subtruncas no tienen longitud ni trazo definido. Es por ello que no es posible calcular el número de aspersores en función a su separación, ya que estos deben adaptarse a las formas y estructuras presentes en el parque. En base a esto, la sectorización se basó en función a caudales y zonas de cobertura. Por lo que se escogió un caudal por válvula aproximado a $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Ver Tabla 36.

Con ellos se obtuvo el número de emisores que está asociado al caudal de válvula, resultando 65 zonas de riego, con caudales desde los 3.22 l s^{-1} a 5.26 l s^{-1} .

4.3.5 Parámetros de operación

a. Turnos de riego

El sector de riego tiene un total de 9.04 ha, el cual fue dividido en 17 turnos de riego y en 65 unidades de control manejados por válvulas hidráulicas de 2.5". Ver detalle en la Tabla 37 y Figura 50.

Tabla 36: Agrupación de aspersores por válvula para áreas verdes comunes

Nº VAL	ASP 90°	ASP 90° lm ⁻¹	ASP 180°	ASP 180° lm ⁻¹	ASP 270°	ASP 270° lm ⁻¹	ASP 360°	ASP 360° lm ⁻¹	ASP R:7m	ASP lm ⁻¹	Nº rotor	Q Válvula (ls ⁻¹)
V-1	4	6	9	11.4	1	22.2	3	30		5.49	17	3.98
V-2	7	6	6	11.4		22.2	2	30	22	5.49	37	4.85
V-3	1	6	9	11.4	2	22.2	2	30	17	5.49	31	5.11
V-4	2	6	7	11.4	3	22.2	4	30		5.49	16	4.64
V-5	2	6	18	11.4		22.2	1	30		5.49	21	4.12
V-6		6	7	11.4	2	22.2	6	30		5.49	15	5.07
V-7	7	6	8	11.4	2	22.2	2	30		5.49	19	3.96
V-8	2	6	6	11.4	1	22.2	4	30	8	5.49	21	4.44
V-9	5	6	7	11.4	4	22.2		30	10	5.49	26	4.23
V-10	2	6	4	11.4	2	22.2	4	30	13	5.49	25	4.89
V-11	2	6	10	11.4		22.2	4	30		5.49	16	4.10
V-12		6	4	11.4		22.2	8	30		5.49	12	4.76
V-13	2	6	4	11.4	2	22.2	5	30		5.49	13	4.20
V-14	7	6	11	11.4	1	22.2	1	30		5.49	20	3.66
V-15	9	6	13	11.4	1	22.2		30	6	5.49	29	4.29
V-16	5	6	3	11.4	3	22.2	2	30	14	5.49	27	4.46
V-17	6	6	7	11.4	1	22.2	1	30	9	5.49	24	3.62
V-18	5	6	12	11.4	1	22.2	1	30		5.49	19	3.65
V-19	3	6	12	11.4		22.2	2	30		5.49	17	3.58
V-20	4	6	13	11.4		22.2	1	30		5.49	18	3.37
V-21	2	6	14	11.4		22.2	1	30	2	5.49	19	3.54
V-22		6	16	11.4		22.2	1	30		5.49	17	3.54
V-23		6	6	11.4		22.2	7	30		5.49	13	4.64
V-24	1	6	7	11.4		22.2	6	30		5.49	14	4.43
V-25		6	10	11.4		22.2	4	30		5.49	14	3.90
V-26	3	6	6	11.4	1	22.2	3	30	6	5.49	19	3.86
V-27	1	6	11	11.4		22.2	3	30	8	5.49	23	4.42
V-28	2	6	18	11.4		22.2		30		5.49	20	3.62
V-29		6	16	11.4	1	22.2	1	30		5.49	18	3.91
V-30	5	6	6	11.4	3	22.2	3	30		5.49	17	4.25
V-31	5	6	9	11.4		22.2	1	30	18	5.49	33	4.36
V-32	1	6	16	11.4	1	22.2	1	30		5.49	19	4.01
V-33	1	6	8	11.4	3	22.2	5	30		5.49	17	5.23
V-34	1	6	13	11.4		22.2	3	30		5.49	17	4.07
V-35	2	6	11	11.4		22.2	3	30		5.49	16	3.79
V-36	4	6	17	11.4		22.2		30		5.49	21	3.63
V-37	3	6	8	11.4	1	22.2	5	30	6	5.49	23	5.24
V-38	5	6	9	11.4	1	22.2	2	30		5.49	17	3.58
V-39	1	6	14	11.4		22.2	1	30		5.49	16	3.26
V-40	2	6	12	11.4	2	22.2		30		5.49	16	3.22
V-41		6	10	11.4		22.2	6	30		5.49	16	4.90
V-42		6	10	11.4		22.2	5	30		5.49	15	4.40
V-43	1	6	10	11.4		22.2	4	30		5.49	15	4.00
V-44		6	4	11.4		22.2	9	30		5.49	13	5.26
V-45		6	4	11.4		22.2	9	30		5.49	13	5.26
V-46	2	6	11	11.4		22.2	5	30		5.49	18	4.79
V-47	1	6	8	11.4		22.2	7	30		5.49	16	5.12
V-48	3	6	10	11.4		22.2		30	17	5.49	30	3.76
V-49	2	6	11	11.4		22.2		30	18	5.49	31	3.94
V-50	3	6	14	11.4	1	22.2	1	30		5.49	19	3.83
V-51		6	6	11.4		22.2	8	30		5.49	14	5.14
V-52	3	6	12	11.4	1	22.2	1	30		5.49	17	3.45
V-53	1	6	6	11.4	1	22.2	5	30		5.49	13	4.11
V-54	1	6	5	11.4		22.2	7	30		5.49	13	4.55
V-55		6	8	11.4		22.2	3	30	20	5.49	31	4.85
V-56	1	6	7	11.4		22.2	6	30		5.49	14	4.43
V-57		6	3	11.4		22.2	8	30		5.49	11	4.57
V-58		6	4	11.4		22.2	8	30		5.49	12	4.76
V-59		6	2	11.4		22.2	8	30		5.49	10	4.38
V-60	2	6	8	11.4		22.2	5	30		5.49	15	4.22

Tabla 37: Turnos de riego del parque Huiracocha

Turno	N°. Valv.	Área por turno Ha	Q Valv (lps)	Q turno (lps)	Precip.Horaria de Sistema (mmhr ⁻¹)
1	1	0.54	3.880	18.19	11.00
	2		4.753		
	3		4.916		
	4		4.640		
2	5	0.60	4.120	17.30	11.00
	6		5.070		
	7		3.860		
	8		4.252		
3	16	0.62	4.183	15.04	11.00
	17		3.624		
	18		3.650		
	19		3.580		
4	21	0.53	3.353	15.96	11.00
	22		3.540		
	23		4.640		
	24		4.430		
5	15	0.56	3.370	14.63	11.00
	20		3.370		
	25		3.900		
	26		3.989		
6	10	0.54	4.707	17.90	11.00
	11		4.100		
	12		4.760		
	13		4.330		
7	9	0.63	4.225	16.75	11.00
	28		3.520		
	32		3.640		
	33		5.360		
8	14	0.55	3.660	16.82	11.00
	34		4.070		
	35		3.970		
	37		5.119		
9	38	0.48	3.770	15.15	11.00
	39		3.260		
	40		3.220		
	41		4.900		
10	52	0.54	3.550	16.96	11.00
	53		4.010		
	54		4.550		
	55		4.850		
11	42	0.56	4.400	18.82	11.00
	43		3.900		
	44		5.260		
	45		5.260		
12	48	0.54	3.756	17.97	11.00
	49		3.937		
	50		4.640		
	51		5.640		
13	29	0.53	3.720	16.46	11.00
	30		4.250		
	31		4.357		
	36		4.130		
14	46	0.62	5.160	19.78	11.00
	47		5.620		
	56		4.430		
	57		4.570		
15	27	0.50	4.422	17.78	11.00
	58		4.760		
	59		4.380		
	60		4.220		
16	61	0.28	5.220	10.44	20.00
	62		5.220		
17	63	0.43	5.220	14.17	20.00
	64		4.474		
	65		4.474		
		9.04			

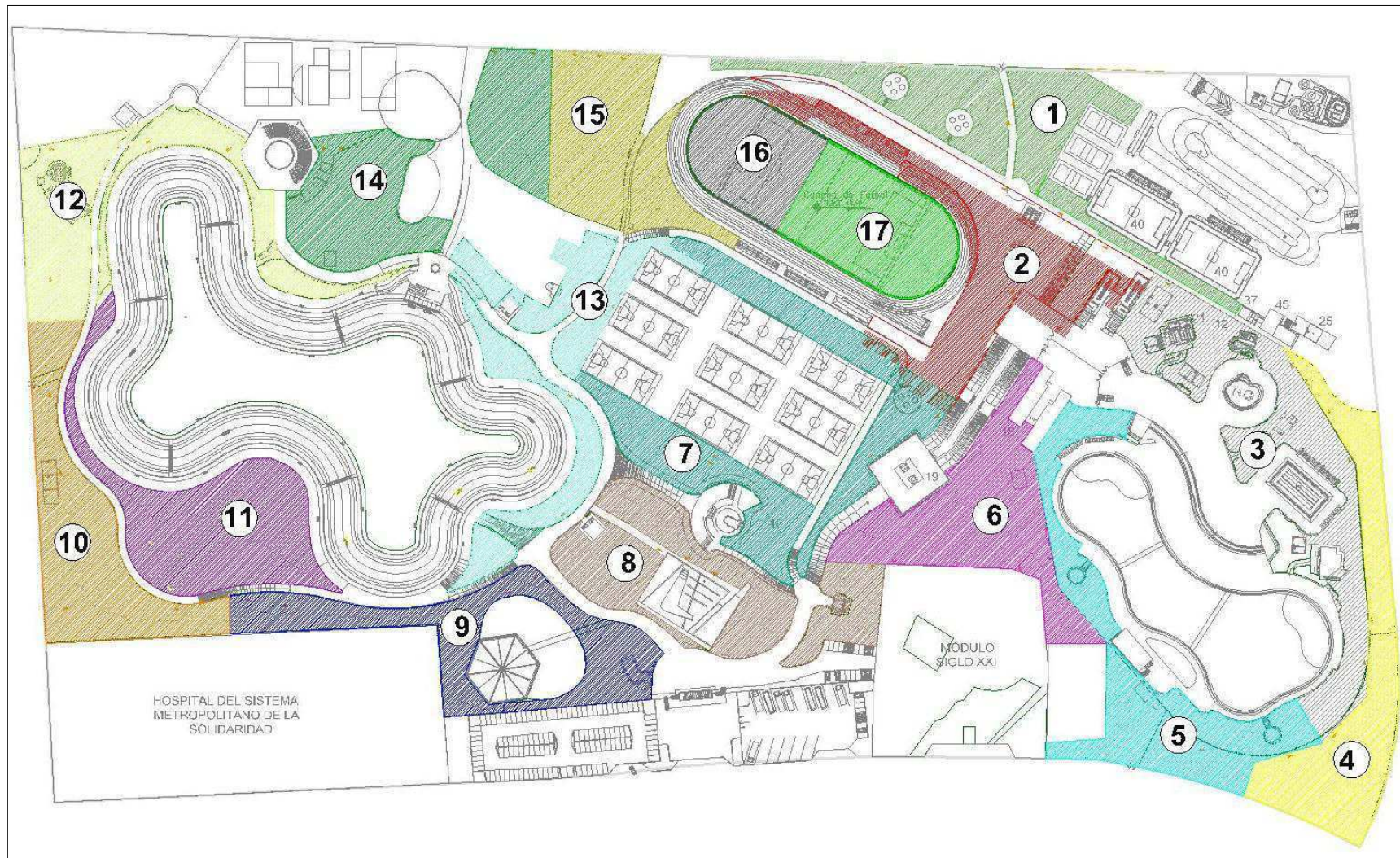


Figura 50: Turnos de operación del sistema de riego diferenciados por color y numeracion en circulo

Se determinó el caudal de la válvula agrupando los rotores de diferente ángulo y radio de trabajo. Para determinar los turnos de riego se agruparon cuatro válvulas adyacentes que sumarán un caudal homogéneo aproximado a 20 lps.

Se obtuvieron caudales de 10.44 a 19.78 lps para los turnos 16 y 14 respectivamente. Con ello se determinó el rango del caudal de operación del equipo de bombeo.

En la Tabla 38 se muestra la programación semanal del riego diario para los 17 turnos, que puede ser ajustada según las necesidades de operación del parque.

Tabla 38: Planificación horaria de riego diario

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
7:00 PM	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
7:30 PM	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
8:00 PM	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
8:30 PM	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
9:00 PM	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
9:30 PM	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4
10:00 PM	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4
10:30 PM	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
11:00 PM	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
11:30 PM	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
12:00 AM	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
12:30 AM	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
1:00 AM	T9	T9	T9	T9	T9	T9	T9
1:30 AM	T10	T10	T10	T10	T10	T10	T10
2:00 AM	T11	T11	T11	T11	T11	T11	T11
2:30 AM	T12	T12	T12	T12	T12	T12	T12
3:00 AM	T13	T13	T13	T13	T13	T13	T13
3:30 AM	T14	T14	T14	T14	T14	T14	T14
4:00 AM	T15	T15	T15	T15	T15	T15	T15
4:30 AM	T16	T16	T16	T16	T16	T16	T16
4:45 AM	T17	T17	T17	T17	T17	T17	T17

b. Demanda mensual del sistema

Al ser un suelo de relleno y al presentar problemas de asentamiento ocasionando el deterioro de estructuras, se recomienda regar el parque diariamente, así se evita el socavamiento del suelo. En el caso de los árboles se recomienda un riego pesado cada 15 días o semanal para profundizar el agua y evitar que las raíces se desarrollen de manera superficial.

Con esta información y con los valores de dosis y tiempo de riego se calculó la demanda de agua mensual que necesitará el proyecto. En la Tabla 39 se muestra el volumen de agua requerido mensualmente, se han separado en dos grupos por tener diferentes tiempos

de riego, Z_1 que abarca los turnos 1 al 15 con la pluviometría de 11 mm h^{-1} y Z_2 que abarca los turnos 16 y 17 correspondientes a la cancha de futbol con la pluviometría de 20 mm h^{-1} . En la Figura 51 se muestra la distribución mensual que demanda el proyecto.

Tabla 39: Demanda de agua mensual para el sistema de riego por aspersión en las 9.04 ha

Mes	Días	Tr1 (min)	Q1 (m^3s^{-1})	Vol. z1 (m^3)	Tr2 (min)	Q2 (m^3s^{-1})	Vol. z2 (m^3)	Vol. Total (m^3)
Ene	31	25	0.26	11880.8	14	0.025	640.8	12521.6
Feb	28	27	0.26	11589.5	15	0.025	599.4	12189.0
Mar	31	26	0.26	12356.0	15	0.025	650.6	13006.6
Abr.	30	26	0.26	11957.4	14	0.025	613.8	12571.3
May.	31	18	0.26	8554.2	10	0.025	446.8	9001.0
Jun.	30	12	0.26	5518.8	7	0.025	288.8	5807.6
Jul.	31	12	0.26	5702.8	7	0.025	283.7	5986.5
Ago.	31	13	0.26	6178.0	7	0.025	316.3	6494.3
Sep.	30	15	0.26	6898.5	8	0.025	351.9	7250.4
Oct.	31	19	0.26	9029.4	11	0.025	466.3	9495.8
Nov.	30	21	0.26	9657.9	12	0.025	490.8	10148.7
Dic.	31	22	0.26	10455.1	12	0.025	533.2	10988.3

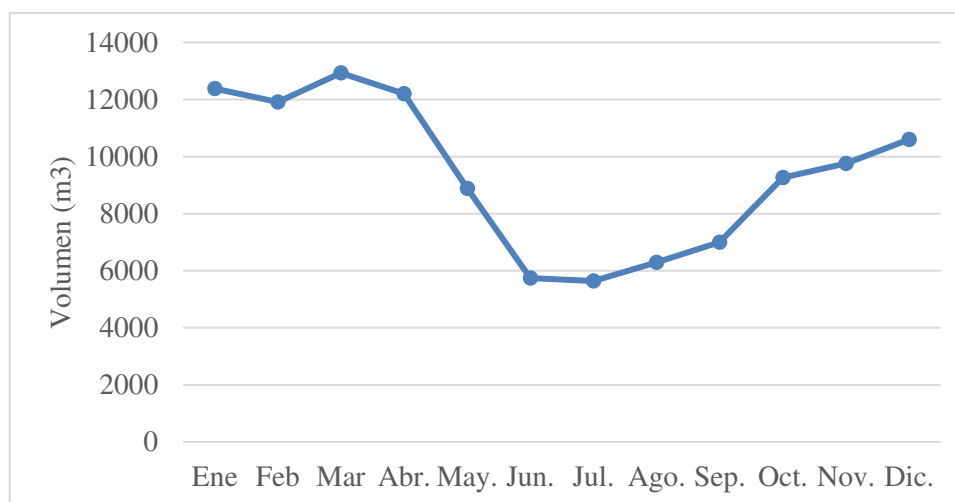


Figura 51: Distribución mensual del agua para el sistema de riego por aspersión en las 9.04 ha

4.4 DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA

4.4.1 Redes de conducción y distribución

a. Cálculo de pérdida de carga en tuberías

Se diseñó el diámetro de redes de la subunidad, con el criterio de la velocidad permisible en tuberías ($1\text{-}3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y la tolerancia de presiones en el lateral (menor al 20 por ciento).

La pérdida de carga en accesorios se calculó con el criterio de la longitud equivalente, cuyo resultado se sumó a la longitud del lateral en estudio. Finalmente se calculó la pérdida de carga total con la fórmula de Hazen William y Darcy Weisbach, en esta última se calculó el número de Reynolds. Comparando los resultados no se observó una diferencia significativa entre ambos resultados, por lo que, para el resultado final se utilizaron las pérdidas por Hazen William, como se muestra en la Tabla 40, Tabla 41 y el resto de cálculos del ANEXO 3.

Tabla 40: Cálculo de la pérdida de carga de la subtruncal en la cancha de futbol

V	Tramo (x - y)	Q (lt/s)	Dn (pulg)	Di (mm)	V (m/s)	Long de tub equiv de accesorios			L acc (m)	L tub (m)	L Tot (m)	Hf (m)	
						Accesorios	Le	Cant					
V-61	1-A	0.75	1.00	29.40	1.10				0.0	11.0	11.0	0.58	
	A-B	1.49	1.50	43.40	1.01	Reducción a 1"	0.6	1.0	0.6	0.6	11.7	12.3	0.35
	B-C	2.24	2.00	54.20	0.97	Tee pase directo Red. a 1 1/2"	1.4	1.0	1.4	2.2	11.5	13.7	0.28
	C-D	2.98	2.00	54.20	1.29	Tee pase directo	1.4	1.0	1.4	1.4	10.0	11.4	0.40
	D-E	4.47	2.50	66.00	1.31	Tee pase directo Reducción a 2"	1.7	1.0	1.7	2.3	20.5	22.8	0.65
	E-V61	5.22	2.50	66.00	1.53	Tee pase directo	1.7	1.0	1.7	1.7	8.3	10.1	0.38
												2.63	
V-62	1-A	0.75	1.00	29.40	1.10	Codo 90°	1.0	1.0	1.0	1.0	8.0	9.0	0.48
	A-B	2.24	2.00	54.20	0.97	Tee pase directo	1.4	1.0	1.4	1.4	8.0	9.4	0.19
	B-C	3.73	2.50	66.00	1.09	Tee pase directo	1.7	1.0	1.7	1.7	8.0	9.7	0.20
	C-V62	5.22	2.50	66.00	1.53	Tee pase directo	1.7	1.0	1.7	1.7	8.0	9.7	0.37
												1.23	
V-63	1-A	0.75	1.00	29.40	1.10	Tee pase directo	0.7	1.0	0.7	0.7	8.0	8.7	0.46
	A-B	2.24	2.00	54.20	0.97	Tee pase directo	1.4	1.0	1.4	1.4	8.0	9.4	0.19
	B-C	3.73	2.50	66.00	1.09	Tee pase directo	1.7	1.0	1.7	1.7	8.0	9.7	0.20
	C-V63	5.22	2.50	66.00	1.53	Tee pase directo	1.7	1.0	1.7	1.7	8.0	9.7	0.37
												1.21	
V-64	1-A	0.75	1.00	29.40	1.10	Codo 90°	1.0	1.0	1.0	1.0	11.0	12.0	0.63
	A-B	1.49	1.50	43.40	1.01	Tee pase directo	1.0	1.0	1.0	1.0	10.5	11.5	0.33
	B-C	2.98	2.00	54.20	1.29	Tee pase directo	1.4	1.0	1.4	1.4	8.5	9.9	0.34
	C-D	3.73	2.50	66.00	1.09	Tee pase directo	1.7	1.0	1.7	1.7	9.5	11.2	0.23
	D-V64	4.47	2.50	66.00	1.31	Tee pase directo	1.7	1.0	1.7	1.7	6.0	7.7	0.22
												1.75	
V-65	1-A	0.75	1.00	29.40	1.10	Codo 90°	1.0	1.0	1.0	1.0	7.0	8.0	0.42
	A-B	1.49	1.50	43.40	1.01	Tee pase directo	1.0	1.0	1.0	1.0	7.5	8.5	0.24
	B-C	2.24	2.00	54.20	0.97	Tee pase directo	1.4	1.0	1.4	1.4	11.5	12.9	0.26
	C-D	2.98	2.00	54.20	1.29	Tee pase directo	1.4	1.0	1.4	1.4	12.5	13.9	0.48
	D-V65	4.47	2.50	66.00	1.31	Tee pase directo	1.7	1.0	1.7	1.7	12.0	13.7	0.39
												1.80	

En la válvula uno, se obtuvo una pérdida de carga de 2.35 y 2.37 mH₂O y en la válvula dos, de 5.12 y 5.16 mH₂O, esto con el método de Hazen William y Darcy Weisbach respectivamente. Se pudo observar una diferencia de centésimas entre ambos métodos por lo que se tomaron los resultados con el método de Hazen William para todas las redes. Al ser tramos cortos no es tan significativa la diferencia de valores. En resumen, se obtuvieron valores de pérdida de carga en la matriz subtruncal entre 1.07 a 6.41 mH₂O.

