

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental



“DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO EN LA SEDE LIMA NORTE”

Trabajo de Titulación para optar el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA

César Augusto Juniors Palomino Marcelo

INGENIERO AGRÓNOMO

Daniel Quintana Rojas

Lima - Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental

“DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO EN LA SEDE LIMA NORTE”

Trabajo de Titulación para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

César Augusto Juniors Palomino Marcelo

INGENIERO AGRÓNOMO

Daniel Quintana Rojas

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. David Ricardo Ascencios Templo

PRESIDENTE

Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo

ASESOR

Ing. José Alfredo Palacios Vallejo

MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Ruby Antonieta Vega Ravello

MIEMBRO

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a mi Padre celestial, también a mis padres Mercedes Marcelo y César Palomino que con su amor y disciplina supieron inculcarme sus valores desde muy pequeño.

A mi amigo Jeisson Lluen, quien me brindó su apoyo moral y sus recomendaciones pertinentes.

Mil Gracias.

César Augusto Junior Palomino Marcelo

El presente trabajo de titulación está dedicado especialmente a mi querida madre Nelly Rojas Herrera, quien con su gran amor, sacrificado apoyo incondicional, sabios consejos y ánimo durante toda mi vida, principalmente académica, permitió crecer bastante como persona y forjarme una profesión.

A mi padre Eusebio Quintana Loayza, quien siempre estuvo apoyándome y brindándome consejos y ánimo para perseguir mi objetivo profesional.

A mi hermano Edwin, quien me apoyo en momentos difíciles y siempre me brindó ánimo para seguir adelante.

A mi tío Percy, quien me brindó apoyo y sabios consejos y a toda mi familia, fue y será siempre un gran ejemplo de persona y profesional.

Daniel Quintana Rojas

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1.1	Objetivo general.....	1
1.1.2	Objetivos específicos	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	MÉTODOS DE RIEGO PRESURIZADO	3
2.1.1	Riego por aspersión	3
2.1.2	Riego por goteo.....	4
2.2	RELACIÓN SUELO – PLANTA - ATMÓSFERA	5
2.2.1	Propiedades físicas del suelo	5
2.2.2	Infiltración	9
2.2.3	Evapotranspiración	11
2.3	DISEÑO AGRONÓMICO	19
2.3.1	Necesidad neta (Nn)	19
2.3.2	Parámetros de riego	20
2.3.3	Disposición de emisores	30
2.4	DISEÑO HIDRÁULICO PARA ASPERSIÓN	34
2.4.1	Consideraciones preliminares	34
2.4.2	Sectorización del riego	34
2.4.3	Diseño de la tubería principal	36
2.4.4	Diseño de la tubería secundaria	37
2.4.5	Pérdida de carga en tuberías	37
2.4.6	Uniformidad de riego.....	39
2.5	DISEÑO HIDRÁULICO PARA GOTEO	39
2.5.1	Caudal del emisor	39
2.5.2	Tolerancia de caudales.....	40
2.5.3	Tolerancia de presiones	41
2.5.4	Pérdida de carga admisible	41
2.5.5	Pérdida de carga en laterales.....	42
2.5.6	Efecto de salidas múltiples y de conexión por emisor.....	42
2.6	CABEZAL DE RIEGO	43
2.6.1	Equipo de filtrado	44
2.6.2	Equipo de bombeo	44

2.6.3	Equipo de fertirrigación	46
2.7	AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO EN JARDINES	47
2.8	USO DE SOFTWARE EPANET 2.0 Y EPACAD	49
2.8.1	Módulo de cálculo hidráulico	49
2.8.2	Módulo de calidad de agua	49
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	51
3.1	MATERIALES	51
3.1.1	Ubicación y acceso	51
3.1.2	Clima.....	52
3.1.3	Suelo	52
3.1.4	Agua.....	53
3.2	EQUIPOS.....	53
3.2.1	Equipo para muestreo de suelo	53
3.2.2	Equipo para muestreo de agua.....	53
3.2.3	Equipo para levantamiento topográfico.....	53
3.2.4	Estacas de madera Equipo complementario	53
3.3	METODOLOGÍA	54
3.3.1	Pre - campo	54
3.3.2	Trabajo de Campo.....	54
3.3.3	Fase de Gabinete.....	55
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	83
4.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	83
4.2	CALIDAD DE AGUA Y SUELO	83
4.3	DISEÑO AGRONÓMICO	84
4.3.1	Necesidades netas	84
4.3.2	Parámetros de riego	88
4.4	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO	99
4.4.1	Cisterna	99
4.4.2	Unidad de bombeo	99
4.4.3	Cabezal	104
4.4.4	Redes de conducción y distribución	104
4.4.5	Emisores de riego	105
4.4.6	Automatización de riego.....	106
4.4.7	Obras civiles complementarias	108
4.5	PRESUPUESTO DE INVERSIÓN	109