Tabla 41: Cálculo de pérdida de carga en subunidad de riego, ejemplo válvula 1 con desnivel 0

Tramo	caudal	DN	Di	V	Long de tub equiv de accesorios				L Acc	L Tub	L Tot	Re	f Darcy	hf Hazen Williams	hf Darcy Weisbach	P _Y
(x - y)	(lt.s ⁻¹)	(plg)	(mm)	(m.s ⁻¹)	Accesorios	Leq	Cant	Lacc	(m)	(m)	(m)			(m)	(m)	(m)
1-A	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.554	11	12.55	5504.9	0.037	0.05	0.07	
A-B	0.20	3/4	22.9	0.49	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	11.7	12.48	11009.9	0.030	0.19	0.22	
B-C	0.58	1	29.4	0.85	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.898	11.5	12.40	24869.6	0.025	0.41	0.43	
					Reducción a 3/4"	0.216	1	0.216								
C-D	1.14	1 1/4	38.0	1.01	Tee pase directo	8.73	1	8.73	9.341	10	19.34	37818.9	0.022	0.64	0.65	
					Reducción a 1/2"	0.611	1	0.611								
D-L	2.90	2	54.2	1.26	Tee pase directo	1.364	2	2.728	3.478	20.5	23.98	67450.7	0.020	0.79	0.77	
					Reducción a 1"	0.75	1	0.75								
L-M	3.88	2 1/2	66.0	1.13	Tee pase directo	1.718	1	1.718								
					Reducción a 2"	0.544	2	1.088	3.35	8.34	11.69	74109.8	0.019	0.25	0.25	
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544								
													Total	2.35	2.37	2.35

b. Cálculo de requerimiento de presión en el arco de riego

Para determinar la presión requerida en la válvula se sumaron a las pérdidas de carga, el desnivel topográfico (detalle del signo en la Tabla 42), la presión de trabajo del aspersor, la altura del vástago retráctil del aspersor, la pérdida en el arco de riego y un margen de seguridad del 10 por ciento, como se muestra en la Tabla 43.

Tabla 42: Sentido de flujo de la red

Desnivel	Cuando
(+)	Sube
0	Horizontal
(-)	Baja

Tabla 43: Cálculo de la presión requerida en los arco de riego

Nº Válv.	Cota inicial (m)	Cota válvula (m)	$\Delta H_{y_1-y_2}$ (m)	ΔH matriz (m)	PY	H. arco (m)	P. asp. (m)	Altura a asp. (m)	Margen seg. 10% (m)	P. origen (m)	% ΔP extremos
V1	211	211	0	2.35	2.35	2.5	30	0.102	3.50	38.45	6.1
V2	210.88	210.73	0.15	5.12	5.27	2.5	30	0.102	3.79	41.66	12.6
V3	209.93	211	-1.07	5.46	4.39	2.5	30	0.102	3.70	40.69	10.8
V4	209	211	-2	3.43	1.43	2.5	30	0.102	3.40	37.44	3.8
V5	209.71	210.92	-1.21	6.41	5.20	2.5	30	0.102	3.78	41.58	12.5
V6	211	210.24	0.76	3.20	3.96	2.5	30	0.102	3.66	40.22	9.8
V7	210.8	210.7	0.1	3.09	3.19	2.5	30	0.102	3.58	39.38	8.1
V8	210.57	209.8	0.77	3.84	4.61	2.5	30	0.102	3.72	40.93	11.3
V9	211.2	209.7	1.5	4.75	6.25	2.5	30	0.102	3.89	42.74	14.6
V10	210.1	209	1.1	4.82	5.92	2.5	30	0.102	3.85	42.37	14.0
V11	210	210	0	3.95	3.95	2.5	30	0.102	3.66	40.21	9.8
V12	209.2	210.3	-1.1	2.49	1.39	2.5	30	0.102	3.40	37.39	3.7
V13	211.7	211.5	0.2	2.74	2.94	2.5	30	0.102	3.55	39.09	7.5
V14	211.4	211.6	-0.2	4.86	4.66	2.5	30	0.102	3.73	40.98	11.4
V15	210.2	210	0.2	5.14	5.34	2.5	30	0.102	3.79	41.73	12.8
V16	210.4	210.7	-0.3	4.34	4.04	2.5	30	0.102	3.66	40.30	10.0
V17	210.7	210.6	0.1	5.39	5.49	2.5	30	0.102	3.81	41.90	13.1
V18	210.4	210.3	0.1	4.08	4.18	2.5	30	0.102	3.68	40.46	10.3
V19	210	211	-1	3.75	2.75	2.5	30	0.102	3.54	38.89	7.1
V20	209.9	209.1	0.8	3.78	4.58	2.5	30	0.102	3.72	40.90	11.2
V21	210.6	210.4	0.2	3.68	3.88	2.5	30	0.102	3.65	40.13	9.7
V22	211	211	0	3.30	3.30	2.5	30	0.102	3.59	39.49	8.4
V23	211	211	0	2.30	2.30	2.5	30	0.102	3.49	38.39	6.0
V24	211	209.93	1.07	3.55	4.62	2.5	30	0.102	3.72	40.94	11.3
V25	209.5	209.3	0.2	2.00	2.20	2.5	30	0.102	3.48	38.28	5.7
V26	210	209.8	0.2	3.11	3.31	2.5	30	0.102	3.59	39.50	8.4
V27	209.2	209	0.2	3.11	3.31	2.5	30	0.102	3.59	39.51	8.4
V28	209	209.1	-0.1	4.99	4.89	2.5	30	0.102	3.75	41.24	11.9
V29	213.2	209	4.2	2.82	7.02	2.5	30	0.102	3.96	43.58	16.1
V30	212.2	209	3.2	3.32	6.52	2.5	30	0.102	3.91	43.03	15.1
V31	216	212.75	3.25	3.70	6.95	2.5	30	0.102	3.96	43.51	16.0
V32	212.1	210.9	1.2	4.87	6.07	2.5	30	0.102	3.87	42.54	14.3
V33	212.9	210.9	2	3.33	5.33	2.5	30	0.102	3.79	41.72	12.8
V34	212.9	210.5	2.4	2.82	5.22	2.5	30	0.102	3.78	41.60	12.5
V35	212.95	210.8	2.15	2.75	4.90	2.5	30	0.102	3.75	41.26	11.9
V36	214.1	213.82	0.28	3.36	3.64	2.5	30	0.102	3.62	39.87	9.1

Continuación...

V37	216	212	4	3.18	7.18	2.5	30	0.102	3.98	43.76	16.4
V38	212.78	215.6	-2.82	3.77	0.95	2.5	30	0.102	3.36	36.91	2.6
V39	215.9	214.9	1	3.03	4.03	2.5	30	0.102	3.66	40.29	10.0
V40	213.4	213.9	-0.5	4.52	4.02	2.5	30	0.102	3.66	40.29	10.0
V41	213.4	213	0.4	3.12	3.52	2.5	30	0.102	3.61	39.73	8.9
V42	213.3	213	0.3	2.76	3.06	2.5	30	0.102	3.57	39.23	7.8
V43	213.2	213	0.2	5.00	5.20	2.5	30	0.102	3.78	41.58	12.5
V44	213.5	213	0.5	3.23	3.73	2.5	30	0.102	3.63	39.96	9.3
V45	213	212.2	0.8	3.33	4.13	2.5	30	0.102	3.67	40.41	10.2
V46	210.35	214.9	-4.55	4.10	-0.45	2.5	30	0.102	3.22	35.37	-1.3
V47	211.6	214.6	-3	4.87	1.87	2.5	30	0.102	3.45	37.92	4.9
V48	213.3	212.6	0.7	4.66	5.36	2.5	30	0.102	3.80	41.76	12.8
V49	212.5	210.4	2.1	3.96	6.06	2.5	30	0.102	3.87	42.53	14.3
V50	211	211	0	3.31	3.31	2.5	30	0.102	3.59	39.50	8.4
V51	211.1	211	0.1	2.33	2.43	2.5	30	0.102	3.50	38.53	6.3
V52	211	211.1	-0.1	3.11	3.01	2.5	30	0.102	3.56	39.17	7.7
V53	211.4	211	0.4	2.59	2.99	2.5	30	0.102	3.56	39.15	7.6
V54	211.5	211	0.5	1.07	1.57	2.5	30	0.102	3.42	37.59	4.2
V55	211.7	211.1	0.6	2.66	3.26	2.5	30	0.102	3.59	39.45	8.3
V56	209	209	0	2.50	2.50	2.5	30	0.102	3.51	38.61	6.5
V57	209	209	0	2.58	2.58	2.5	30	0.102	3.52	38.70	6.7
V58	209	209.3	-0.3	3.15	2.85	2.5	30	0.102	3.54	38.99	7.3
V59	209	209.4	-0.4	2.83	2.43	2.5	30	0.102	3.50	38.54	6.3
V60	209	209.4	-0.4	3.09	2.69	2.5	30	0.102	3.53	38.82	6.9
V61	209	209.5	-0.5	2.63	2.13	2.5	40	0.127	4.48	49.24	4.3
V62	209	209.5	-0.5	1.23	0.73	2.5	40	0.127	4.34	47.69	1.5
V63	209	209.5	-0.5	1.21	0.71	2.5	40	0.127	4.33	47.67	1.5
V64	209	209.6	-0.6	1.75	1.15	2.5	40	0.127	4.38	48.16	2.4
V65	209	209.7	-0.7	1.80	1.10	2.5	40	0.127	4.37	48.10	2.3

Se obtuvieron presiones de 35.37 a 49.24 mH₂O para las válvulas 46 y 61 respectivamente, con una diferencia de presiones en los extremos de 16 por ciento como máximo. Como resultado se obtuvieron los diámetros detallados en la Tabla 44. Y fue mayoritaria la tubería de ¾ pulgada con 41.2 por ciento del total (Figura 52).

Tabla 44: Inventario de tuberías red subtronal

Diámetro nominal (plg)	Diámetro interno (mm)	Longitud (PVC) (m)
1/2	17.4	705
3/4	22.9	9838
1	29.40	3045
1 1/4	38.0	1195
1 1/2	43.4	3919
2	54.2	2322
2 1/2	66.0	2846
Total		23870

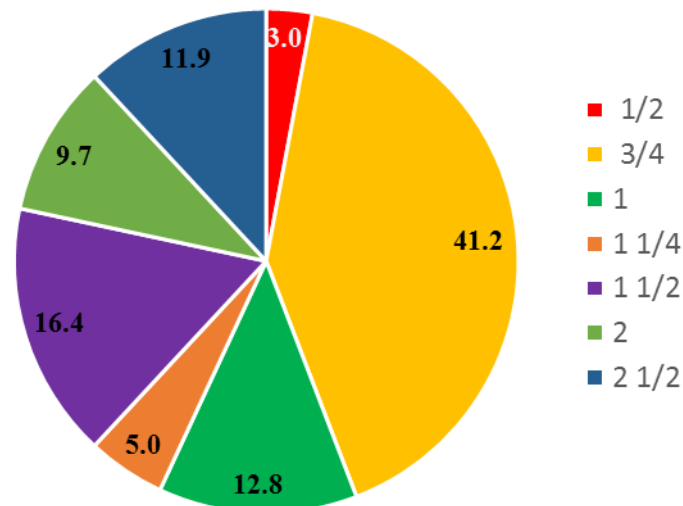


Figura 52: Distribución de tuberías de la red subtruncal

4.4.2 Requerimiento de presión y bombeo

Para seleccionar el equipo de bombeo se debe tener conocimiento completo del sistema en el cual va a funcionar; con los datos de la altura manométrica total. Las condiciones del líquido y caudal máximo de bombeo se evaluaron en las curvas de la bomba. Con la información básica se solicitó a los proveedores locales el modelo más apropiado para la aplicación.

La determinación final es la combinación de los anteriores métodos, evaluando entre los recomendados el más adecuado para el sistema de riego. Se detalla el cálculo de la presión requerida en el cabezal en la Tabla 45.

Para determinar las presiones en el cabezal se sumaron a las presiones del hidrante, las pérdidas en la red troncal, el 10 por ciento por derivaciones, la pérdida en el cabezal y un margen de seguridad del 10 por ciento, con ellos se obtuvieron presiones de 59.24 a 73,58 mH₂O correspondientes a los turnos 15 y 11 respectivamente.

En el cabezal de riego se estimó una pérdida de 10 mca, distribuido en:

- Pérdidas de carga en el filtro de arena 5 mca.
- Pérdidas de carga en el filtro de mallas 3 mca.
- Pérdidas de carga en puntos singulares 2 mca.

Tabla 45: Cálculo de presiones en el cabezal

Turno	Nº Val.	Presión requerida hidrante (m)	Presión hidrante Watercad (m)	ΔH troncal (m)	ΔH acc. (m) 10% troncal	ΔH cab. (m)	Margen seg. 10% (m)	presión requerida cabezal (m)	Presión cabezal bomba Watercad (m)
I	V1	38.45	74.3	3.59	0.36	10	5.24	57.63	77.89
	V2	41.66	75.91	1.98	0.20	10	5.38	59.22	77.89
	V3	40.69	74.39	3.5	0.35	10	5.45	59.99	77.89
	V4	37.44	75.97	1.92	0.19	10	4.95	54.50	77.89
II	V5	41.58	76.57	2.45	0.25	10	5.43	59.70	79.02
	V6	40.22	76.79	2.23	0.22	10	5.27	57.94	79.02
	V7	39.38	76.52	2.5	0.25	10	5.21	57.34	79.02
	V8	40.93	77.27	1.75	0.18	10	5.29	58.14	79.02
III	V16	40.30	78.72	2.47	0.25	10	5.30	58.32	81.19
	V17	41.90	78.38	2.81	0.28	10	5.50	60.49	81.19
	V18	40.46	78.42	2.77	0.28	10	5.35	58.85	81.19
	V19	38.89	76.05	5.14	0.51	10	5.45	60.00	81.19
IV	V21	40.13	76.54	3.87	0.39	10	5.44	59.82	80.41
	V22	39.49	73.39	7.02	0.70	10	5.72	62.94	80.41
	V23	38.39	73.12	7.29	0.73	10	5.64	62.05	80.41
	V24	40.94	75.87	4.54	0.45	10	5.59	61.53	80.41
V	V15	41.73	74.34	7.15	0.71	10	5.96	65.56	81.49
	V20	40.90	77.15	4.34	0.43	10	5.57	61.24	81.49
	V25	38.28	76.65	4.84	0.48	10	5.36	58.96	81.49
	V26	39.50	75.32	6.17	0.62	10	5.63	61.92	81.49
VI	V10	42.37	75.38	2.9	0.29	10	5.56	61.11	78.28
	V11	40.21	69.33	8.95	0.90	10	6.01	66.06	78.28
	V12	37.39	69.6	8.68	0.87	10	5.69	62.63	78.28
	V13	39.09	69.84	8.44	0.84	10	5.84	64.21	78.28
VII	V9	42.74	72.43	7.21	0.72	10	6.07	66.74	79.64
	V28	41.24	76.39	3.25	0.33	10	5.48	60.30	79.64
	V32	42.54	72.92	6.72	0.67	10	5.99	65.93	79.64
	V33	41.72	72.33	7.31	0.73	10	5.98	65.74	79.64
VIII	V14	40.98	69.74	9.82	0.98	10	6.18	67.96	79.56
	V34	41.60	71.53	8.03	0.80	10	6.04	66.48	79.56
	V35	41.26	71.64	7.92	0.79	10	6.00	65.96	79.56
	V37	43.76	70.71	8.85	0.89	10	6.35	69.84	79.56
IX	V38	36.91	70.05	11.05	1.11	10	5.91	64.97	81.1
	V39	40.29	70.8	10.3	1.03	10	6.16	67.78	81.1
	V40	40.29	71.62	9.48	0.95	10	6.07	66.79	81.1
	V41	39.73	72.17	8.93	0.89	10	5.96	65.51	81.1
X	V52	39.17	68.81	10.6	1.06	10	6.08	66.91	79.41
	V53	39.15	66.54	12.87	1.29	10	6.33	69.64	79.41
	V54	37.59	65.58	13.83	1.38	10	6.28	69.08	79.41
	V55	39.45	67.36	12.05	1.21	10	6.27	68.97	79.41
XI	V42	39.23	63.58	13.49	1.35	10	6.41	70.48	77.07
	V43	41.58	63.15	13.92	1.39	10	6.69	73.58	77.07
	V44	39.96	62.94	14.13	1.41	10	6.55	72.06	77.07
	V45	40.41	63.64	13.43	1.34	10	6.52	71.70	77.07
XII	V48	41.76	68.09	10.09	1.01	10	6.29	69.14	78.18
	V49	42.53	70.09	8.09	0.81	10	6.14	67.57	78.18
	V50	39.50	69.12	9.06	0.91	10	5.95	65.41	78.18
	V51	38.53	68.92	9.26	0.93	10	5.87	64.59	78.18

Continuación...

XIII	V29	43.58	76.7	3.24	0.32	10	5.71	62.86	79.94
	V30	43.03	76.67	3.27	0.33	10	5.66	62.29	79.94
	V31	43.51	72.87	7.07	0.71	10	6.13	67.42	79.94
	V36	39.87	72.05	7.89	0.79	10	5.85	64.40	79.94
XIV	V46	35.37	64.08	11.32	1.13	10	5.78	63.60	75.4
	V47	37.92	64.78	10.62	1.06	10	5.96	65.56	75.4
	V56	38.61	69.12	6.28	0.63	10	5.55	61.07	75.4
	V57	38.70	69.39	6.01	0.60	10	5.53	60.85	75.4
XV	V27	39.51	76.11	2.32	0.23	10	5.21	57.27	78.43
	V58	38.99	74.01	4.42	0.44	10	5.39	59.24	78.43
	V59	38.54	73.93	4.5	0.45	10	5.35	58.84	78.43
	V60	38.82	73.99	4.44	0.44	10	5.37	59.07	78.43
XVI	V61	49.24	81.29	2.08	0.21	10	6.15	67.68	83.37
	V62	47.69	81.89	1.48	0.15	10	5.93	65.25	83.37
XVII	V63	47.67	79.1	2.7	0.27	10	6.06	66.71	81.8
	V64	48.16	78.87	2.93	0.29	10	6.14	67.52	81.8
	V65	48.10	78.46	3.34	0.33	10	6.18	67.95	81.8

4.5 MODELAMIENTO HIDRÁULICO

4.5.1 Modelamiento hidráulico de la red troncal

Una vez calibrado el modelo se inicia con las simulaciones del sistema para evaluar los caudales, las velocidades de flujo permitidas, presiones y valores asociados al diámetro asignado inicialmente. En la Figura 53 se muestra la simulación del turno 17.

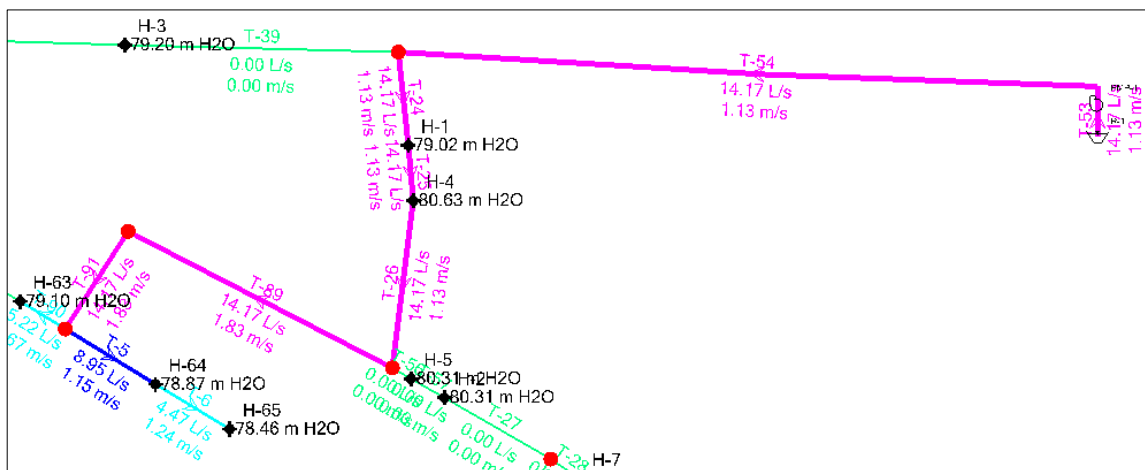


Figura 53: Resultados de la simulación con WaterCAD del turno 17

Una vez configurados los parámetros del sistema, se simularon los 17 turnos de riego. En el modelo WaterCAD se configuró el color de las tuberías en función al caudal (Tabla 46).

En la figura de la simulación del turno 17 se muestra que las tuberías 54, 24, 25, 26, 89 y 91 estaban trabajando con un caudal promedio 14.17 l.s^{-1} , en el rango de codificación magenta ($12 \text{ a } 16 \text{ l.s}^{-1}$) y con una velocidad de flujo de 1.83 m.s^{-1} . La línea azul ($7.5 \text{ a } 12 \text{ l.s}^{-1}$) que alimentaba al hidrante 64 y 65 con un caudal de 8.95 l.s^{-1} y una velocidad de flujo de 1.15 m.s^{-1} . Las tuberías 6 y 90 en color turquesa ($4 \text{ a } 7.5 \text{ l.s}^{-1}$) alimentaban los hidrantes 65 y 63 con caudales de 4.47 y 5.22 l.s^{-1} y velocidades de flujo de 1.24 y 0.67 m.s^{-1} respectivamente.

Se observa también que los hidrantes 63, 64 y 65 tiene presiones de 79.1, 78.87 y 78.46 metros respectivamente. Estos resultados se obtuvieron ajustando los diámetros internos de las tuberías troncales.

Tabla 46: Codificación de velocidad del fluido en tuberías del modelo WaterCAD

Caudal (l/s)	color
0	Yellow
4	Light Green
7.5	Light Blue
12	Blue
16	Magenta
20	Red

En este análisis de flujo se conocieron los diámetros de todos los tramos de la red, las cotas y las demandas en los hidrantes (o puntos de entrega). Así se buscó también la distribución de caudales y presiones de red, en condiciones de demanda y niveles constantes. Es por ello que este análisis corresponde a un análisis de flujo permanente, un análisis estático.

Ya conocida la distribución de la red se configuran las condiciones de operación de la bomba seleccionada según el requerimiento de presión, caudal y eficiencia. Con ello se inicia la simulación como si la bomba estuviera en funcionamiento, se procede a evaluar y ajustar el diámetro de cada tramo de tubería. De tal manera que no exceda la velocidad permisible de 3 m.s^{-1} , evaluando que la red funcione con el mismo criterio para todos los turnos que comparten una misma red.

En la simulación del turno 17 se observaron velocidades de flujo entre 0.67 y 1.83 m.s^{-1} , y presiones de 79.10, 78.87 y 78.46 para los hidrantes 63, 64 y 65 respectivamente.

En la simulación se evaluó si el equipo de bombeo satisface la demanda de agua y presión. En el caso del turno 17 se observa en la Figura 54 que el turno funciona dentro la curva de

operación de la bomba con una eficiencia del 70 por ciento. Evaluándose de la misma manera para todos los turnos.

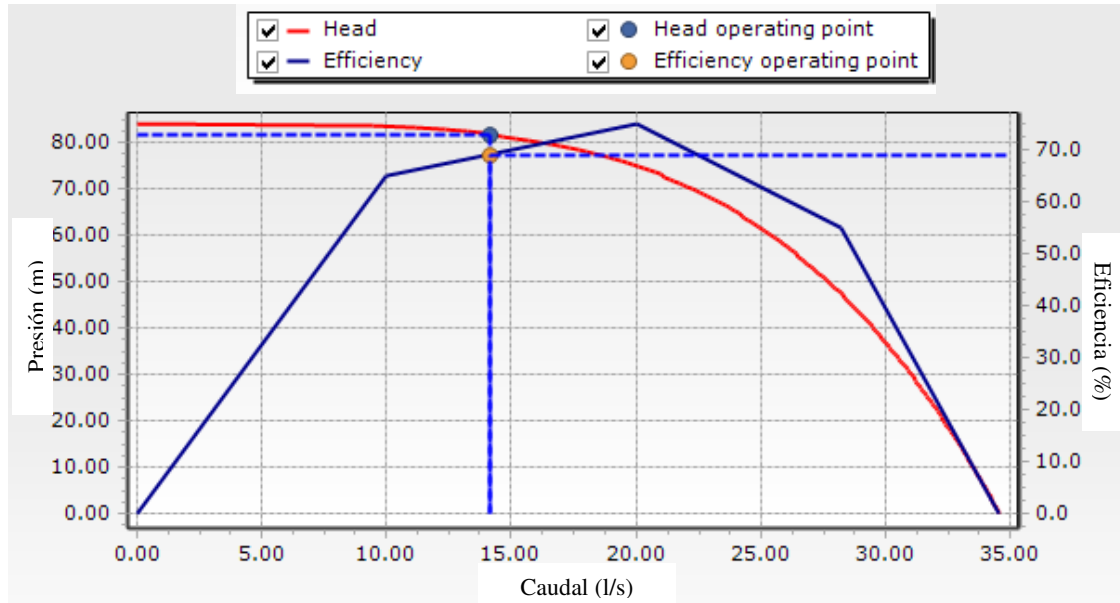


Figura 54: Curva de presión, caudal y eficiencia de la bomba en el turno 17

En la simulación del turno 17, se observó que el equipo de bombeo estaba trabajando con un caudal de 14.17 l.s^{-1} y una presión aproximada a los 80 metros de columna de agua, con una eficiencia del 70 por ciento.

Determinados los diámetros con el criterio de velocidad permisible en conjunto con los diámetros comerciales se obtienen las cantidades de tuberías, ver la Tabla 47. Asimismo, se observa que el 71 por ciento de la red troncal corresponde a la tubería de diámetro 140mm clase 10 (Figura 55).

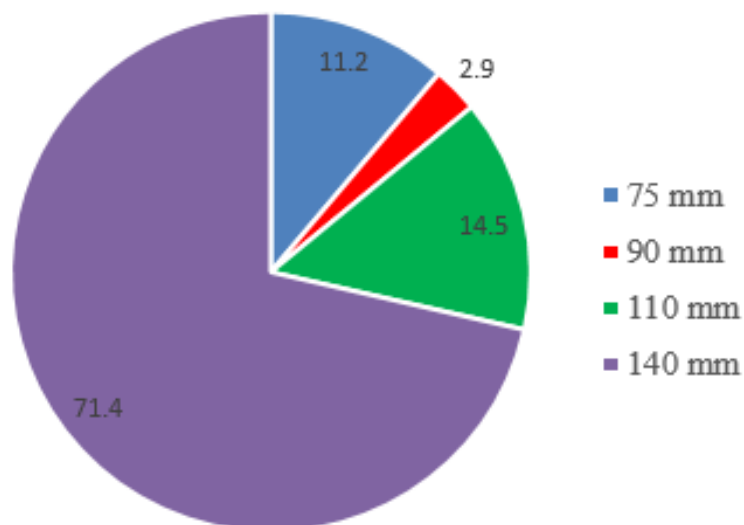


Figura 55: Porcentaje de tuberías de la red troncal

Tabla 47: Inventario de tuberías de la red troncal

Diámetro nominal (mm)	Diámetro interno (mm)	Longitud (PVC) (m)
75	67.8	300.46
90	81.4	76.91
110	99.4	389.20
140	126.6	1,918.05
Total		2,684.63

4.5.2 Sistema de bombeo

Una vez calculados los diámetros internos de la red troncal, se calcularon las presiones tanto en las válvulas como en el cabezal de riego. Los resultados se compararon con los valores obtenidos en la simulación con WaterCAD, analizando que la presión simulada sea suficiente para satisfacer la demanda de presión en los hidrantes y en el cabezal.

Una vez corroborados que los requerimientos de presión están cubiertos por la presión de bombeo, se seleccionó el modelo de bomba. En este caso la bomba marca Hidrostral modelo 50/200 cuya curva de funcionamiento se aprecia en la Figura 56, en la cual se observan la ubicación de los 17 turnos de riego en funcionamiento (puntos rojos). De la gráfica se determinó la ecuación de la bomba $y = -0.0865x^2 + 1.3286x + 80.745$ con un coeficiente de correlación $R^2=0.9828$ que indica que la mayoría de puntos de la gráfica coinciden con los datos, indicando que el modelo es confiable.

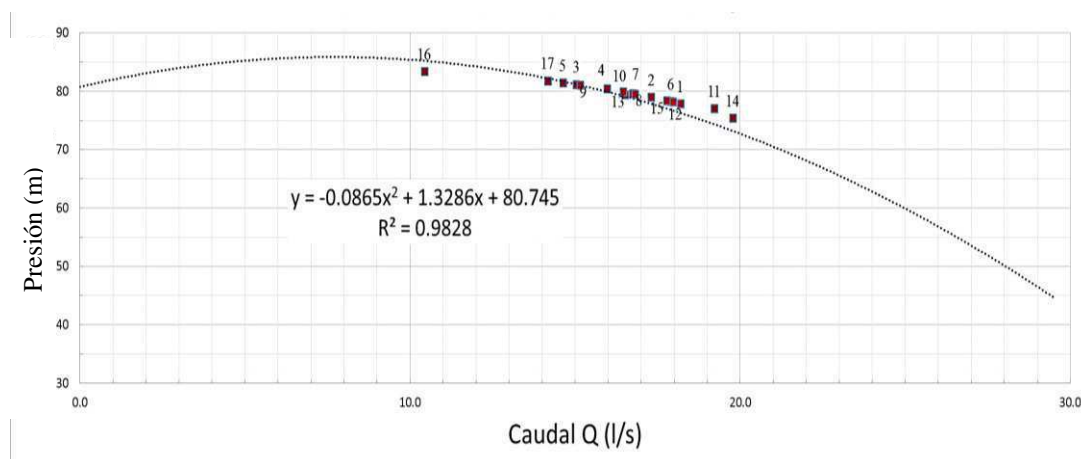


Figura 56: Curva de funcionamiento de la bomba Hidrostral 50/200, indicando la numeración de los 17 turnos de riego

Asimismo se obtuvieron los parámetros de funcionamiento de los 17 turnos de riego siendo los más críticos los turnos 16 y 14 con caudales de operación de 10.44 y 19.78 respectivamente, tal como se aprecia en la Tabla 48.

Tabla 48: Resultados de operación de la bomba modelo 50/200 de Hidrostral en los diferentes turnos de riego

Turno	Hydraulic Grade (Suction) (m)	Hydraulic Grade (Discharge) (m)	Flow (Total) (l.s ⁻¹)	Pump Head (m) 50/200
1	219.91	297.8	18.19	77.89
2	219.92	298.94	17.30	79.02
3	219.94	301.13	15.04	81.19
4	219.93	300.34	15.96	80.41
5	219.94	301.43	14.63	81.49
6	219.91	298.19	17.90	78.28
7	219.92	299.56	16.75	79.64
8	219.92	299.48	16.82	79.56
9	219.94	301.04	15.15	81.1
10	219.92	299.33	16.96	79.41
11	219.91	296.97	18.76	77.07
12	219.91	298.09	17.97	78.18
13	219.93	299.86	16.46	79.94
14	219.9	295.29	19.78	75.4
15	219.91	298.34	17.78	78.43
16	219.97	303.33	10.44	83.37
17	219.94	301.74	14.17	81.8

4.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Para el diseño del sistema de riego, se consideró la extensión del terreno, el clima, el tipo de suelo, el tipo de cobertura, el riego actual así como el personal que realiza el mantenimiento entre otros factores. Es por ello que se seleccionó un riego automatizado ya sea por su eficacia, simplicidad, consideración del valor de la propiedad, ahorro, etc.

Para diseñar se partió desde la elección del emisor, seleccionado de acuerdo a la pluviometría del sistema, al alcance y presión de trabajo. Seguidamente, para el cálculo hidráulico se seleccionó el tipo de tubería en función al material, espesor, longitud, empalme. Para el control del flujo se seleccionó la válvula más acorde al diseño (en función al caudal, tipo de uso, material, resistencia). Otro elemento importante es el equipo de bombeo y los componentes que lo conforman. En el proyecto también se hicieron uso de otros elementos como válvulas reguladoras de presión, válvulas de aire, etc.

A continuación, los componentes importantes del sistema de riego por aspersión.

4.6.1 Cabezal de riego

a. Sistema de bombeo

El equipo de bombeo seleccionado para la operación del sistema es la bomba marca Hidrostral modelo 50/200 (ver Figura 57) ya que cumple con el requerimiento de presión y caudal del sistema de riego. El rango de operación de caudales es entre 10 y 20 lps, mientras la presión de operación media fue de 75 metros de columna de agua.

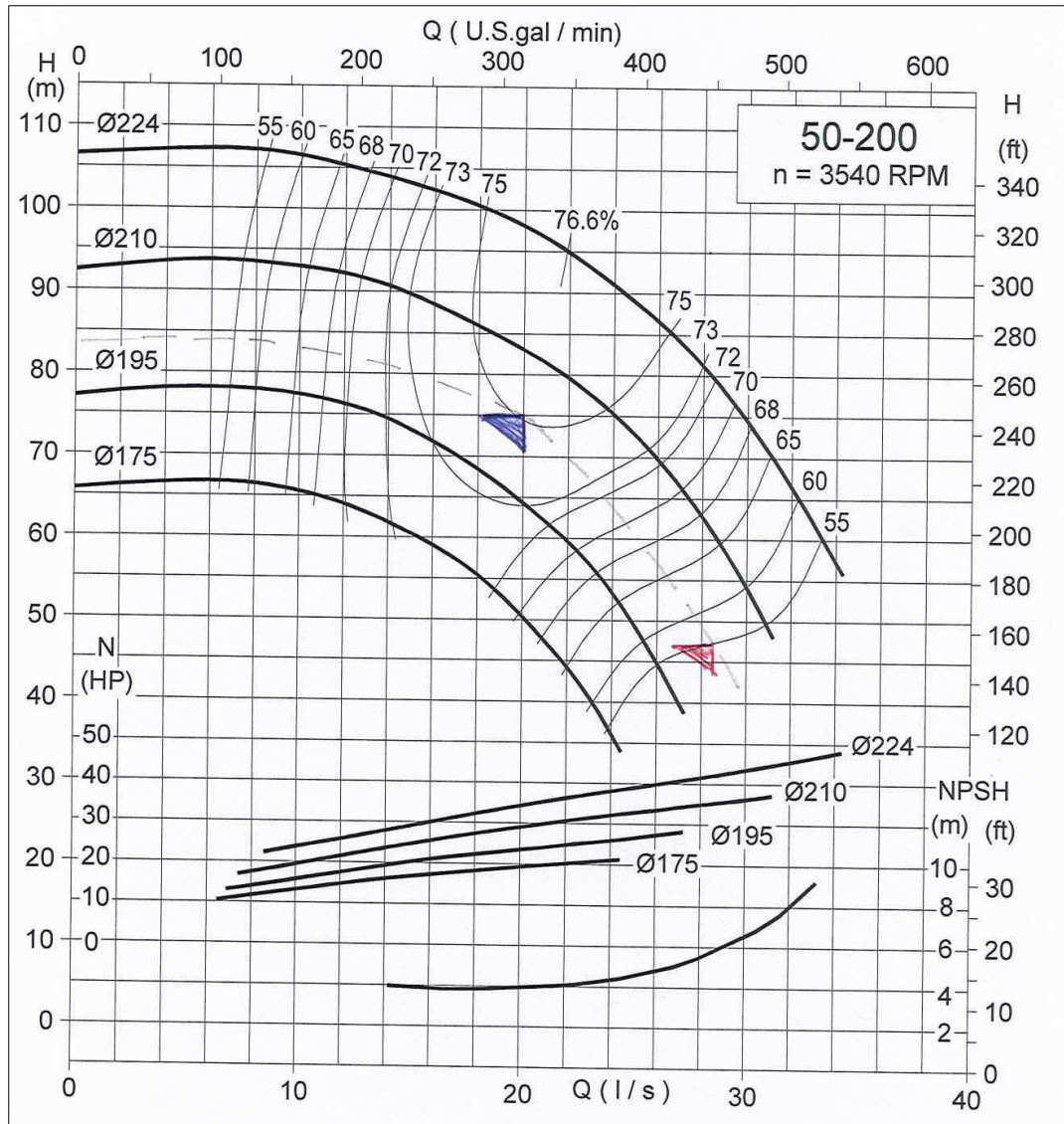


Figura 57: Curva característica de la bomba modelo 50/200 marca Hidrostral

Fuente: Tomado de Hidrostral (2017)

Para ajustarlo a la demanda de presión se sugiere que trabaje en una curva intermedia a las curvas de los diámetros de impulsor 210 y 195, que son los diámetros comerciales. Para trabajar en la curva de diseño se sugiere indicar al distribuidor el cambio del diámetro de impulsor a uno de 200mm.

4.6.2 Red de distribución

El sistema se conformó por 65 sectores de riego. Para el diseño de la red subtruncal se ha considerado las tuberías para conducción de fluidos a presión. De acuerdo a la norma técnica peruana NTP 399 cuyos diámetros están especificados en la Tabla 21 (Diámetro interno tuberías NTP 399.002-2002). Para las redes troncales se ha trabajado con la norma técnica peruana NTP ISO 4422, cuyos diámetros están especificados en la norma en la Tabla 20 (NTP ISO 4422-2007).

4.6.3 Aparatos de control

a. Regulador de presión

Para regular la presión de salida de la válvula se seleccionó este complemento regulador de presión modelo PRS-Dial (Figura 58). Este complemento puede utilizarse con las válvulas seleccionadas, con ello reducimos los picos de presión así como el golpe de ariete. Trabaja con una presión máxima de 6.9 bares, en la Tabla 49 se detallan los rangos de trabajo.



Figura 58: PRS-Dial (Izquierda), Válvula con instalación PRS-Dial (derecha)
Fuente: Tomado de Rain Bird (2014)

Tabla 49: Rangos de caudal de la válvula PRS-Dial

Modelo	gpm	m ³ /h	l/m
100-PGA	5-40	1.14-9.08	19.2-151
150-PGA	30-100	6.81-22.70	113-378
200-PGA	40-150	9.08-34.05	151-568
100-PEB	5-50	1.14-11.35	19.2-189
150-PEB	20-150	4.54-34.05	76-568
200-PEB	75-200	17.03-45.40	284-757
100-PESB/PESB-R	5-50	1.14-11.35	19.2-189
150-PESB/PESB-R	20-150	4.54-34.05	76-568
200-PESB/PESB-R	75-200	17.03-45.40	284-757
100-EFB-CP	5-50	1.14-11.35	19.2-189
125-EFB-CP	20-80	4.54-18.16	76-302
150-EFB-CP	20-120	4.54-31.78	76-529
200-EFB-CP	20-200	4.54-45.40	76-757
300-BPE	60-300	13.62-68.10	227-1136
300-BPES	60-300	13.62-68.10	227-1136

Fuente: Tomado de Rain Bird (2014)

4.6.4 Automatización

a. Electroválvulas

Se seleccionaron en función al caudal y a la calidad de fluido. Si bien en el momento de la recolección de datos el riego se está dando con agua potable, en un futuro se prevé la utilización de aguas tratadas. Lo mencionado se debió a que hay un proyecto de una planta de tratamiento en dicho parque. Es por ello que seleccionamos las válvulas serie PESB-R de la marca Rain Bird, ver Figura 52Figura 59. Los parámetros de operación de la válvula se detallan en la Tabla 50.

La válvula tiene las siguientes características: presión de 1.38 a 13.8 bares, caudal de 1.2 a 757 l.m⁻¹, caudal con PRS-Dial: de 19.2 a 757 l.m⁻¹, temperatura: hasta 66° C. Se trata de una válvula resistente al cloro, químicos y agua reciclada; cierre lento para evitar el golpe de ariete.

Tabla 50: Pérdida de presión de las válvulas serie PESB-R (bares)

Caudal m ³ /h	Caudal l/m	100-PESB-R 2.5 cm	150-PESB-R 3.8 cm	200-PESB-R 5.1 cm
0.06	1	0.11	-	-
0.3	5	0.13	-	-
0.6	10	0.15	-	-
1.2	20	0.20	-	-
3	50	0.19	-	-
6	100	0.32	0.22	-
9	150	0.69	0.16	-
12	200	-	0.16	0.25
15	250	-	0.24	0.24
18	300	-	0.33	0.25
21	350	-	0.45	0.30
24	400	-	0.59	0.38
27	450	-	0.75	0.53
30	500	-	0.91	0.67
33	550	-	1.10	0.82
36	600	-	-	0.92
39	650	-	-	1.00
42	700	-	-	1.13
45	757	-	-	1.30

Fuente: Tomado de Rain Bird (2014)



Figura 59: Vista transversal de una válvula PESB-R

Fuente: Tomado de Rain Bird (2014)

b. Programador de riego

El programador de riego tuvo que ser suficiente para abastecer la cantidad de válvulas en el proyecto. El proyecto estuvo conformado de 65 sectores de riego que son controlados por una electroválvula. Para este caso se seleccionó el controlador modelo ESP-LXD75 (Figura 60), módulo de 75 estaciones, con decodificador con capacidad para 50 estaciones ampliable a 200. Es un dispositivo fácil de usar, necesario para evitar inconvenientes por mala manipulación.