V.	CONCLUSIONES	111
VI.	RECOMENDACIONES.....	113
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
VIII.	ANEXOS	118

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Velocidad de infiltración estabilizada o constante	10
Cuadro 2: Coeficiente de especies por tipo de vegetación	15
Cuadro 3: Coeficiente de densidad por tipo de vegetación	16
Cuadro 4: Coeficiente de microclimas por tipo de vegetación.....	18
Cuadro 5: Escala de clasificación de plantas por su tolerancia a salinidad.....	22
Cuadro 6: Valores de eficiencia de aplicación en sistema de riego por aspersión	23
Cuadro 7: Clase de tuberías	37
Cuadro 8: Coeficiente de Fricción de Hazem-Williams.....	38
Cuadro 9: Valores de M para diseño para hallar pérdida de carga.....	42
Cuadro 10: Longitud equivalente por conexión	43
Cuadro 11: Ubicación del área de estudio	51
Cuadro 12: Datos meteorológicos de la estación Von-Humboldt	52
Cuadro 13: Valores de déficit permisible de manejo (DPM) y porcentaje mínimo de suelo mojado (P) a considerarse.....	59
Cuadro 14: Diámetros y caudales máximos para una velocidad de 2m/s	72
Cuadro 15: Datos de Altura dinámica y caudal	78
Cuadro 16: Datos de Rendimiento y caudal	79
Cuadro 17: Valores de evapotranspiración de referencia	84
Cuadro 18: Resultado de determinación de los coeficientes de jardín (Kj)	85
Cuadro 19: Evapotranspiración de las áreas verdes (ETav) para el mes de máxima demanda.....	86
Cuadro 20: Necesidades netas en función del coeficiente de jardín (Kj).....	87
Cuadro 21: Información para el cálculo de las láminas de riego.....	89
Cuadro 22 : Diseño agronómico para el sistema de riego por aspersión en césped - hidrozona 1	92
Cuadro 23 : Diseño agronómico del sistema de riego por goteo para las plantas herbáceas de flor - hidrozona 2	94
Cuadro 24: Diseño agronómico del sistema de riego por goteo para árboles - hidrozona	397
Cuadro 25: Requerimiento de CDT y caudal máximo para bomba 1	100
Cuadro 26: Requerimiento de presión a ramales de las plantas herbáceas de flor.....	102
Cuadro 27: Requerimiento de presión a ramales de los árboles.....	102
Cuadro 28: Requerimiento de CDT y caudal máximo para bomba 2	102

Cuadro 29: Relación de boquillas serie VAN	106
Cuadro 30: Válvulas de control por sector y turno de riego por aspersión	106
Cuadro 31: Válvulas de control por sector y turno de riego por goteo	107
Cuadro 32: Presupuesto de inversión de tuberías, equipos y otros	109
Cuadro 33: Presupuesto de inversión por instalación del sistema de riego.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama esquemático del suelo como un sistema de tres fases	6
Figura 2: Triángulo y clases texturales	8
Figura 3: Variación de la infiltrabilidad con el tiempo y para una pluviosidad en riego por aspersión	10
Figura 4: Variabilidad de especies en un jardín	14
Figura 5: Jardines de elevada y baja densidad.....	16
Figura 6: Jardines afectados por edificaciones	17
Figura 7: Nomograma de fracción de lavado, CE media en zona de raíces y CE del agua de riego (a 25°C) para riego de alta frecuencia.....	21
Figura 8: Aspersor de impacto	26
Figura 9: Aspersor de turbina	26
Figura 10: Aspersor de impacto aéreo	27
Figura 11: Aspersores de turbina emergentes	27
Figura 12: Difusor en operación.....	28
Figura 13: Tubería con gotero integrado	29
Figura 14: Radio de riego	31
Figura 15: Disposición de emisores en interior de curva	31
Figura 16: Disposición de emisores en exterior de curvas	32
Figura 17: Disposiciones frecuentes de emisores de riego localizado en árboles.....	33
Figura 18: Cabezal de riego.....	43
Figura 19: Bomba de superficie en aspiración	45
Figura 20: Bomba de superficie en carga	45
Figura 21: Sistema de impulsión	46
Figura 22: Interfaz del Epanet 2.0vE.....	50
Figura 23: Interfaz del EpaCAD 1.0.....	50
Figura 24: Ubicación geográfica del proyecto	51
Figura 25: Hoyo para muestreo de suelo	55
Figura 26: Muestra de suelo	55
Figura 27: Abrir el archivo en EpaCAD.....	64
Figura 28: Uso de EpaCAD.....	65
Figura 29: Valores por defecto en Epanet	65