Figura 60: Controlador ESP-LDX con decodificador
Fuente: Tomado de Rain Bird (2014)

4.6.5 Emisores

Se seleccionaron los rotores de acuerdo al radio de cobertura ya que hay áreas pequeñas, medianas y grandes. También se consideró la pluviometría para que esta no exceda la precipitación del sistema para no generar escorrentía.

Para las áreas verdes comunes se utilizó los rotores serie 3500 y 5000. En el caso de la cancha de futbol al ser un área nivelada se usó el modelo serie 8005 con una precipitación media de 20 mm.h^{-1} por tener un mayor diámetro de alcance. Las características de los rotores se muestran en la Tabla 51.

Tabla 51: Rotores seleccionados en el diseño

Serie 3500	Serie 5000	Serie 8005
	 <p>6" 4" Adaptador para arbustos</p>	 <p>Serie 8005</p>
<p>Rango operativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de precipitación de 9 a 21 mm/h - Radio de 4.6 a 10.7 m - Presión de 1.7 a 3.8 bares - Índice de flujo de 2.0 a 17.4 l/m <p>Especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrada rosca interna de 1/2" - Altura de vástago retráctil 10.2 cm - Altura total del cuerpo 16.8 cm - Diámetro de superficie expuesta 2.9 cm 	<p>Rango operativo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de precipitación de 5 a 26 mm.h⁻¹ - Radio de 7.6 a 15.2 m (25% ajustable) - Presión de 1.7 a 4.5 bares - Índice de flujo de 3.0 a 36.6 l.m⁻¹ <p>Especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrada rosca interna de 3/4" - Ajuste inverso círculo completo y de círculo parcial 40° a 360° - Altura de vástago retráctil 15.2 cm - Altura total del cuerpo 24.5 cm - Diámetro de superficie expuesta 4.1 cm 	<p>Rango operativo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de precipitación de 12 a 31 mm.h⁻¹ - Radio de 11.9 a 24.7 m - Presión de 3.5 a 6.9 bares - Índice de flujo de 14.4 a 137.4 l.m⁻¹ <p>Especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrada rosca interna de 1" - Altura de vástago retráctil 12.7 cm - Altura total del cuerpo 25.7 cm - Diámetro de superficie expuesta 4.8 cm

Fuente: Elaborado con base en Rain Bird (2014)

4.7 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO

La operación y mantenimiento de un sistema de riego por aspersión requiere de acciones o labores de manejo de cada uno de los componentes del sistema. Mencionado con el fin de garantizar un adecuado funcionamiento y asegurar el periodo de vida útil para el cual fue diseñado. En la Tabla 52 se establece una rutina anual de operación y mantenimiento a fin de conservar el sistema en óptimas condiciones y evitar problemas de mal funcionamiento.

Tabla 52: Frecuencia de mantenimiento de elementos de riego

Tratamiento	Frecuencia
Lavado de líneas	Cada 30 días
Control de presiones	Evaluación permanente
Control de válvulas	Cada 6 meses
Reparación de Tuberías y accesorios HDPE-PVC	Estar al tanto, se realiza cuando hay problemas de rotura de tuberías y otros efectos externos no previstos
Mantenimiento de emisores	Inicio y fin de temporada. (Cada 6 meses)
Equipo de bombeo	1 vez al año
Tanques Rotoplast	6 meses

Esta rutina se establece en una primera etapa como tentativa, una vez en marcha el uso del sistema, se establecerá una rutina fija. Asimismo, se establecerán controles periódicos para verificar la realización de esta rutina, y establecer posibles modificaciones de acuerdo a los problemas que se detecten. A continuación, se dan algunas recomendaciones referentes a operación y mantenimiento de los elementos principales.

4.7.1 Reservorio

Se recomienda, cada seis meses realizar la limpieza del reservorio y la desinfección correspondiente. Si se encuentra una válvula oxidada es necesario engrasarla, pintarla con pintura anticorrosiva. Si se observa que alguna válvula presenta fugas, se debe cambiar por una nueva.

4.7.2 Línea de conducción

Se recomienda verificar las presiones en algunos puntos a fin de determinar posibles fugas. Si el tubo se ha roto se debe cambiar inmediatamente con un pedazo de tubo del mismo diámetro.

4.7.3 Válvulas de control

Estas válvulas controlan el ingreso del agua a los diferentes ramales para los turnos de riego, pueden ser válvulas de Ø 2 1/2", Ø 2", van colocados en sitios estratégicos de control. Estas válvulas están protegidas por cajas de concreto simple así como de una tapa metálica para evitar el vandalismo de las mismas. Se recomienda lubricar y engrasar dichas válvulas, así como pintar las tapas metálicas la cual las protege.

4.7.4 Válvulas de aire

Se realiza el mantenimiento cuando esta obstruida, debido a los sedimentos que circulan por la red de tuberías, por eso es importante realizar el purgado de toda la red tuberías. Lo primero que se tiene que realizar es cerrar la válvula general o la válvula de control de los laterales y luego abrir la válvula de purga para evacuar el agua y así poder darle el mantenimiento adecuado a dicha válvula. Limpiar la válvula de los posibles cuerpos extraños que ocasionan el mal funcionamiento del sistema, posteriormente colocar la válvula de aire y proceder abrir las válvulas para continuar con el riego. De igual manera pintar la tapa metálica que protege a la válvula de aire.

4.7.5 Válvula de purga

Antes de cada aplicación de riego, se debe efectuar el purgado, en las válvulas ubicadas al final de cada línea de distribución, para que los sedimentos y desechos sean expulsados y no interfieran el normal funcionamiento del sistema.

Mantenimiento: abrir y cerrar la válvula lentamente para no ocasionar cambios bruscos y pueda colapsarlas tuberías, así de ésta manera evacuaremos los materiales que ingresan a la red de tuberías

4.7.6 Aspersor de riego

Una duración prolongada de un aspersor, depende del mantenimiento que el encargado realice. Las boquillas se desgastan y por tanto es necesario cambiarlas. Para evitar mayor descarga de agua, es necesario cambiar las juntas de goma cada 2 años. También es necesario revisar y ajustar el resorte, pueden ser que éstos hayan sufrido estiramiento. Estas acciones se hacen al finalizar la temporada de riego cuando se gasta la manguera en los extremos, cortar el pedazo gastado al fin de evitar la pérdida o fuga de agua.

V. CONCLUSIONES

1. El diseño planteado garantiza el riego de 9.04 ha en el periodo más crítico en el parque zonal Huiracocha. Las coberturas en estudio son árboles, arbustos, herbáceas-flores, tapizantes y césped, el diseño garantiza la cobertura de agua para la especie más demandante.
2. En el balance hídrico realizado para el parque zonal Huiracocha se obtuvo como oferta anual $152,920\text{m}^3$ y como demanda $101,341.1\text{ m}^3$ se concluye desde el punto de vista hídrico que el sistema de riego por aspersión es viable, siendo el balance positivo en $51,578.9\text{ m}^3$. Además se estimó una demanda de volumen de agua con el sistema de riego actual, considerando eficiencias de aplicación del 20 y 45% de $49,823$ y $22,143\text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ respectivamente y del sistema de riego por aspersión de $12,797\text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$. Se concluye que con el empleo del sistema de riego por aspersión se obtiene un ahorro de agua entre el 42 y 74%.
3. La calidad de agua usada actualmente es potable, indicando que no presentara problemas de sedimentación y corrosión.
4. Considerando el comportamiento de las variables climáticas durante el día, se concluye que las horas propicias para el riego son a partir de las 18:00 hasta las 6:00 horas porque en dicho intervalo de tiempo no se altera el proceso fotosintético del césped y las demás especies, se reducen pérdidas de agua por evaporación y no habrán problemas de los radios y ángulos de riego por distorsión del viento.
5. La infiltración básica fue de $10.2\text{ mm}/\text{hr}$, con ello la pluviometría del sistema es de 11 y $20\text{ mm}/\text{hr}$ para las Z1 (áreas generales) y Z2 (Cancha de futbol) respectivamente. De acuerdo a la pluviometría obtenida y a la topografía del terreno se no se presentara problemas de escorrentía.
6. Las velocidades de flujo en la red subtruncal varían entre 0.3 y $1.6\text{ m}/\text{s}$. Los valores del número de Reynolds hallados varían entre 5000 y 100000 considerando el fluido como turbulento. La variación de presión en los extremos de la red subtruncal oscilan entre 1.5

y 16.1%. Al revisar los valores obtenidos se concluye que el diseño cumple con lo estipulado referente a la tolerancia de presiones y caudales para mantener la uniformidad.

7. Las presiones en el cabezal, dadas por la bomba están en el intervalo de 75.4 a 83.4 metros, suficientes para satisfacer la demanda calculada de 59.3 a 73.6 mH₂O, asimismo los caudales de trabajo del sistema oscilan entre los 10.44 y 19.78 lps, siendo el caudal máximo de la bomba de 30lps; por lo tanto al revisar los valores obtenidos se concluye que la bomba Hidrostral modelo 50/200 cumple con el requerimiento de presión y caudal del sistema de riego. Asimismo los turnos de riego trabajan entre el 65 y 75 % de la curva de eficiencia de la bomba. Se concluye que el diseño cumple con los parámetros de eficiencia de la bomba recomendados del 65 al 85%.

VI. RECOMENDACIONES

1. El diseño del sistema de riego es parte de una serie de medidas a tomar para optimizar el uso del recurso hídrico. En el caso del riego de cactáceas, arbustos y otras especies de menor consumo de agua comparada con el grass, habría un exceso de agua por lo cual se recomienda planificar la distribución de las plantas bajo el criterio de hidrozonas, con la finalidad de sectorizar las áreas por necesidades de agua. Otras medidas son el uso de especies xerófilas que permitan el ahorro de agua, en algunos hasta del 70 por ciento. Para ello también es menester conocer las necesidades hídricas del jardín de una manera más precisa, por ello se requieren los valores del coeficiente de especie ajustados a la realidad de la zona.
2. Para evitar que el agua potable sea empleada en riego, es menester el uso de agua tratada, actualmente hay una planta de tratamiento a implementar, es por ello que se requiere de equipos y materiales resistentes a esta calidad de agua, en el caso del equipo de bombeo se sugiere que sea en acero inoxidable para una mayor duración.
3. Para mejor funcionamiento del sistema de bombeo con el fin de atender situaciones de emergencia y para mejoramiento la eficiencia energética de riego, se recomienda el uso de varias bombas en paralelo y/o bombas con variador de velocidad para atender un caudal variable ya que son sistemas de regulación mucho más eficientes.
4. Para garantizar un mejor funcionamiento, se recomienda un análisis de transitorios para determinar la variación de presión por el cierre brusco de las válvulas, y con ello ubicar las válvulas necesarias para evitar el golpe de ariete.
5. El agua y la energía son recursos cada vez más preciados. Por tanto, es muy importante aumentar la eficiencia energética en los elementos que consumen energía. Es por ello se recomienda realizar un estudio de optimización energética del sistema de riego con el objetivo de valorar la disminución del consumo energético evaluando otras alternativas de operación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AECID (Agencia Española de Cooperación internacional para el Desarrollo). 2009. Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema de riego por goteo. España
- Agüero, P. R. 1997. Agua potable para poblaciones rurales-Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento. Asociación servicios educativos rurales (SER). Lima-Perú
- AGROMATICA. Los filtros en sistemas de riego. Consultado en 15 de Marzo. 2014. Disponible en <http://www.agromatica.es>
- Allen, R. G.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de agua de los cultivos. Riego y Drenaje. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 323 p.
- Arapa, Q. J-B. 2009. Sistema de riego a presión, Teoría y problemas. Universidad Nacional Agraria la Molina. 196 p.
- Bell, AS.2001.Cultivar cactus y otras suculentas en interiores y en invernaderos. España. Ed. El Drac. 176 p.
- Campos, JC; Lora, E; Meriño, L; Tovar, I; Navarro, Alfredo. Ahorro de energía en sistemas de bombas centrifugas. Colombia. 34 p. Consultado el 15 de Diciembre. 2017. Disponible en el siguiente link <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/bombas.pdf>
- Choy, Z. A. 2000, Diseño, instalación y mantenimiento de áreas verdes y ornamentales. Monografía Ingeniero agrónomo. Lima-Perú, Unalm, 33 p.
- Corcho, R. F.; Duque S, JI. 2005. Acueductos, teoría y diseño. Universidad de Medellín. 3 ed. 634 p.
- COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación). 2007. Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Lima, Perú. 44 p
- De la Fuente, I.; Calleja, F. 2013. Instalación de sistemas de riego en parques y jardines. Bogotá Colombia. 1 Ed. 254 p.
- De los Ángeles M, P. J. 2007. Diseño de parque municipal en Santa Cruz de los Cárabos. Tesis Ing. Técnico Agrícola. Ciudad Real, España. UCLM. 618 p.

- Franco, A.; Pérez, L. 2008. Hidráulica y riegos (en línea). Sevilla. Universidad de Sevilla. Consultado noviembre del 2015. Disponible en <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos>
- Franco, H. LE. 2006. Cálculo de redes de agua potable considerando flujo permanente. Universidad nacional Autónoma de México. México, distrito Federal. 163 p.
- Galindo, C. PE. 2011. Diseño económico de redes de agua potable método simplex. Universidad técnica particular de Loja. 118 p.
- García, I.; Briones, G. 1997. Sistemas de riego por aspersión y goteo. 263 p.
- García, M. C.; Paz, G. M. 2008. Arboles de Lima. Ptyx editores sac.
- INVERMET (Fondo Metropolitano de Inversiones). 2009. Mejoramiento del parque zonal Huiracocha en el distrito de san juan de Lurigancho. Lima. 108 p.
- López, J.; Rubio, J.; Gonzales, R.; Delgado, J.; Sánchez, F. 1998. Guía para la evaluación de extracciones de aguas subterráneas mediante contadores eléctricos. rendimientos y coste del agua. Instituto tecnológico geominero de España. España.44 p.
- Nessmann, J. D. 1994. Guía para el cuidado de los cactus y plantas crasas. Mónaco. Ed. Susaeta.147 p.
- Nicol Perú S.A. 2006. Sistema presión NTP-ISO 4422 tubos y accesorios de PVC-U. Lima, Perú. 1 ed. 34 p.
- Martin, R.; Ávila, R.; Yruela, M.; Plaza, R.; Navas.; Fernández, R. .2010. Manual de riego de jardines. Junta de Andalucía. Consejería de agricultura y pesca. Ediciones Ilustres S.L. Córdoba, España. 261 p
- Matheus, F.2011. Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de papa (solanum tuberosum) en un sector de la finca “ESTAPAPE”, sector estapape, parroquia la quebrada, municipio Urdaneta, estado Trujillo. Tesis ing. Agrícola. Universidad de los Andes. Trujillo, 94 p.
- Meza, C., K-B. 2014. Planeamiento, diseño y evaluación técnico económico del sistema de riego del programa de frutales-fundo en la universidad nacional agraria la molina. Lima, Perú, 199 p.
- Monje. R. 2006. Manejo de céspedes con bajo consumo de agua. 110 p. 2. Ed.
- Moya, T. 2002. Riego localizado y fertirrigación. Mundi Prensa. Madrid-España.534 p. 3 Ed.
- Muncharaz, P., M. 2013. Proyecto y diseño de áreas verdes. Mundi Prensa. Madrid-España.470 p.

- Pascual, E. B. 2008. Riegos de gravedad y a presión. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Alfaomega. España. 376 p. 1 Ed.
- Pastor, J. R. 2010, Recuperación de suelos salinos para la instalación de césped deportivo en la playa de Asia, Cañete, Lima. Tesis Magister Scientiae. Lima-Perú, Unalm. 123 p.
- Peña, A. M. 2010. Diagnóstico, diseño y evaluación económica del sistema de riego por aspersión del bosque el olivar. Tesis ing. Agrícola. Lima-Perú, Unalm,136
- Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de alta frecuencia (RLAF). 510 p.
- Pizarro, R.; Flores J.; Sangüesa C.; Martínez E. 2005. Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola. Sociedad estándares de ingeniería para agua y suelos (EIAS). Chile. 186 p
- Rain Bird Corporation. 2014. Productos para riego de jardines- Catalogo. 220 p.
- Ramos, R. M.; Báez, R. D. 2013. Tesis. Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el cantón Cevallos. Tesis ing. De mantenimiento. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 133 p.
- Rázuri, R. L. 2015. Curso: Selección de equipos de bombeo para sistemas de riego. Universidad Nacional agraria la molina. 382 p.
- Saldarriaga, V. J-G. 1998. Hidráulica de tuberías. Bogotá, Colombia. Editorial McGraW-Hill Interamericana. 585 p.
- Sánchez, M. Y-M. 2013. Modelamiento computarizado de sistemas de distribución de agua con WaterCAD V8i. Colegio de Ingenieros del Perú. Lima-Perú. 188 p.
- Sapir, E.; Sneh, M. 2005. Riego por aspersión. Servicio de extensión departamento de riego. Israel. 119 p. 2 Ed.
- SERPAR (Servicio de Parques de Lima). 2011. Expediente: Creación de una infraestructura cultural ambiental, parque zonal Huiracocha, Distrito de San Juan de Lurigancho-Lima.
- Sotelo, A. G. 1997. Hidráulica general. México. Editorial Limusa S.A. 561 p.
- Tarjuelo, M. B-J. 2005. El riego por aspersión y su tecnología 580 p. 3 Ed.
- TCINGE SAC. 2011. Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación de mejoramiento del parque zonal Huiracocha-San Juan de Lurigancho-Lima.
- Toogood, A. 2000. Enciclopedia de la propagación de plantas. Royal Horticultural society. Ed. Blume.322 p.

- Torres, R. L. 2016. Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque “Los bomberos” en el distrito de Cieneguilla-Lima. Tesina Ing, Agrícola. Lima, Perú. 97 p.
- UCCE (University of California Cooperative Extension). 2000. A Guide To Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. EE.UU, California. 160 p.
- USAC (Universidad De San Carlos). Manual de operación y mantenimiento de sistemas de riego a presión. Guatemala. 27 p.
- Valverde, C. J-C. 2007. Riego y drenaje. Universidad Estatal a distancia San José. Costa Rica. 244 p. 1 Ed.
- Wust, W. 2012. Los árboles en lima. Lima-Perú. Walter H. Wust ediciones SAC. 173 p.
- Zapata, N. J-L. 2014. Tesis-Diseño óptimo de redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable en flujo permanente y aplicación al centro poblado campanita ubicado en san José Pacasmayo – la libertad. Universidad privada Antenor Orrego. La Libertad, Perú. 293 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Valores históricos climáticos para el periodo 2005-2014, obtenida de la estación meteorológica von Humboldt y procesados en Cropwat

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate...

País Estación
 Altitud m. Latitud °S Longitud °W

Month	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidity %	Wind m/s	Sun horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
January	19.1	27.6	77	1.7	5.0	17.9	3.82
February	19.2	28.1	75	1.6	5.7	19.0	4.08
March	19.0	27.7	76	1.5	6.3	19.2	4.00
April	17.0	26.5	76	1.6	8.0	20.0	3.88
May	15.4	23.1	79	1.4	5.4	14.6	2.74
June	14.6	20.3	84	1.2	2.0	9.5	1.83
July	14.4	19.0	87	1.2	1.9	9.7	1.73
August	13.7	18.6	86	1.3	2.2	11.1	1.94
September	13.7	19.5	87	1.4	2.6	13.0	2.24
October	14.1	20.5	84	1.7	4.5	16.7	2.85
November	15.3	22.0	82	1.7	4.7	17.4	3.12
December	17.1	24.2	80	1.6	4.4	16.9	3.27
Average	16.1	23.1	81	1.5	4.4	15.4	2.96

Precipitación mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\HU...

Estación Método Prec. Ef

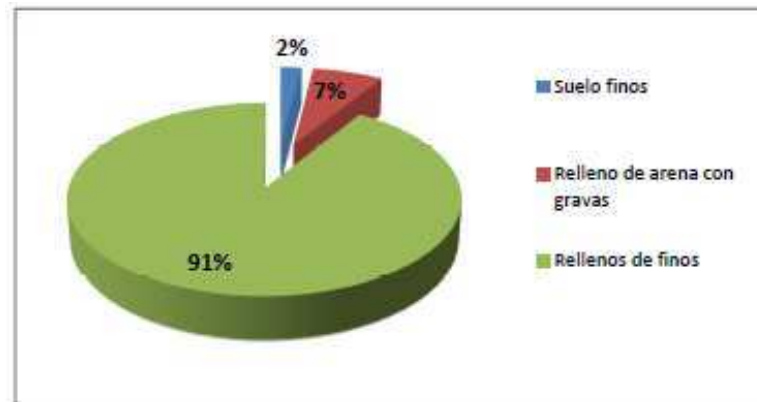
	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	0.1	0.0
Febrero	0.5	0.0
Marzo	0.2	0.0
Abril	0.0	0.0
Mayo	0.4	0.0
Junio	0.9	0.0
Julio	1.1	0.0
Agosto	1.3	0.0
Septiembre	1.4	0.0
Octubre	0.4	0.0
Noviembre	0.3	0.0
Diciembre	0.6	0.0
Total	7.1	0.0

ANEXO 2: Resultados de laboratorio de ensayo de corte directo, de acuerdo a los procedimientos de la American Society For Testing And Materials (ASTM)

Calicata	N° de Muestra	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Datos Iniciales		Estado	Esfuerzos Totales	
				Densidad Seca (g/cm ³)	Humedad (%)		c (kg/cm ²)	φ (°)
C-1	M-1	2.50 – 3.00	ML	1.54	29.98	Remoldeado	0.23	24.60
C-5	M-1	2.50 – 3.00	CL	1.73	13.38	Remoldeado	0.30	22.60
C-10	M-1	2.60 – 3.00	ML	1.53	5.00	Remoldeado	0.15	26.10
C-11	M-4	2.10 – 3.00	ML	1.60	10.82	Remoldeado	0.18	26.30
C-6	M-1	0.00 – 1.00	SM-SC	1.50	20.38	Remoldeado	0.21	23.70

Fuente: Laboratorio del Consultor TCINGE S.A.C.

Distribución de la incidencia de los materiales a nivel del suelo



ANEXO 3: Cálculo de pérdida de carga en la subtronal de riego

Válv	Tramo	caudal	DN	Di	V	Long de tub equiv de accesorios				L Acc	L Tub	L Tot	Re	f Darcy	y ₁ .y ₂ (m)	hf H.W	hf D.W	P _Y	
N	(x - y)	(lt.s ⁻¹)	(plg)	(mm)	(m.s ⁻¹)	Accesorios	Leq	N°	Lacc	(m)	(m)	(m)				(m)	(m)	(m)	
V-1	1-A	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.554	11	12.55	5504.9	0.037	0	0.05	0.07		
	A-B	0.20	3/4	22.9	0.49	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	11.7	12.48	11009.9	0.030		0.19	0.22		
	B-C	0.58	1	29.4	0.85	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.898	11.5	12.40	24869.6	0.025		0.41	0.43		
						Reducción a 3/4"	0.216	1	0.216										
	C-D	1.14	1 1/4	38.0	1.01	Tee pase directo	8.73	1	8.73	9.341	10	19.34	37818.9	0.022		0.64	0.65		
						Reducción a 1/2"	0.611	1	0.611										
	D-L	2.90	2	54.2	1.26	Tee pase directo	1.364	2	2.728	3.478	20.5	23.98	67450.7	0.020		0.79	0.77		
						Reducción a 1"	0.75	1	0.75										
	L-M	3.88	2 1/2	66.0	1.13	Tee pase directo	1.718	1	1.718	3.35	8.34	11.69	74109.8	0.019			0.25	0.25	
						Reducción a 2"	0.544	2	1.088										
Válvula compuerta						0.544	1	0.544											
														Tot	2.35	2.37	2.35		
V-2	A-B	0.18	1/2	17.4	0.77	Tee pase directo	0.354	1	0.354	0.354	8	8.35	13258.4	0.029	0.15	0.42	0.46		
	B-C	0.37	3/4	22.9	0.89	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	8	8.52	20148.1	0.026		0.41	0.43		
	C-D	0.55	1	29.4	0.81	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	8	8.68	23540.3	0.025		0.26	0.27		
	D-E	0.73	1	29.4	1.08	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	8	8.68	31387.1	0.023		0.44	0.45		
	E-F	0.92	1	29.4	1.35	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	8	8.68	39233.9	0.022		0.67	0.67		
	F-G	1.10	1 1/4	38.0	0.97	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	8	16.73	36425.6	0.023		0.52	0.52		
	G-H	1.28	1 1/2	43.4	0.87	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	8	9.04	37208.9	0.022		0.19	0.20		
	H-I	1.46	1 1/2	43.4	0.99	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	8	9.04	42524.5	0.022		0.25	0.25		
	I-J	1.65	1 1/2	43.4	1.11	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	8	9.04	47840.0	0.021		0.31	0.31		
	J-K	1.83	1 1/2	43.4	1.24	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	8	9.04	53155.6	0.021		0.38	0.37		
	K-L	2.01	1 1/2	43.4	1.36	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	9.6	10.64	58471.2	0.020		0.53	0.52		
	L-M	2.21	2	54.2	0.96	Tee pase directo	1.364	2	2.728	6.818	12.5	19.32	51471.9	0.020			0.39	0.37	
						Codo 90°	2.045	2	4.09										
	M-V2	4.75	2 1/2	66.0	1.39	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	9	11.26	90784.5	0.018			0.36	0.34	
Válvula compuerta						0.544	1	0.544	0.544										
														Tot	5.12	5.16	5.27		
V-3	A-B	0.18	1/2	17.4	0.77	Tee pase directo	0.354	1	0.354	0.354	8	8.35	13258.4	0.029	-	0.42	0.46		
	B-C	0.37	3/4	22.9	0.89	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	8	8.52	20148.1	0.026		0.41	0.43		
	C-D	0.55	3/4	22.9	1.33	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	8	8.52	30222.1	0.024		0.86	0.88		
	D-E	0.73	1	29.4	1.08	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	8	8.68	31387.1	0.023		0.44	0.45		

	E-F	0.92	1 1/4	38.0	0.81	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	8	16.73	30354.6	0.024		0.37	0.38	
	F-G	1.10	1 1/4	38.0	0.97	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	8	16.73	36425.6	0.023		0.52	0.52	
	G-H	1.28	1 1/4	38.0	1.13	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	8	16.73	42496.5	0.022		0.69	0.69	
	H-I	1.46	1 1/2	43.4	0.99	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	7.5	8.54	42524.5	0.022		0.24	0.24	
	I-J	1.75	1 1/2	43.4	1.18	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	4	6.07	50701.2	0.021		0.23	0.23	
	J-K	1.94	1 1/2	43.4	1.31	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	9	10.04	56220.0	0.021		0.46	0.46	
	K-L	2.32	2	54.2	1.00	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	7.5	10.23	53855.9	0.021		0.22	0.22	
	L-M	2.69	2	54.2	1.16	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	6	7.36	62461.7	0.020		0.21	0.21	
	M-N	2.88	2	54.2	1.25	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	3.5	4.86	66880.9	0.020		0.16	0.15	
	N-V3	4.92	2 1/2	66.0	1.44	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	4.5	6.76	93888.3	0.018		0.23	0.22	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	5.46	5.52	4.39
V-4	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	11	11.78	5504.9	0.037	-2	0.05	0.06	
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	10.5	11.02	15964.3	0.028		0.34	0.37	
	C-D	0.79	1	29.4	1.16	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	8.5	9.18	33874.1	0.023		0.54	0.55	
	D-E	1.16	1 1/4	38.0	1.02	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	9.5	18.23	38482.4	0.022		0.62	0.63	
	E-F	1.53	1 1/4	38.0	1.35	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	6	14.73	50757.0	0.021		0.84	0.83	
	F-G	2.03	1 1/2	43.4	1.37	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	4	5.04	58965.0	0.020		0.25	0.25	
	G-H	2.53	2	54.2	1.10	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	3	4.36	58844.9	0.020		0.11	0.11	
	H-I	2.91	2	54.2	1.26	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	7.5	8.86	67683.3	0.020		0.30	0.29	
	I-V4	4.64	2 1/2	66.0	1.36	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	10	12.26	88626.1	0.019		0.37	0.36	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.43	3.44	1.43
V-5	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	7	7.78	10459.4	0.031	-	0.11	0.12	
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	7.5	8.02	20918.8	0.026	1.21	0.41	0.43	
	C-D	0.67	1	29.4	0.99	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	11.5	12.86	28728.6	0.024		0.56	0.57	
	D-E	1.05	1 1/4	38.0	0.93	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12.5	29.96	34833.2	0.023		0.85	0.86	
	E-F	1.43	1 1/4	38.0	1.26	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12	29.46	47439.5	0.021		1.49	1.47	
	F-G	1.81	1 1/2	43.4	1.22	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	12	14.07	52574.7	0.021		0.58	0.57	
	G-H	2.29	2	54.2	0.99	Tee pase directo	1.364	3	4.092	4.092	12	16.09	53262.8	0.021		0.34	0.34	
	H-I	2.67	2	54.2	1.16	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	12	14.73	62101.2	0.020		0.42	0.41	
	I-J	3.05	2	54.2	1.32	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	12	14.73	70939.5	0.019		0.54	0.52	
	J-K	3.43	2	54.2	1.49	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	12	14.73	79777.9	0.019		0.67	0.64	
	K-L	4.12	2 1/2	66.0	1.20	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.436	8.5	11.94	78693.9	0.019		0.29	0.28	
	L-V5	4.12	2 1/2	66.0	1.20	Codo 90°	2.577	1	2.577	3.121	3.5	6.62	78693.9	0.019		0.16	0.16	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	6.41	6.37	5.16
V-6	A-B	0.37	3/4	22.9	0.90	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	3	3.78	20368.3	0.026	0.76	0.18	0.19	
	B-C	0.37	3/4	22.9	0.90	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	6.5	7.28	20368.3	0.026		0.35	0.37	
	C-D	1.06	1 1/4	38.0	0.93	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12	29.46	35164.9	0.023		0.85	0.86	

	D-E	1.75	1 1/2	43.4	1.18	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	12	14.07	50831.9	0.021		0.54	0.53	
	E-F	2.63	2	54.2	1.14	Tee pase directo	1.364	3	4.092	4.092	13	17.09	61170.8	0.020		0.47	0.46	
	F-G	5.07	2 1/2	66.0	1.48	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	20	22.26	96839.3	0.018		0.80	0.76	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.20	3.18	3.96
V-7	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	9	9.78	5504.9	0.037	0	0.04	0.05	
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	2	1.036	1.036	7.5	8.54	15964.3	0.028		0.26	0.29	
	C-D	0.89	1	29.4	1.31	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	12	13.36	38161.9	0.022		0.98	0.98	
	D-E	1.95	1 1/2	43.4	1.32	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.108	8.5	11.61	56641.2	0.020		0.54	0.53	
	E-F	2.14	2	54.2	0.93	Tee pase directo	1.364	1	1.364	3.409	17.5	20.91	49774.0	0.021		0.39	0.39	
						Codo 90°	2.045	1	2.045									
	F-G	3.1	2	54.2	1.34	Tee pase directo	1.364	3	4.092	4.092	12	16.09	72102.5	0.019		0.60	0.58	
	G-H	3.47	2 1/2	66.0	1.01	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.718	4.5	6.22	66278.6	0.020		0.11	0.11	
	H-V7	3.86	2 1/2	66.0	1.13	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	5	7.262	73727.8	0.019		0.16	0.15	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.09	3.09	3.19
V-8	A-B	0.09	3/4	22.9	0.22	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	3	3.777	5037.0	0.038	0.77	0.01	0.02	
	B-C	0.18	3/4	22.9	0.44	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	8	8.518	10074.0	0.031		0.11	0.13	
	C-D	0.366	3/4	22.9	0.89	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	8	8.518	20148.1	0.026		0.41	0.43	
	D-E	0.732	1	29.4	1.08	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	10	11.364	31387.1	0.023		0.58	0.59	
	E-F	0.922	1	29.4	1.36	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	17	17.682	39534.1	0.022		1.38	1.38	
	F-G	1.612	1 1/2	43.4	1.09	Tee pase directo	1.036	2	2.072	3.626	9	12.626	46823.4	0.021		0.42	0.41	
						Codo 90°	1.554	1	1.554									
	G-H	2.112	1 1/2	43.4	1.43	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	10	11.036	61346.8	0.020		0.60	0.58	
	H-I	2.302	2	54.2	1.00	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	6.5	7.864	53541.9	0.021		0.17	0.17	
	I-V8	4.252	2 1/2	66.0	1.24	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	4	6.262	81215.1	0.019		0.16	0.16	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.84	3.87	4.61
V-9	A-B	0.09	1/2	17.4	0.38	Tee pase directo	0.354	1	0.354	0.354	8	8.354	6629.2	0.035	1.5	0.12	0.14	
	B-C	0.2745	1/2	17.4	1.15	Tee pase directo	0.354	2	0.708	0.708	8	8.708	19887.5	0.026		0.93	0.98	
	C-D	0.4575	3/4	22.9	1.11	Tee pase directo	0.518	2	1.036	1.036	8	9.036	25185.1	0.025		0.65	0.67	
	D-E	0.6405	1	29.4	0.94	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	8	9.364	27463.7	0.024		0.37	0.38	
	E-F	0.8235	1	29.4	1.21	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	8	9.364	35310.5	0.023		0.59	0.60	
	F-G	1.11	1	29.4	1.63	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	8.5	9.864	47380.8	0.021		1.08	1.06	
	G-H	1.40	1 1/2	43.4	0.94	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	10	12.072	40520.3	0.022		0.30	0.31	
	H-I	1.69	1 1/2	43.4	1.14	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	7.5	9.572	48943.8	0.021		0.34	0.34	
	I-J	2.06	2	54.2	0.89	Tee pase directo	1.364	1	1.364	3.409	7	10.409	47797.0	0.021		0.18	0.18	
						Codo 90°	2.045	1	2.045									
	J-V9	4.225	2 1/2	66.0	1.23	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	5	7.262	80699.4	0.019		0.19	0.18	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									

V-10	1-A	0.09	1/2	17.4	0.38	Codo 90°	0.532	1	0.532	0.532	3.5	4.032	6629.2	0.035	Tot 1.1	4.75	4.84	6.25
	A-B	0.18	1/2	17.4	0.77	Tee pase directo	0.354	2	0.708	0.708	8	8.708	13258.4	0.029		0.06	0.07	
	B-C	0.366	3/4	22.9	0.89	Tee pase directo	0.518	2	1.036	1.036	8	9.036	20148.1	0.026		0.44	0.48	
	C-D	0.549	3/4	22.9	1.33	Tee pase directo	0.518	2	1.036	1.036	8	9.036	30222.1	0.024		0.43	0.45	
	D-E	0.732	1	29.4	1.08	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	7.5	8.864	31387.1	0.023		0.91	0.93	
	E-F	1.232	1 1/4	38.0	1.09	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	10.5	19.23	40871.0	0.022		0.45	0.46	
	F-G	1.422	1 1/4	38.0	1.25	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	7.5	16.23	47174.1	0.021		0.74	0.74	
	G-V10	4.7065	2 1/2	66.0	1.38	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	27.5	31.48	89896.3	0.019		0.81	0.80	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544						0.98	0.94		
															Tot	4.82	4.87	5.92
V-11	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	17	17.777	5504.9	0.037	Tot 0	4.82	4.87	5.92
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	6	6.518	15964.3	0.028		0.08	0.09	
	C-D	0.39	3/4	22.9	0.95	Tee pase directo	0.518	1	0.518	1.295	6	7.295	21469.2	0.026		0.20	0.22	
						Codo 90°	0.777	1	0.777							0.39	0.41	
	D-E	0.77	1	29.4	1.13	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	10.5	11.864	33016.5	0.023		0.66	0.67	
	E-F	0.96	1	29.4	1.41	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	11	11.682	41163.4	0.022		0.98	0.98	
	F-G	1.34	1 1/4	38.0	1.18	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	9	26.46	44453.8	0.022		1.18	1.18	
	G-V10	4.1	2 1/2	66.0	1.20	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	16.5	18.762	78311.9	0.019		0.45	0.44	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.95	3.99	3.95
V-12	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	8	8.777	10459.4	0.031	Tot -1.1	3.95	3.99	3.95
	B-C	0.69	1	29.4	1.02	Tee pase directo	0.682	1	0.682	1.705	9	10.705	29586.2	0.024		0.12	0.14	
						Codo 90°	1.023	1	1.023							0.49	0.50	
	C-D	2.19	1 1/2	43.4	1.48	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.108	10	13.108	63612.4	0.020		0.76	0.74	
	D-E	3.69	2	54.2	1.60	Tee pase directo	1.364	3	4.092	4.092	8.5	12.592	85825.2	0.019		0.65	0.62	
	E-F	4.19	2 1/2	66.0	1.22	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.718	6	7.718	80030.9	0.019		0.19	0.19	
	F-V12	4.76	2 1/2	66.0	1.39	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	4.5	8.48	90918.2	0.018		0.27	0.26	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	2.49	2.45	1.39
V-13	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	3	3.777	10459.4	0.031	Tot 0.2	2.49	2.45	1.39
	B-C	0.88	1	29.4	1.30	Tee pase directo	0.682	2	1.364	2.387	10.5	12.887	37733.2	0.022		0.05	0.06	
						Codo 90°	1.023	1	1.023							0.92	0.93	
	C-D	1.38	1 1/4	38.0	1.22	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	11.5	20.23	45780.8	0.021		0.96	0.95	
	D-E	1.88	1 1/2	43.4	1.27	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	6.5	7.536	54607.9	0.021		0.33	0.32	
	E-F	3.64	2 1/2	66.0	1.06	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.436	8	11.436	69525.7	0.020		0.22	0.21	
	F-V13	4.33	2 1/2	66.0	1.27	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	5.5	9.48	82705.0	0.019		0.25	0.24	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	2.74	2.72	2.94
	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	10.5	11.277	5504.9	0.037	-0.2	0.05	0.06	

V-14	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	1.295	8	9.295	15964.3	0.028										
						Codo 90°	0.777	1	0.777															
	C-D	0.85	1	29.4	1.25	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	10	11.364	36446.8	0.023						0.76	0.77			
	D-E	1.04	1	29.4	1.53	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	7.5	8.182	44593.7	0.022						0.80	0.79			
	E-F	1.43	1 1/4	38.0	1.26	Tee pase directo	8.73	3	26.19	26.19	12.5	38.69	47439.5	0.021						1.95	1.93			
						F-G	1.62	1 1/2	43.4	1.10	Tee pase directo	1.036	1	1.036						2.59	4.5	7.09	47055.8	0.021
							Codo 90°	1.554	1	1.554														
	G-H	1.91	2	54.2	0.83	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	9	11.728	44424.4	0.022						0.18	0.18			
	H-I	2.29	2	54.2	0.99	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	10	12.728	53262.8	0.021						0.27	0.27			
	I-J	3.16	2 1/2	66.0	0.92	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.718	5.5	7.218	60357.4	0.020						0.11	0.11			
J-V14	3.66	2 1/2	66.0	1.07	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	8.5	10.762	69907.7	0.020	0.21	0.20									
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544																
															Tot	4.86	4.86	4.66						
V-15	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	6	6.777	5504.9	0.037	0.2	0.03	0.04							
	B-C	0.2	3/4	22.9	0.49	Tee pase directo	0.518	1	0.518	1.295	8.5	9.795	11009.9	0.030	0.15	0.17								
						Codo 90°	0.777	1	0.777															
	C-D	0.58	1	29.4	0.85	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	10	11.364	24869.6	0.025	0.38	0.39								
	D-E	0.87	1	29.4	1.28	Tee pase directo	0.682	2	1.364	2.387	14.5	16.887	37304.4	0.023	1.18	1.19								
						Codo 90°	1.023	1	1.023															
	E-F	1.44	1 1/4	38.0	1.27	Tee pase directo	8.73	3	26.19	26.19	11	37.19	47771.3	0.021	1.90	1.88								
	F-G	1.82	1 1/2	43.4	1.23	Tee pase directo	1.036	2	2.072	3.626	11.5	15.126	52865.1	0.021	0.62	0.61								
						Codo 90°	1.554	1	1.554															
	G-H	2.01	2	54.2	0.87	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	10	12.728	46785.2	0.021	0.21	0.21								
H-I	2.10	2	54.2	0.91	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	8	9.364	48913.4	0.021	0.17	0.17									
I-J	2.19	2	54.2	0.95	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	8	9.364	51041.6	0.021	0.19	0.18									
J-K	2.29	2	54.2	0.99	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	4.5	5.864	53169.8	0.021	0.13	0.12									
					K-V15	4.61	2 1/2	66.0	1.35	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	3.5	5.762	88034.0	0.019	0.17	0.17				
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544															
															Tot	5.14	5.14	5.34						
V-16	A-B	0.09	1/2	17.4	0.38	Codo 90°	0.532	1	0.532	0.532	6.5	7.032	6629.2	0.035	-0.3	0.10	0.12							
	B-C	0.366	3/4	22.9	0.89	Tee pase directo	0.518	2	1.036	1.036	11	12.036	20148.1	0.026	0.57	0.61								
	C-D	1.1405	1 1/4	38.0	1.01	Tee pase directo	8.73	3	26.19	26.19	10.5	36.69	37835.5	0.022	1.22	1.23								
	D-E	1.23	1 1/4	38.0	1.09	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	10	18.73	40871.0	0.022	0.72	0.72								
	E-F	1.92	1 1/2	43.4	1.30	Tee pase directo	1.036	2	2.072	3.626	10.5	14.126	55827.9	0.021	0.65	0.63								
						Codo 90°	1.554	1	1.554															
	F-G	2.02	1 1/2	43.4	1.37	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	16.5	17.536	58732.6	0.020	0.88	0.86								
G-V16	4.1825	2 1/2	66.0	1.22	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	6	8.262	79887.7	0.019	0.21	0.20									
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544																
														Tot	4.34	4.36	4.04							
	A-B	0.183	1/2	17.4	0.77	Tee pase directo	0.354	1	0.354	0.354	9.5	9.854	13258.4	0.029	0.1	0.50	0.54							

V-17	B-C	0.27	1/2	17.4	1.15	Tee pase directo	0.354	1	0.354	0.354	7	7.354	19887.5	0.026	Tot	0.78	0.83	
	C-D	0.37	3/4	22.9	0.91	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	9.5	10.018	20616.0	0.026		0.50	0.52	
	D-E	0.47	3/4	22.9	1.13	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	6	6.518	25653.0	0.025		0.49	0.50	
	E-F	0.649	1	29.4	0.96	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	6	7.364	27828.2	0.024		0.30	0.31	
	F-G	0.832	1	29.4	1.23	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	14	14.682	35675.0	0.023		0.95	0.96	
	G-H	1.21	1 1/4	38.0	1.07	Tee pase directo	8.73	3	26.19	26.19	9	35.19	40257.2	0.022		1.31	1.31	
	H-I	1.59	1 1/2	43.4	1.08	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	10.5	12.572	46286.0	0.021		0.41	0.40	
	H-V17	3.6235	2 1/2	66.0	1.06	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	6	8.262	69210.5	0.020		0.16	0.15	
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	5.39	5.53	5.49
V-18	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	10.5	11.018	5504.9	0.037	Tot	0.05	0.06	
	B-C	0.2	3/4	22.9	0.49	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	9.5	10.018	11009.9	0.030		0.16	0.18	
	C-D	0.39	3/4	22.9	0.95	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	9	9.518	21469.2	0.026		0.51	0.54	
	D-E	0.58	1	29.4	0.85	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	12	12.682	24869.6	0.025		0.42	0.44	
	E-F	1.18	1 1/4	38.0	1.04	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	15	32.46	39145.9	0.022		1.15	1.15	
	F-G	1.37	1 1/4	38.0	1.21	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	11	19.73	45449.0	0.021		0.92	0.91	
	G-H	1.94	1 1/2	43.4	1.31	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.108	12.5	15.608	56350.8	0.020		0.73	0.71	
	H-V18	3.65	2 1/2	66.0	1.07	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	5.5	7.762	69716.7	0.020		0.15	0.15	
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	4.08	4.13	4.18
V-19	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	7.5	8.018	10459.4	0.031	Tot	0.11	0.13	
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	1.295	9	10.295	15964.3	0.028		0.32	0.34	
						Codo 90°	0.777	1	0.777									
	C-D	0.58	3/4	22.9	1.41	Tee pase directo	0.518	2	1.036	1.036	4.5	5.536	31928.6	0.023		0.62	0.63	
	D-E	0.96	1	29.4	1.41	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	11	12.364	41163.4	0.022		1.04	1.04	
	E-F	1.34	1 1/4	38.0	1.18	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12	29.46	44453.8	0.022		1.32	1.31	
	F-G	1.53	1 1/2	43.4	1.03	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	5.5	6.536	44441.6	0.022		0.20	0.19	
	G-V19	3.58	2 1/2	66.0	1.05	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	5.5	7.762	68379.6	0.020		0.15	0.14	
Válvula compuerta						0.544	1	0.544										
															Tot	3.75	3.79	2.75
V-20	A-B	0.5	3/4	22.9	1.21	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	3.1	3.877	27524.7	0.024	Tot	0.33	0.34	
	B-C	1.07	1	29.4	1.58	Tee pase directo	0.682	3	2.046	2.046	9	11.046	45880.1	0.021		1.14	1.12	
	C-D	1.36	1 1/4	38.0	1.20	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	7	24.46	45117.3	0.022		1.12	1.12	
	D-E	1.65	1 1/2	43.4	1.12	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	9	11.072	47927.2	0.021		0.38	0.38	
	E-F	2.03	1 1/2	43.4	1.37	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	10	12.072	58965.0	0.020		0.61	0.60	
	F-G	2.22	2	54.2	0.96	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	4.5	5.864	51634.7	0.021		0.12	0.12	
	G-V20	3.37	2 1/2	66.0	0.99	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	2.5	4.762	64368.5	0.020		0.08	0.08	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.78	3.75	4.58
	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	8.5	9.277	10459.4	0.031	0.2	0.13	0.15	

V-21	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	9.5	10.018	20918.8	0.026	Tot	0.51	0.54	
	C-D	0.76	1	29.4	1.12	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	12.5	13.864	32587.7	0.023		0.76	0.77	
	D-E	1.14	1 1/4	38.0	1.01	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12	29.46	37818.9	0.022		0.98	0.98	
	E-F	2.02	1 1/2	43.4	1.37	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.108	9.5	12.608	58674.5	0.020		0.63	0.62	
	F-G	2.5	2	54.2	1.08	Tee pase directo	1.364	3	4.092	4.092	18	22.092	58147.2	0.020		0.56	0.55	
						Codo 90°	2.045	1	2.045	2.045								
						Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	4.5	6.762	64043.8	0.020		0.11	0.11	
G-V21	3.353	2 1/2	66.0	0.98	Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	3.68	3.71	3.88
V-22	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	8.5	9.277	10459.4	0.031	Tot	0.13	0.15	
	B-C	0.57	1	29.4	0.84	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.739	12	13.739	24440.8	0.025		0.44	0.46	
						reducción a 1/2"	0.375	1	0.375									
	C-D	0.95	1	29.4	1.40	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	12	13.364	40734.7	0.022		1.10	1.10	
	D-E	1.33	1 1/4	38.0	1.17	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.74	12	29.736	44122.1	0.022		1.31	1.31	
						reducción a 1"	0.276	1	0.276									
	E-F	1.52	1 1/2	43.4	1.03	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	4.5	5.536	44151.1	0.022		0.16	0.16	
F-V22	3.54	2 1/2	66.0	1.03	Tee pase directo	1.718	1	1.718	3.207	5	8.207	67615.6	0.020	0.15	0.15			
					reducción a 1 1/2"	0.945	1	0.945										
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	3.30	3.32	3.30
V-23	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	12	12.777	10459.4	0.031	Tot	0.18	0.20	
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	7	7.518	20918.8	0.026		0.38	0.40	
						Tee pase directo	0.682	2	1.364	2.387	8	10.387	32587.7	0.023		0.57	0.58	
	C-D	0.76	1	29.4	1.12	Codo 90°	1.023	1	1.023									
						Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	5	7.072	51122.3	0.021		0.27	0.27	
	E-F	2.76	2	54.2	1.20	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	7	9.728	64194.5	0.020		0.29	0.29	
	F-G	4.26	2 1/2	66.0	1.25	Tee pase directo	1.718	3	5.154	5.154	8	13.154	81368.0	0.019		0.34	0.33	
G-V23	4.64	2 1/2	66.0	1.36	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	4.5	8.48	88626.1	0.019	0.26	0.25			
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	2.30	2.32	2.30
V-24	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	5	5.777	10459.4	0.031	Tot	0.08	0.09	
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	11.5	12.018	15964.3	0.028		0.37	0.40	
	C-D	0.98	1	29.4	1.44	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	12	13.364	42021.0	0.022		1.17	1.16	
	D-E	1.67	1 1/2	43.4	1.13	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	12	14.072	48508.1	0.021		0.50	0.49	
						Tee pase directo	1.036	2	2.072	6.734	5	11.734	59545.9	0.020		0.60	0.59	
	E-F	2.05	1 1/2	43.4	1.39	Codo 90°	1.554	3	4.662									
						Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	7	8.364	59310.1	0.020		0.22	0.21	
G-H	4.05	2 1/2	66.0	1.18	Tee pase directo	1.718	3	5.154	5.154	10	15.154	77356.9	0.019	0.36	0.34			
H-V24	4.43	2 1/2	66.0	1.29	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	5	8.98	84615.0	0.019	0.25	0.24			
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										

V-25	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	12	12.777	10459.4	0.031	Tot 0.2	3.55	3.54	4.62		
	B-C	0.57	1	29.4	0.84	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	16.5	17.864	24440.8	0.025		0.18	0.20			
	C-D	0.95	1	29.4	1.40	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	9.5	10.182	40734.7	0.022		0.57	0.60			
	D-E	2.95	2	54.2	1.28	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	3	5.728	68613.6	0.020		0.84	0.84			
	E-V25	3.9	2 1/2	66.0	1.14	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	5.5	9.48	74491.8	0.019		0.20	0.19			
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544							0.21	0.20			
															Tot	2.00	2.03	2.20		
V-26	A-B	0.09	3/4	22.9	0.22	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	3.5	4.277	5037.0	0.038	Tot 0.2	2.00	2.03	2.20		
	B-C	0.18	3/4	22.9	0.44	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	8.5	0.518	10074.0	0.031		0.02	0.02			
	C-D	0.366	3/4	22.9	0.89	Tee pase directo	0.518	2	1.036	1.036	8.5	9.536	20148.1	0.026		0.01	0.01			
	D-E	1.049	1 1/4	38.0	0.92	Tee pase directo	8.73	3	26.19	26.19	12.5	38.69	34800.0	0.023		0.45	0.48			
	E-F	1.239	1 1/4	38.0	1.09	Tee pase directo	8.73	1	8.73	10.04	9.5	19.539	41103.2	0.022		1.10	1.11			
						Codo 90°	1.309	1	1.309										0.76	0.76
	F-G	1.429	1 1/2	43.4	0.97	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	7	8.036	41507.8	0.022				0.21	0.21	
	G-H	2.429	2	54.2	1.05	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	12	14.728	56495.8	0.020				0.35	0.35	
H-V26	3.989	2 1/2	66.0	1.17	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	7	9.262	76191.7	0.019			0.21	0.21			
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544												
															Tot	3.11	3.14	3.31		
V-27	A-B	0.19	1/2	17.4	0.80	Codo 90°	0.532	1	0.532	0.532	6.5	7.032	13765.5	0.029	Tot 0.2	3.11	3.14	3.31		
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	10	0.518	20918.8	0.026		0.38	0.41			
	C-D	0.76	1	29.4	1.12	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	12	13.364	32587.7	0.023		0.03	0.03			
	D-E	0.95	1	29.4	1.40	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	7.5	8.182	40734.7	0.022		0.73	0.74			
	E-F	1.45	1 1/4	38.0	1.28	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	4	12.73	48103.0	0.021		0.68	0.67			
	F-G	1.64	1 1/2	43.4	1.11	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	4	5.036	47636.7	0.021		0.66	0.65			
	G-H	2.62	2	54.2	1.14	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	7.5	8.864	60938.2	0.020		0.17	0.17			
	G-V27	4.422	2 1/2	66.0	1.29	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	6	8.262	84462.2	0.019		0.24	0.24			
Válvula compuerta						0.544	1	0.544									0.23	0.22		
															Tot	3.11	3.14	3.31		
V-28	1-A	0.10	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	7.5	8.277	5504.9	0.037	Tot -0.1	3.11	3.14	3.31		
	A-B	0.29	3/4	22.9	0.70	Codo 90°	0.777	1	0.777	1.813	12.5	14.313	15964.3	0.028		0.04	0.04			
						Tee pase directo	0.518	2	1.036										0.44	0.48
	B-C	0.67	1	29.4	0.99	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	12	1.364	28728.6	0.024				0.06	0.06	
	C-D	1.05	1 1/4	38.0	0.93	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12.5	29.96	34833.2	0.023				0.85	0.86	
	D-E	1.43	1 1/4	38.0	1.26	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12	29.46	47439.5	0.021				1.49	1.47	
	E-F	1.81	2	54.2	0.78	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	12	14.728	42098.5	0.022				0.20	0.20	
	F-G	2.19	2	54.2	0.95	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	12	14.728	50936.9	0.021				0.29	0.29	
	G-H	2.57	2	54.2	1.11	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	12	14.728	59775.3	0.020				0.39	0.38	
H-I	2.95	2	54.2	1.28	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.728	12	14.728	68613.6	0.020			0.50	0.49			
I-J	3.14	2 1/2	66.0	0.92	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.718	12	13.718	59975.4	0.020			0.20	0.20			

	J-K	3.33	2 1/2	66.0	0.97	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.718	10	11.718	63604.5	0.020		0.19	0.19		
	K-V28	3.52	2 1/2	66.0	1.03	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	16	18.262	67233.6	0.020		0.33	0.32		
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	4.99	4.99	4.89	
V-29	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	13.5	14.277	10459.4	0.031	4.2	0.20	0.23		
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	10	0.518	20918.8	0.026		0.03	0.03		
	C-D	0.57	1	29.4	0.84	Tee pase directo	0.682	1	0.682	1.705	11	12.705	24440.8	0.025		0.41	0.42		
						Codo 90°	1.023	1	1.023										
	D-E	0.94	1 1/4	38.0	0.83	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	10	18.73	31184.0	0.023			0.43	0.44	
	E-F	1.32	1 1/4	38.0	1.16	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12	29.46	43790.3	0.022			1.28	1.28	
	F-G	1.7	1 1/2	43.4	1.15	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	6.5	8.572	49379.5	0.021			0.31	0.31	
	G-V29	3.72	2 1/2	66.0	1.09	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	5.5	7.762	71053.7	0.019			0.16	0.15	
Válvula compuerta						0.544	1	0.544											
														Tot	2.82	2.86	7.02		
V-30	A-B	0.10	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	11	11.777	5504.9	0.037	3.2	0.05	0.06		
	B-C	0.20	3/4	22.9	0.49	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	5.5	0.518	11009.9	0.030		0.01	0.01		
	C-D	0.70	1	29.4	1.03	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.682	9	9.682	30015.0	0.024		0.45	0.46		
	D-E	1.08	1 1/4	38.0	0.95	Tee pase directo	8.73	2	17.46	18.77	10.5	29.269	35828.4	0.023		0.88	0.89		
						Codo 90°	1.309	1	1.309										
	E-F	1.45	1 1/4	38.0	1.28	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	9	17.73	48103.0	0.021			0.92	0.91	
	F-G	1.83	1 1/2	43.4	1.24	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	6.5	8.572	53155.6	0.021			0.36	0.35	
	G-V30	4.25	2 1/2	66.0	1.24	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	23	25.262	81176.9	0.019			0.65	0.63	
Válvula compuerta						0.544	1	0.544											
														Tot	3.32	3.31	6.52		
V-31	A-B	0.10	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	6	6.777	5504.9	0.037	3.25	0.03	0.04		
	B-C	0.20	3/4	22.9	0.49	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	9.5	0.518	11009.9	0.030		0.01	0.01		
	C-D	0.58	1	29.4	0.85	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	6	7.364	24869.6	0.025		0.24	0.25		
	D-E	1.16	1 1/4	38.0	1.02	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	10.5	19.23	38482.4	0.022		0.66	0.66		
	E-F	1.526	1 1/2	43.4	1.03	Tee pase directo	1.036	4	4.144	4.144	12	16.144	44325.4	0.022		0.48	0.48		
	F-G	1.709	1 1/2	43.4	1.16	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	8	10.072	49640.9	0.021		0.37	0.37		
	G-H	1.892	2	54.2	0.82	Tee pase directo	1.364	2	2.728	4.773	10.5	15.273	44005.8	0.022		0.23	0.23		
						Codo 90°	2.045	1	2.045										
	H-I	2.082	2	54.2	0.90	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	7	8.364	48424.9	0.021			0.15	0.15	
	I-J	3.062	2 1/2	66.0	0.90	Tee pase directo	1.718	4	6.872	6.872	12.5	19.372	58485.6	0.020			0.27	0.27	
	J-K	3.5265	2 1/2	66.0	1.03	Tee pase directo	1.718	4	6.872	12.03	17	29.026	67357.8	0.020			0.53	0.52	
	K-L	3.801	2 1/2	66.0	1.11	Tee pase directo	1.718	3	5.154	6.872	11	17.872	72600.8	0.019			0.37	0.36	
	L-V31	4.357	2 1/2	66.0	1.27	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	11	13.262	83220.7	0.019			0.36	0.34	
Válvula compuerta						0.544	1	0.544											
														Tot	3.70	3.67	6.95		
	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.554	3.5	5.054	10459.4	0.031	1.2	0.07	0.08		

V-32	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	7.5	0.518	15964.3	0.028		0.02	0.02	
	C-D	0.48	3/4	22.9	1.17	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.518	12	12.518	26423.7	0.024		0.99	1.02	
	D-E	1.17	1 1/4	38.0	1.03	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12	29.46	38814.1	0.022		1.02	1.03	
	E-F	1.36	1 1/4	38.0	1.20	Tee pase directo	8.73	1	8.73	11.35	11.5	22.848	45117.3	0.022		1.05	1.04	
						Codo 90°	1.309	2	2.618			0						
	F-G	1.55	1 1/2	43.4	1.05	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	12	13.036	45022.5	0.022		0.40	0.40	
	G-H	1.74	1 1/2	43.4	1.18	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	12	13.036	50541.4	0.021		0.50	0.49	
	H-I	1.93	1 1/2	43.4	1.30	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	12	13.036	56060.3	0.021		0.60	0.59	
	I-J	2.12	2	54.2	0.92	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	6	7.364	49308.8	0.021		0.14	0.14	
J-V32	3.64	2 1/2	66.0	1.06	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	2.5	4.762	69525.7	0.020	0.09	0.09			
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	4.87	4.89	6.07
V-33	A-B	0.10	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.777	11.5	12.277	5504.9	0.037	2	0.05	0.06	
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	1.295	10	1.295	15964.3	0.028		0.04	0.04	
						Codo 90°	0.777	1	0.777									
	C-D	1.16	1 1/4	38.0	1.02	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	10	27.46	38482.4	0.022		0.94	0.95	
	D-E	1.66	1 1/2	43.4	1.12	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.036	9	10.036	48217.7	0.021		0.35	0.35	
	E-F	2.03	2	54.2	0.88	Tee pase directo	1.364	1	1.364	5.454	17.5	22.954	47215.5	0.021		0.39	0.39	
						Codo 90°	2.045	2	4.09									
	F-G	2.22	2	54.2	0.96	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	11.5	12.864	51634.7	0.021		0.26	0.26	
	G-H	2.60	2	54.2	1.13	Tee pase directo	1.364	2	2.728	6.818	20	26.818	60473.0	0.020		0.73	0.71	
					Codo 90°	2.045	2	4.09			0							
H-V26	5.36	2 1/2	66.0	1.57	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	12	14.262	102378.5	0.018	0.56	0.54			
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	3.33	3.29	5.33
V-34	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.554	11	12.554	10459.4	0.031	2.4	0.18	0.20	
	B-C	0.88	1	29.4	1.30	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	12	1.364	37733.2	0.022		0.10	0.10	
	C-D	1.57	1 1/2	43.4	1.06	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	12	14.072	45603.4	0.021		0.44	0.44	
	D-E	2.26	1 1/2	43.4	1.53	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	9.5	11.572	65645.7	0.020		0.71	0.69	
	E-F	2.45	2	54.2	1.06	Tee pase directo	1.364	1	1.364	5.454	17	22.454	56984.2	0.020		0.54	0.53	
						Codo 90°	2.045	2	4.09									
	F-G	2.64	2	54.2	1.14	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	12.5	13.864	61403.4	0.020		0.39	0.38	
	G-H	2.83	2	54.2	1.23	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	5	6.364	65822.6	0.020		0.20	0.20	
	H-V34	4.07	2 1/2	66.0	1.19	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	8.5	10.762	77738.9	0.019		0.26	0.25	
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	2.82	2.79	5.22
V-35	A-B	0.10	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.554	7.5	9.054	5504.9	0.037	2.15	0.04	0.05	
	B-C	0.48	1	29.4	0.71	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.364	7.5	1.364	20581.7	0.026		0.03	0.03	
	C-D	1.48	1 1/2	43.4	1.00	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	10.5	12.572	42989.2	0.022		0.35	0.35	
	D-E	2.17	1 1/2	43.4	1.47	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.072	12	14.072	63031.5	0.020		0.80	0.78	

	E-F	2.36	2	54.2	1.02	Tee pase directo	1.364	1	1.364	5.454	13.5	18.954	54890.9	0.021		0.43	0.42				
						Codo 90°	2.045	2	4.09												
	F-G	2.55	2	54.2	1.11	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	10.5	11.864	59310.1	0.020					0.31	0.30	
	G-H	2.92	2	54.2	1.27	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.364	12	13.364	67915.9	0.020					0.45	0.44	
	H-I	3.11	2 1/2	66.0	0.91	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.718	7	8.718	59402.4	0.020					0.13	0.12	
H-V35	3.97	2 1/2	66.0	1.16	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.262	7	9.262	75828.8	0.019	0.21	0.20						
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544													
														Tot	2.75	2.71	4.90				
V-36	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	16.5	18.05	5504.9	0.037	0.28	0.08	0.10				
	B-C	0.67	1	29.4	0.99	Tee pase directo	0.682	3	2.046	2.05	11.5	13.55	28728.6	0.024		0.59	0.60				
	C-D	1.36	1 1/4	38.0	1.20	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	10.5	27.96	45117.3	0.022		1.29	1.28				
	D-E	1.75	1 1/2	43.4	1.18	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.11	9.5	12.61	50831.9	0.021		0.48	0.48				
	E-F	2.04	2	54.2	0.88	Tee pase directo	1.364	1	1.364	3.41	7	10.41	47448.1	0.021		0.18	0.18				
						Codo 90°	2.045	1	2.045												
	F-G	2.42	2	54.2	1.05	Tee pase directo	1.36	2	2.728	2.73	13.5	16.23	56286.4	0.020		0.38	0.38				
	G-H	2.61	2	54.2	1.13	Tee pase directo	1.36	1	1.364	3.41	3.5	6.91	60705.6	0.020		0.19	0.18				
						Codo 90°	2.05	1	2.045												
H-V36	4.13	2 1/2	66.0	1.21	Tee pase directo	1.72	1	1.718	2.26	5	7.262	78884.9	0.019	0.18	0.17						
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544													
														Tot	3.36	3.36	3.64				
V-37	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.78	10	10.78	5504.9	0.037	4	0.05	0.06				
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.52	7	7.52	15964.3	0.028		0.23	0.25				
	C-D	0.39	1 1/4	38.0	0.34	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	8	16.73	12938.0	0.029		0.08	0.08				
	D-E	1.14	1 1/4	38.0	1.01	Tee pase directo	8.73	3	26.19	26.19	5.5	31.69	37818.9	0.022		1.05	1.06				
	E-F	1.33	1 1/2	43.4	0.90	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.04	7	8.04	38632.2	0.022		0.19	0.19				
	F-G	2.52	2	54.2	1.09	Tee pase directo	1.36	3	4.092	4.09	8.5	12.59	58612.3	0.020		0.32	0.32				
	G-H	3.71	2 1/2	66.0	1.08	Tee pase directo	1.72	2	3.436	3.44	5.5	8.94	70862.7	0.019		0.18	0.17				
	H-I	3.9	2 1/2	66.0	1.14	Tee pase directo	1.72	1	1.718	1.72	5.5	7.22	74491.8	0.019		0.16	0.15				
	I-V37	5.029	2 1/2	66.0	1.47	Tee pase directo	1.72	1	1.718	2.26	24	26.262	96056.2	0.018		0.92	0.88				
Válvula compuerta						0.544	1	0.544													
														Tot	3.18	3.16	7.18				
V-38	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	20	21.55	5504.9	0.037	- 2.82	0.09	0.11				
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.52	12	12.52	15964.3	0.028		0.39	0.42				
	C-D	0.67	1	29.4	0.99	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	15	16.36	28728.6	0.024		0.71	0.73				
	D-E	0.96	1	29.4	1.41	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	6.5	7.18	41163.4	0.022		0.60	0.60				
	E-F	1.84	1 1/2	43.4	1.24	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	12	14.07	53446.1	0.021		0.59	0.58				
	F-G	2.53	2	54.2	1.10	Tee pase directo	1.36	2	2.728	2.73	8	10.73	58844.9	0.020		0.28	0.27				
	G-H	3.58	2 1/2	66.0	1.05	Tee pase directo	1.72	2	3.436	3.44	6	9.44	68379.6	0.020		0.18	0.17				
	H-V38	3.77	2 1/2	66.0	1.10	Tee pase directo	1.72	1	1.718	2.26	43	45.262	72008.7	0.019		0.93	0.91				
Válvula compuerta						0.544	1	0.544													

V-39	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	14	15.55	5504.9	0.037	Tot 1	3.77	3.79	0.95		
	B-C	0.48	1	29.4	0.71	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	12	13.36	20581.7	0.026					0.07	0.08
	C-D	0.86	1	29.4	1.27	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	13	14.36	36875.6	0.023					0.31	0.33
	D-E	1.24	1 1/4	38.0	1.09	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	11	28.46	41136.4	0.022					0.99	0.99
	E-F	1.62	1 1/2	43.4	1.10	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.11	10	13.11	47055.8	0.021					1.10	1.10
	F-V39	3.26	2 1/2	66.0	0.95	Tee pase directo	1.72	1	1.718	2.26	5.5	7.76	62267.5	0.020					0.44	0.43
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544											
															Tot	3.03	3.06	4.03		
V-40	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.78	12.5	13.28	5504.9	0.037	Tot 0.5	4.52	4.56	5.02		
	B-C	0.29	3/4	22.9	0.70	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.52	5.5	6.02	15964.3	0.028					0.06	0.07
	C-D	0.39	3/4	22.9	0.95	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.52	10.5	11.02	21469.2	0.026					0.19	0.20
	D-E	0.77	1	29.4	1.13	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	9.5	10.86	33016.5	0.023					0.59	0.62
	E-F	1.33	1 1/4	38.0	1.17	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	16	33.46	44122.1	0.022					0.61	0.62
	F-G	1.52	1 1/4	38.0	1.34	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	10.5	19.23	50425.2	0.021					1.48	1.47
	G-H	1.89	1 1/2	43.4	1.28	Tee pase directo	1.04	1	1.036	2.59	5	7.59	54898.4	0.021					1.09	1.07
						Codo 90°	1.55	1	1.554											
	H-V40	3.22	2 1/2	66.0	0.94	Tee pase directo	1.72	1	1.718	2.26	9.5	11.762	61503.5	0.020					0.18	0.18
Válvula compuerta						0.544	1	0.544												
															Tot	4.52	4.56	5.02		
V-41	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.78	1	0.777	0.78	6	6.78	10459.4	0.031	Tot 0	3.12	3.09	3.12		
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.52	1	0.518	0.52	3.5	4.02	20918.8	0.026					0.10	0.11
	C-D	1.26	1 1/4	38.0	1.11	Tee pase directo	8.73	3	26.19	26.19	10	36.19	41799.8	0.022					0.21	0.22
	D-E	2.45	1 1/2	43.4	1.66	Tee pase directo	1.04	3	3.108	3.11	10.5	13.61	71164.6	0.020					1.44	1.44
	E-F	2.64	2	54.2	1.14	Tee pase directo	1.36	1	1.364	1.36	3	4.36	61403.4	0.020					0.97	0.94
	F-V41	4.9	2 1/2	66.0	1.43	Tee pase directo	1.72	1	1.718	2.26	6	8.26	93592.2	0.018					0.12	0.12
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544											
															Tot	3.12	3.09	3.12		
V-42	A-B	0.5	3/4	22.9	1.21	Codo 90°	0.78	2	1.554	1.55	2.5	4.05	27524.7	0.024	Tot 0.3	2.76	2.75	3.06		
	B-C	0.69	1	29.4	1.02	Tee pase directo	0.68	1	0.682	0.68	7	7.68	29586.2	0.024					0.34	0.35
	C-D	1.38	1 1/4	38.0	1.22	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	6	23.46	45780.8	0.021					0.35	0.36
	D-E	1.57	1 1/2	43.4	1.06	Tee pase directo	1.04	1	1.036	1.04	3	4.04	45603.4	0.021					1.11	1.10
	E-F	1.76	1 1/2	43.4	1.19	Tee pase directo	1.04	1	1.036	1.04	9.5	10.54	51122.3	0.021					0.13	0.13
	F-G	2.64	2	54.2	1.14	Tee pase directo	1.36	3	4.092	4.09	4	8.09	61403.4	0.020					0.41	0.40
	G-V42	4.4	2 1/2	66.0	1.29	Tee pase directo	1.72	1	1.718	2.26	5	7.262	84042.0	0.019					0.23	0.22
Válvula compuerta						0.544	1	0.544									0.20	0.19		
															Tot	2.76	2.75	3.06		
V-43	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.78	2	1.554	1.55	17	18.55	10459.4	0.031	Tot 0.2	0.26	0.30			
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.52	1	0.518	0.52	11.5	12.02	20918.8	0.026					0.61	0.65
	C-D	0.57	1	29.4	0.84	Tee pase directo	0.682	1	0.682	1.71	10	11.71	24440.8	0.025					0.38	0.39

						Codo 90°	1.023	1	1.023											
	D-E	0.76	1	29.4	1.12	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	3.5	4.18	32587.7	0.023			0.23	0.23		
	E-F	1.45	1 1/4	38.0	1.28	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	12	29.46	48103.0	0.021			1.53	1.51		
	F-G	2.14	1 1/2	43.4	1.45	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	12	14.07	62160.1	0.020			0.78	0.76		
	G-H	2.83	2	54.2	1.23	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	12	14.73	65822.6	0.020			0.47	0.45		
	H-I	3.33	2	54.2	1.44	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	7	8.36	77452.0	0.019			0.36	0.34		
	I-V43	3.9	2 1/2	66.0	1.14	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	13.5	17.48	74491.8	0.019			0.38	0.37		
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544											
																	Tot	5.00	5.01	5.20
V-44	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	18	19.55	10459.4	0.031	0.5		0.28	0.31		
	B-C	0.69	1	29.4	1.02	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	3	3.68	29586.2	0.024			0.17	0.17		
	C-D	2.19	1 1/2	43.4	1.48	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.11	11.5	14.61	63612.4	0.020			0.85	0.83		
	D-E	3.19	2	54.2	1.38	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	12	14.73	74195.8	0.019			0.58	0.56		
	E-F	4.19	2 1/2	66.0	1.22	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.44	12	15.44	80030.9	0.019			0.39	0.37		
	F-G	4.69	2 1/2	66.0	1.37	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	6	7.72	89581.2	0.019			0.24	0.23		
	G-V44	5.26	2 1/2	66.0	1.54	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	15	18.98	100468.4	0.018			0.73	0.69		
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544											
																	Tot	3.23	3.16	3.73
V-45	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	6	7.55	10459.4	0.031	0.8		0.11	0.12		
	B-C	0.38	1	29.4	0.56	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	7	7.68	16293.9	0.027			0.12	0.13		
	C-D	1.38	1 1/4	38.0	1.22	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	7	24.46	45780.8	0.021			1.16	1.15		
	D-E	1.88	1 1/2	43.4	1.27	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.04	6	7.04	54607.9	0.021			0.31	0.30		
	E-F	2.88	2	54.2	1.25	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	6	8.73	66985.5	0.020			0.29	0.28		
	F-G	3.38	2	54.2	1.46	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	9	10.36	78615.0	0.019			0.46	0.44		
	G-H	4.88	2 1/2	66.0	1.43	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.44	9	12.44	93210.2	0.018			0.41	0.40		
	H-V45	5.26	2 1/2	66.0	1.54	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	10.5	12.762	100468.4	0.018			0.49	0.46		
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544											
																	Tot	3.33	3.27	4.13
V-46	I-A	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.78	10.5	11.28	5504.9	0.037	-		0.05	0.06		
	A-B	0.29	3/4	22.9	0.70	Codo 90°	0.777	1	0.777	1.30	6	7.30	15964.3	0.028	4.55		0.23	0.24		
						Tee pase directo	0.518	1	0.518											
	B-C	0.48	1	29.4	0.71	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	10	10.68	20581.7	0.026			0.25	0.26		
	C-D	0.67	1	29.4	0.99	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	11	11.68	28728.6	0.024			0.51	0.52		
	D-E	0.86	1	29.4	1.27	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	12	12.68	36875.6	0.023			0.87	0.88		
	E-F	1.36	1 1/4	38.0	1.20	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	13	21.73	45117.3	0.022			1.00	0.99		
	F-G	1.86	1 1/2	43.4	1.26	Tee pase directo	1.036	1	1.036	2.59	9	11.59	54027.0	0.021			0.50	0.49		
						Codo 90°	1.554	1	1.554											
	G-H	2.05	2	54.2	0.89	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	11.5	12.86	47680.7	0.021			0.22	0.22		
	H-V46	5.16	2 1/2	66.0	1.51	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	9	12.98	98558.4	0.018			0.48	0.46		
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544											

																Tot	4.10	4.12	-
V-47	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	12	13.55	10459.4	0.031	-3	0.19	0.22	0.45	
	B-C	0.88	1	29.4	1.30	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	11	12.36	37733.2	0.022		0.89	0.89		
	C-D	2.07	1 1/2	43.4	1.40	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.11	17	20.11	60126.8	0.020		1.05	1.03		
	D-E	2.45	2	54.2	1.06	Tee pase directo	1.364	2	2.728	4.77	15	19.77	56984.2	0.020		0.48	0.47		
						Codo 90°	2.045	1	2.045										
	E-F	3.83	2 1/2	66.0	1.12	Tee pase directo	1.718	3	5.154	5.15	7	12.15	73154.8	0.019		0.26	0.25		
	F-G	4.33	2 1/2	66.0	1.27	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	4	5.72	82705.0	0.019		0.15	0.15		
	G-H	5.52	2 1/2	66.0	1.61	Tee pase directo	1.718	3	5.154	5.15	7	12.15	105434.5	0.018		0.51	0.48		
H-V47	5.62	2 1/2	66.0	1.64	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	28.7	30.962	107344.6	0.018	1.34	1.27				
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544											
															Tot	4.87	4.75	1.87	
V-48	A-B	0.183	1/2	17.4	0.77	Codo 90°	0.532	2	1.064	1.42	9.5	10.92	13258.4	0.029	0.7	0.55	0.60	1.87	
						Tee pase directo	0.354	1	0.354										
	B-C	0.549	1	29.4	0.81	Tee pase directo	0.682	4	2.728	2.73	14.5	17.23	23540.3	0.025		0.52	0.54		
	C-D	0.8235	1	29.4	1.21	Tee pase directo	0.682	3	2.046	2.05	11.5	13.55	35310.5	0.023		0.86	0.87		
	D-E	1.11	1 1/2	43.4	0.75	Tee pase directo	1.036	2	2.072	3.63	10.5	14.13	32096.7	0.023		0.23	0.24		
						Codo 90°	1.554	1	1.554										
	E-F	1.485	1 1/2	43.4	1.00	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	12	14.07	43134.5	0.022		0.40	0.40		
	F-G	1.865	2	54.2	0.81	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	11	13.73	43377.8	0.022		0.20	0.20		
	G-H	2.155	2	54.2	0.93	Tee pase directo	1.364	2	2.728	4.77	12.5	17.27	50122.8	0.021		0.33	0.33		
						Codo 90°	2.045	1	2.045										
	H-I	2.445	2	54.2	1.06	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	9.5	12.228	56867.9	0.020		0.30	0.29		
	I-J	2.825	2 1/2	66.0	0.83	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.44	12	15.436	53958.8	0.021		0.19	0.18		
	J-K	3.115	2 1/2	66.0	0.91	Tee pase directo	1.718	2	3.436	6.01	9	15.013	59497.9	0.020		0.22	0.21		
						Codo 90°	2.577	1	2.577										
J-K	3.3895	2 1/2	66.0	0.99	Tee pase directo	1.718	3	5.154	12.03	12	24.026	64741.0	0.020	0.41	0.40				
L-V48	3.7555	2 1/2	66.0	1.10	Tee pase directo	1.718	4	6.872	7.42	15.5	22.916	71731.8	0.019	0.47	0.46				
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544											
															Tot	4.66	4.71	5.36	
V-49	A-B	0.19	1/2	17.4	0.80	Codo 90°	0.532	2	1.064	1.06	5.5	6.56	13765.5	0.029	2.1	0.35	0.39		
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.52	10	10.52	20918.8	0.026		0.54	0.57		
	C-D	0.663	1	29.4	0.98	Tee pase directo	0.682	3	2.046	2.05	8	10.05	28428.5	0.024		0.43	0.44		
	D-E	0.846	1	29.4	1.25	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	8	9.36	36275.3	0.023		0.62	0.63		
	E-F	1.212	1 1/2	43.4	0.82	Tee pase directo	1.036	4	4.144	4.14	16	20.14	35204.7	0.023		0.39	0.40		
	F-G	1.395	1 1/2	43.4	0.94	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	8	10.07	40520.3	0.022		0.25	0.25		
	G-H	1.578	1 1/2	43.4	1.07	Tee pase directo	1.036	2	2.072	3.63	8	11.63	45835.8	0.021		0.37	0.37		
						Codo 90°	1.554	1	1.554										
H-I	1.944	2	54.2	0.84	Tee pase directo	1.364	4	5.456	5.46	16	21.46	45215.2	0.021	0.34	0.34				

	I-J	2.127	2	54.2	0.92	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	11	13.73	49471.6	0.021		0.26	0.25	
	J-K	2.507	2 1/2	66.0	0.73	Tee pase directo	1.718	2	3.436	6.01	11.5	17.51	47884.8	0.021		0.17	0.17	
						Codo 90°	2.577	1	2.577									
	K-V49	3.937	2 1/2	66.0	1.15	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	8.5	10.762	75198.5	0.019		0.24	0.23	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.96	4.03	6.06
V-50	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	5.5	7.05	10459.4	0.031	0	0.10	0.11	
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.52	8.5	9.02	20918.8	0.026		0.46	0.48	
	C-D	0.76	1	29.4	1.12	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	10	11.36	32587.7	0.023		0.62	0.63	
	D-E	1.05	1 1/4	38.0	0.93	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	6	23.46	34833.2	0.023		0.67	0.68	
	E-F	1.24	1 1/4	38.0	1.09	Tee pase directo	8.73	1	8.73	8.73	12	20.73	41136.4	0.022		0.80	0.80	
	F-G	2.24	1 1/2	43.4	1.51	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.04	5	6.04	65064.8	0.020		0.37	0.36	
	G-H	2.43	2	54.2	1.05	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	4	5.36	56519.0	0.020		0.13	0.13	
	H-V50	4.64	2 1/2	66.0	1.36	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	3	5.262	88626.1	0.019		0.16	0.15	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.31	3.34	3.31
V-51	A-B	0.5	1	29.4	0.74	Codo 90°	1.023	2	2.046	2.05	13.5	15.55	21439.3	0.026	0.1	0.39	0.41	
	B-C	1.19	1 1/4	38.0	1.05	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	4	21.46	39477.6	0.022		0.77	0.77	
	C-D	1.88	1 1/2	43.4	1.27	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	5.5	7.57	54607.9	0.021		0.33	0.33	
	D-E	2.57	2	54.2	1.11	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	4	6.73	59775.3	0.020		0.18	0.17	
	E-F	3.07	2	54.2	1.33	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	4	5.36	71404.7	0.019		0.20	0.19	
	F-G	3.26	2 1/2	66.0	0.95	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	3	4.72	62267.5	0.020		0.07	0.07	
	G-V51	5.64	2 1/2	66.0	1.65	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	6.5	8.762	107726.6	0.018		0.38	0.36	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	2.33	2.31	2.43
V-52	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	22	23.55	10459.4	0.031	-0.1	0.33	0.38	
	B-C	0.88	1	29.4	1.30	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	9.5	10.86	37733.2	0.022		0.78	0.78	
	C-D	1.26	1 1/4	38.0	1.11	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	10.5	27.96	41799.8	0.022		1.12	1.12	
	D-E	1.65	1 1/2	43.4	1.12	Tee pase directo	1.036	3	3.108	3.11	8.5	11.61	47927.2	0.021		0.40	0.40	
	E-F	1.94	1 1/2	43.4	1.31	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	6	8.07	56350.8	0.020		0.38	0.37	
	F-V52	3.55	2 1/2	66.0	1.04	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	3.5	5.76	67806.6	0.020		0.11	0.10	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.11	3.14	3.01
V-53	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	10.5	12.05	10459.4	0.031	0.4	0.17	0.19	
	B-C	0.88	1	29.4	1.30	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	6.5	7.86	37733.2	0.022		0.56	0.57	
	C-D	1.44	1 1/4	38.0	1.27	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	8	25.46	47771.3	0.021		1.30	1.29	
	D-E	2.44	2	54.2	1.06	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	6.5	9.23	56751.6	0.020		0.22	0.22	
	E-F	2.63	2	54.2	1.14	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	2.5	3.86	61170.8	0.020		0.11	0.10	
	F-V53	4.01	2 1/2	66.0	1.17	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	7.5	9.76	76592.8	0.019		0.23	0.22	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									

V-54	A-B	0.5	1	29.4	0.74	Codo 90°	1.023	2	2.046	2.05	15	17.05	21439.3	0.026	Tot	0.5	2.59	2.59	2.99
	B-C	2.19	2	54.2	0.95	Tee pase directo	1.364	3	4.092	4.09	12	16.09	50936.9	0.021			0.43	0.45	
	C-D	3.88	2 1/2	66.0	1.13	Tee pase directo	1.718	3	5.154	5.15	2.5	7.65	74109.8	0.019			0.32	0.31	
	D-V54	4.55	2 1/2	66.0	1.33	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	3	5.26	86907.1	0.019			0.17	0.16	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot		1.07	1.07	1.57
V-55	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	10.5	12.05	10459.4	0.031	Tot	0.6	1.07	1.07	
	B-C	0.38	1	29.4	0.56	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	7.5	8.18	16293.9	0.027			0.17	0.19	
	C-D	1.07	1 1/2	43.4	0.72	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	12	14.07	31080.1	0.023			0.12	0.13	
	D-E	2.26	2	54.2	0.98	Tee pase directo	1.364	3	4.092	4.09	11	15.09	52565.0	0.021			0.22	0.22	
	E-F	2.45	2	54.2	1.06	Tee pase directo	1.364	1	1.364	3.41	17	20.41	56984.2	0.020			0.32	0.31	
						Codo 90°	2.045	1	2.045										
	F-G	2.83	2	54.2	1.23	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	10	12.73	65822.6	0.020			0.40	0.39	
	G-H	3.1045	2 1/2	66.0	0.91	Tee pase directo	1.718	3	5.154	5.15	11	16.15	59297.4	0.020			0.23	0.23	
	H-V55	4.85	2 1/2	66.0	1.42	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	19	21.262	92637.2	0.018			0.70	0.67	
Válvula compuerta						0.544	1	0.544											
															Tot		2.66	2.64	3.26
V-56	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	9	10.55	10459.4	0.031	Tot	0	2.50	2.49	2.50
	B-C	0.88	1	29.4	1.30	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	10	11.36	37733.2	0.022			0.14	0.15	
	C-D	1.57	1 1/2	43.4	1.06	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	11	13.07	45603.4	0.021			0.64	0.67	
	D-E	2.26	2	54.2	0.98	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	11	13.73	52565.0	0.021			0.35	0.35	
	E-F	3.45	2 1/2	66.0	1.01	Tee pase directo	1.718	3	5.154	5.15	11	16.15	65896.6	0.020			0.41	0.41	
	F-G	4.14	2 1/2	66.0	1.21	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.44	9.5	12.94	79075.9	0.019			0.29	0.28	
	G-V56	4.43	2 1/2	66.0	1.29	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	4.5	8.48	84615.0	0.019			0.28	0.28	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot		2.50	2.49	2.50
V-57	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	8	9.55	10459.4	0.031	Tot	0	2.58	2.59	2.58
	B-C	0.38	3/4	22.9	0.92	Tee pase directo	0.518	1	0.518	0.52	12	12.52	20918.8	0.026			0.14	0.15	
	C-D	1.38	1 1/2	43.4	0.93	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	12	14.07	40084.6	0.022			0.64	0.67	
	D-E	2.38	2	54.2	1.03	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	11	13.73	55356.1	0.021			0.35	0.35	
	E-F	2.88	2	54.2	1.25	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	11	12.36	66985.5	0.020			0.32	0.31	
	F-G	3.88	2 1/2	66.0	1.13	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.44	11	14.44	74109.8	0.019			0.40	0.39	
	G-H	4.38	2 1/2	66.0	1.28	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	5.5	7.22	83660.0	0.019			0.31	0.30	
	H-V50	4.57	2 1/2	66.0	1.34	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	5.5	7.762	87289.1	0.019			0.20	0.19	
Válvula compuerta						0.544	1	0.544									0.23	0.22	
															Tot		2.58	2.59	2.58
V-58	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	7	8.55	10459.4	0.031	Tot	-0.3	2.58	2.59	2.58
	B-C	0.88	1	29.4	1.30	Tee pase directo	0.682	2	1.364	1.36	11	12.36	37733.2	0.022			0.12	0.14	
	C-D	1.38	1 1/2	43.4	0.93	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.04	11	12.04	40084.6	0.022			0.89	0.89	
																	0.30	0.30	

	D-E	1.88	1 1/2	43.4	1.27	Tee pase directo	1.036	1	1.036	1.04	11	12.04	54607.9	0.021		0.53	0.52	
	E-F	2.38	2	54.2	1.03	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	11	12.36	55356.1	0.021		0.28	0.28	
	F-G	3.38	2 1/2	66.0	0.99	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.44	11.5	14.94	64559.5	0.020		0.25	0.25	
	G-H	3.88	2 1/2	66.0	1.13	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	12	13.72	74109.8	0.019		0.30	0.29	
	H-I	4.38	2 1/2	66.0	1.28	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	6	7.72	83660.0	0.019		0.21	0.20	
	I-V50	4.76	2 1/2	66.0	1.39	Tee pase directo	1.718	2	3.436	3.98	4.5	8.48	90918.2	0.018		0.27	0.26	
						Válvula compuerta	0.544	1	0.544									
															Tot	3.15	3.12	2.85
V-59	A-B	0.19	3/4	22.9	0.46	Codo 90°	0.777	1	0.777	0.78	10.5	11.28	10459.4	0.031	-0.4	0.16	0.18	
	B-C	0.69	1	29.4	1.02	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	9	9.68	29586.2	0.024		0.44	0.45	
	C-D	1.69	1 1/2	43.4	1.14	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	11.5	13.57	49089.1	0.021		0.49	0.48	
	D-E	2.19	2	54.2	0.95	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	11	12.36	50936.9	0.021		0.24	0.24	
	E-F	2.69	2	54.2	1.17	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	10.5	11.86	62566.3	0.020		0.34	0.33	
	F-G	3.19	2	54.2	1.38	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	11.5	12.86	74195.8	0.019		0.51	0.49	
	G-H	3.69	2 1/2	66.0	1.08	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	12	13.72	70480.7	0.019		0.27	0.26	
	H-I	4.19	2 1/2	66.0	1.22	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	6	7.72	80030.9	0.019		0.19	0.19	
I-V59	4.38	2 1/2	66.0	1.28	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	4.4	6.662	83660.0	0.019	0.18	0.17			
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	2.83	2.81	2.43
V-60	A-B	0.1	3/4	22.9	0.24	Codo 90°	0.777	2	1.554	1.55	13	14.55	5504.9	0.037	-0.4	0.06	0.08	
	B-C	0.29	1	29.4	0.43	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	11	11.68	12434.8	0.029		0.11	0.12	
	C-D	0.48	1	29.4	0.71	Tee pase directo	0.682	1	0.682	0.68	11	11.68	20581.7	0.026		0.27	0.29	
	D-E	1.17	1 1/4	38.0	1.03	Tee pase directo	8.73	2	17.46	17.46	11	28.46	38814.1	0.022		0.99	1.00	
	E-F	1.86	1 1/2	43.4	1.26	Tee pase directo	1.036	2	2.072	2.07	10	12.07	54027.0	0.021		0.52	0.51	
	F-G	2.05	2	54.2	0.89	Tee pase directo	1.364	1	1.364	1.36	11	12.36	47680.7	0.021		0.22	0.21	
	G-H	3.24	2	54.2	1.40	Tee pase directo	1.364	2	2.728	2.73	11	13.73	75358.7	0.019		0.56	0.54	
	H-I	3.93	2 1/2	66.0	1.15	Tee pase directo	1.718	1	1.718	1.72	5	6.72	75064.8	0.019		0.15	0.14	
I-60	4.22	2 1/2	66.0	1.23	Tee pase directo	1.718	1	1.718	2.26	6	8.262	80603.9	0.019	0.21	0.20			
					Válvula compuerta	0.544	1	0.544										
															Tot	3.09	3.09	2.69

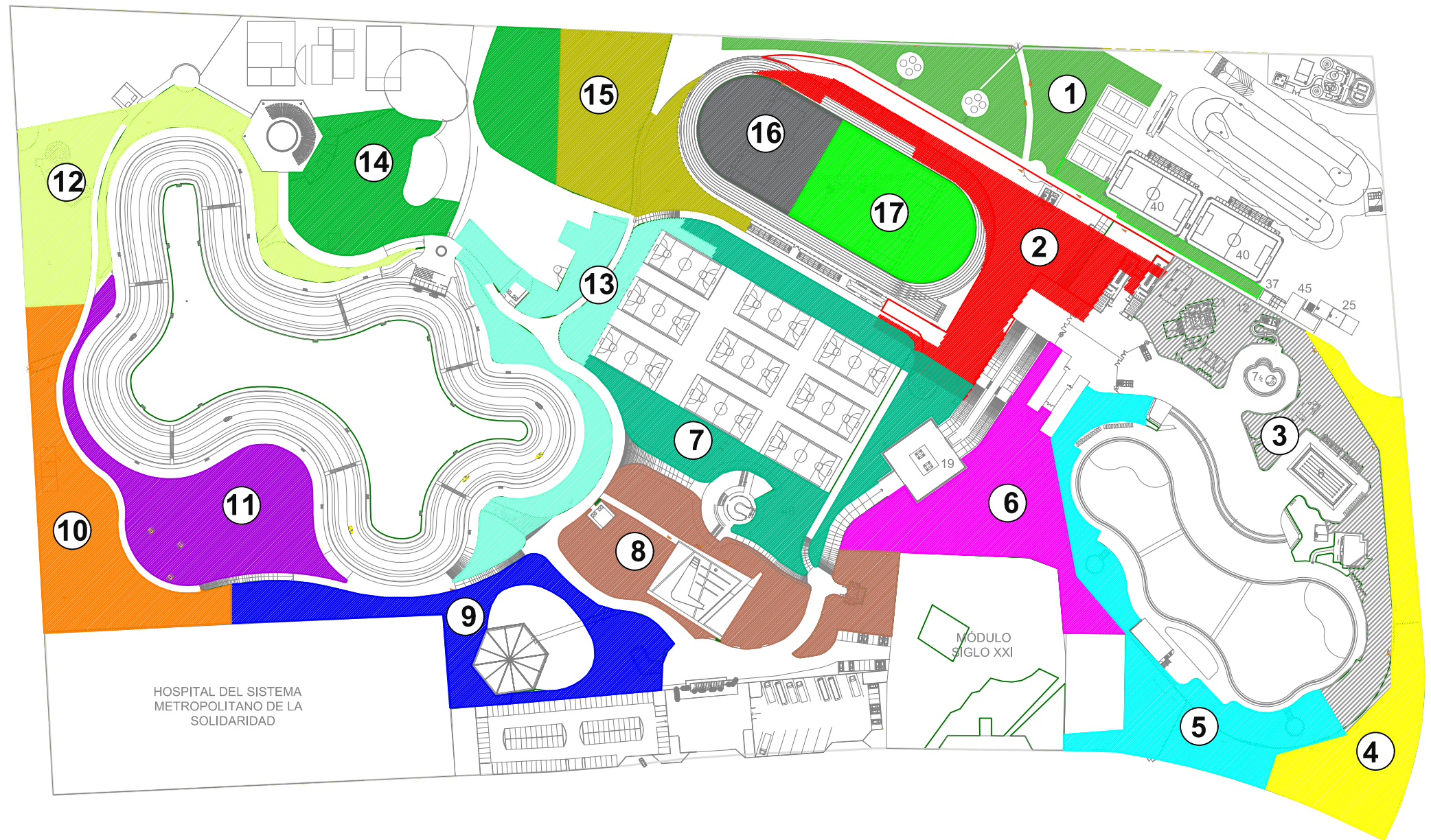
ANEXO 4: Resultados de diámetros de tubería modelados en WaterCAD

Label	Material	Hazen-Williams C	Length (Scaled) (m)	Diameter int (mm)
T-1	PVC	140	9.65	67.8
T-2	PVC	140	32.26	67.8
T-3	PVC	140	64.33	126.6
T-4	PVC	140	4.51	99.4
T-5	PVC	140	20.15	99.4
T-6	PVC	140	16.5	67.8
T-7	PVC	140	37.27	67.8
T-8	PVC	140	7.95	81.4
T-9	PVC	140	22.86	81.4
T-10	PVC	140	17.6	67.8
T-11	PVC	140	7.4	67.8
T-12	PVC	140	8.61	81.4
T-13	PVC	140	51.49	67.8
T-14	PVC	140	62.4	67.8
T-15	PVC	140	4.32	99.4
T-16	PVC	140	27.48	99.4
T-17	PVC	140	30.02	81.4
T-18	PVC	140	25.1	99.4
T-19	PVC	140	5.5	126.6
T-20	PVC	140	69.28	126.6
T-21	PVC	140	54.9	126.6
T-22	PVC	140	7.47	81.4
T-23	PVC	140	18.83	99.4
T-24	PVC	140	17.86	126.6
T-25	PVC	140	10.56	126.6
T-26	PVC	140	32.06	126.6
T-27	PVC	140	23.4	126.6
T-28	PVC	140	6.58	126.6
T-29	PVC	140	52.76	126.6
T-30	PVC	140	64.34	126.6
T-31	PVC	140	9.56	126.6
T-32	PVC	140	29.69	126.6
T-33	PVC	140	23.1	126.6
T-34	PVC	140	25.42	126.6
T-35	PVC	140	5.15	126.6
T-36	PVC	140	18.11	126.6
T-37	PVC	140	12.02	126.6
T-38	PVC	140	45.91	99.4
T-39	PVC	140	52.09	126.6
T-40	PVC	140	73.29	126.6
T-41	PVC	140	13	126.6
T-42	PVC	140	6.66	126.6
T-43	PVC	140	31.28	126.6
T-44	PVC	140	51.1	126.6
T-45	PVC	140	71.43	126.6
T-46	PVC	140	6.11	126.6
T-47	PVC	140	19.52	126.6
T-48	PVC	140	6.3	126.6
T-49	PVC	140	8.81	126.6

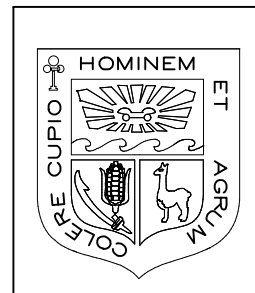
T-50	PVC	140	48.14	126.6
T-51	PVC	140	38.18	126.6
T-52	PVC	140	47.61	126.6
T-53	PVC	140	6.32	126.6
T-54	PVC	140	136.65	126.6
T-55	PVC	140	6.08	126.6
T-56	PVC	140	4.09	126.6
T-57	PVC	140	7.3	126.6
T-58	PVC	140	3.52	99.4
T-59	PVC	140	3.95	126.6
T-60	PVC	140	43.24	126.6
T-61	PVC	140	4.86	126.6
T-62	PVC	140	22.93	126.6
T-63	PVC	140	45.27	99.4
T-64	PVC	140	12.3	126.6
T-65	PVC	140	43.83	126.6
T-66	PVC	140	51.78	126.6
T-67	PVC	140	29.68	126.6
T-68	PVC	140	70.22	126.6
T-69	PVC	140	23.13	126.6
T-70	PVC	140	16.2	126.6
T-71	PVC	140	15.06	126.6
T-72	PVC	140	9.4	126.6
T-73	PVC	140	14.24	126.6
T-74	PVC	140	18.15	67.8
T-75	PVC	140	33.97	99.4
T-76	PVC	140	43.11	126.6
T-77	PVC	140	26.61	126.6
T-78	PVC	140	9	126.6
T-79	PVC	140	6.92	126.6
T-80	PVC	140	45.5	126.6
T-81	PVC	140	6.26	126.6
T-82	PVC	140	28.72	126.6
T-83	PVC	140	41.87	99.4
T-84	PVC	140	29.52	99.4
T-85	PVC	140	47.74	67.8
T-86	PVC	140	21.47	126.6
T-87	PVC	140	38.18	126.6
T-88	PVC	140	54	126.6
T-89	PVC	140	56.63	99.4
T-90	PVC	140	10.05	99.4
T-91	PVC	140	22.07	99.4
T-92	PVC	140	118.89	126.6

CUADRO DE DATOS

Turno	Nº. Valv.	Area por turno Ha	Q Valv (lps)	Q turno (lps)
1	1	0.54	3.880	18.19
	2		4.753	
	3		4.916	
	4		4.640	
2	5	0.60	4.120	17.30
	6		5.070	
	7		3.860	
	8		4.252	
3	16	0.62	4.183	15.04
	17		3.624	
	18		3.650	
	19		3.580	
4	21	0.53	3.353	15.96
	22		3.540	
	23		4.640	
	24		4.430	
5	15	0.56	3.370	14.63
	20		3.370	
	25		3.900	
	26		3.989	
6	10	0.54	4.707	17.90
	11		4.100	
	12		4.760	
	13		4.330	
7	9	0.63	4.225	16.75
	28		3.520	
	32		3.640	
	33		5.360	
8	14	0.55	3.660	16.82
	34		4.070	
	35		3.970	
	37		5.119	
9	38	0.48	3.770	15.15
	39		3.260	
	40		3.220	
	41		4.900	
10	42	0.54	4.400	16.51
	52		3.550	
	53		4.010	
	54		4.550	
11	43	0.56	3.900	19.27
	44		5.260	
	45		5.260	
	55		4.850	
12	48	0.54	3.756	17.97
	49		3.937	
	50		4.640	
	51		5.640	
13	29	0.53	3.720	16.46
	30		4.250	
	31		4.357	
	36		4.130	
14	46	0.62	5.160	19.78
	47		5.620	
	56		4.430	
	57		4.570	
15	27	0.50	4.422	17.78
	58		4.760	
	59		4.380	
	60		4.220	
16	61	0.28	5.220	10.44
	62		5.220	
17	63	0.43	5.220	14.17
	64		4.474	
	65		4.474	



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



PROYECTO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA ÁREAS VERDES URBANAS - PARQUE ZONAL HUIRACOA SAN JUAN DE LURIGANCHO. LIMA

TITULO:
PLANO DE TURNOS DE RIEGO

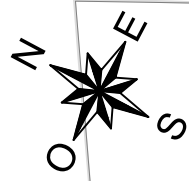
UBICACION:
PLANO DE TURNOS DE RIEGO

AUTOR:
ANGGIE KAROLIN MORALES MORANTE

FECHA:
ABRIL, 2018

ESCALA:
1:2,500

PLANO:
01



CABEZAL

HOSPITAL DEL SISTEMA METROPOLITANO DE LA SOLIDARIDAD

MÓDULO SIGLO XXI

CUADRO DE TUBERIAS

	TUBERIA PVC 1/2" C-5
	TUBERIA PVC 3/4" C-5
	TUBERIA PVC 1" C-5
	TUBERIA PVC 1 1/4" C-5
	TUBERIA PVC 1 1/2" C-5
	TUBERIA PVC 2" C-5
	TUBERIA PVC 2 1/2" C-5
	TUBERIA PVC 75mm C-10
	TUBERIA PVC 90mm C-10
	TUBERIA PVC 110mm C-10
	TUBERIA PVC 140mm C-10

LEYENDA

	VALVULA DE RIEGO
	VALVULA DE AIRE
	ROTOR RB 3000 B:1.5
	ROTOR RB 5000 B:1.5
	ROTOR RB 5000 B:3
	ROTOR RB 5000 B:6
	ROTOR RB 5000 B:8
	ROTOR RB 8005 B:12
	EQUIPO DE BOMBEO
	RESERVORIO

PARAMETROS DE DISEÑO

PARAMETRO	CULTIVOS
LOCALIZACION	SAN JUAN DE LURIGANCHO
SUPERFICIE (ha)	21.30
CULTIVOS	Árboles, arbustos, césped
RELIEVE	Uniforme
FUENTE DE AGUA	PTAR, POTABLE
TIPO DE RIEGO A EMPLEAR	Aspersión
LAMINA DE RIEGO (mm/día)	15.8
FACTOR DE CULTIVO (Kj)	0.85
PRECIPITACION DEL SISTEMA (mm/hr)	11
INTERVALO DE RIEGO (días)	1
TIEMPO MAX DE RIEGO POR TURNO (hr)	1.18
TIEMPO MAX DE RIEGO POR DIA (hr)	9.75
NUMERO DE TURNOS POR DIA	17
CAPACIDAD DE RIEGO (m3/ha/hr)	6.85
EMISOR (Rotor)	RB 3000, 5000, 8000
CAUDAL DEL EMISOR (lpm)	5.49; 22.2 y 44.74
CAUDAL MAXIMO POR VALVULA (l/s)	5.64
SUPERFICIE MAXIMA POR TURNO (ha)	0.62
CAUDAL MAXIMO POR TURNO (lps)	19.78
PRESION MINIMA DEL EMISOR(m.c.a)	30
DESIVEL TOPOGRAFICO (m)	0-3
PRESION DEL SISTEMA (m)	73.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA



PROYECTO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA
ÁREAS VERDES URBANAS - PARQUE ZONAL HUIRACOCHA
SAN JUAN DE LURIGANCHO. LIMA

TÍTULO:
DISEÑO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE RIEGO

UBICACION:
Av. Próceres de la Independencia Cuadra 12, S.J.L.
Lima - Perú

AUTOR:
ANGGIE KAROLIN MORALES MORANTE

FECHA:
ABRIL, 2018

ESCALA:
1: 2,000

PLANO:
02