Figura 30: Opciones del plano en Epanet.....	66
Figura 31: Dimensiones del plano en Epanet.....	66
Figura 32: Visualización del plano de la red y nodos	67
Figura 33: Suministro de información de nodos	68
Figura 34: Consulta de información en nodos.....	68
Figura 35: Opciones de tiempo en Epanet.....	69
Figura 36: Creación de patrones en Epanet	69
Figura 37: Selección de patrón en nodos.....	70
Figura 38: Suministro de información en cisterna para fin de simulación.....	70
Figura 39: Edición de leyenda en Epanet	71
Figura 40: Suministro de información en tuberías	72
Figura 41: Consulta de información en tuberías.....	73
Figura 42: Visualización de la tubería principal en Epanet.....	74
Figura 43: Edición de leyenda para visualización de velocidades	74
Figura 44: Parámetros hidráulicos de electroválvulas PGA.....	75
Figura 45: Simulación de válvula rompe presión y electroválvula	76
Figura 46: Pérdida de carga total en sector más crítico en Epanet	77
Figura 47: Visor de curvas de la bomba en Epanet	78
Figura 48: Curva de altura y caudal en Epanet.....	79
Figura 49: Curva de rendimiento y caudal en Epanet	80
Figura 50: Suministro de información de la bomba en Epanet	80
Figura 51: Cable multiconductor Rain Bird (5 conductores)	82
Figura 52: Representación de los emisores por árbol.....	97
Figura 53: Curvas de la bomba seleccionada para el riego por aspersión.....	101
Figura 54: Curvas de la bomba seleccionada para el riego por aspersión.....	103
Figura 55: Programador Rain Bird ESP-RZX.....	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Plantas ornamentales.....	118
Anexo 2: Relación de plantas y valores de Ke	120
Anexo 3: Relación de plantas y su tolerancia a la salinidad.....	121
Anexo 4: Resultados de análisis de agua y criterios de interpretación de la calidad de agua para riego	122
Anexo 5: Resultado de los análisis de suelo y tabla de interpretación	124
Anexo 6: Riego por goteo.....	127
Anexo 7: Resultados de simulación de tuberías del sistema de riego con Epanet 2.0	135
Anexo 8: Cuadro de parámetros hidráulicos de difusores por sector	149
Anexo 9: Presupuesto detallado	156
Anexo 10: Planos.....	161

RESUMEN

El presente trabajo contempla el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por aspersión y goteo para las áreas verdes de la Universidad César Vallejo ubicado en el distrito de Los Olivos – Lima. El tamaño de las áreas verdes es de 3,916 m². Se usó césped que ocupará la mayor parte, y especies como árboles y plantas herbáceas de flor que ocuparán un área menor. El sistema de riego por aspersión para césped estará ubicado en los sectores 1 al 5. Se utilizarán rociadores tipo emergentes, con boquillas de 4 a 18 VAN, radio de alcance de 1.2 - 5.6 m, para una presión de 21 m.c.a., serán controlados por las válvulas V-1 hasta V-5, con diferentes turnos cada uno. El sistema de riego por goteo para las plantas herbáceas de flor se encuentra localizado en los sectores 6, 7, 8 y 9. Pertenecen al turno 6 y será controlado por la válvula V-6, en este sistema las mangueras con goteros integrados estarán colocados sobre la superficie del terreno, espaciados 0.60 m entre goteros y 0.8 m entre laterales. El sistema de riego por goteo para árboles, está localizado en los sectores 6, 7, 8 y 9, la disposición será con microtubos con goteros incorporados que estarán colocados alrededor de cada árbol, los goteros tienen un caudal de 4 l/h, pertenece al turno 7 y será controlado por la válvula V-7. Toda la disposición de materiales y tuberías será de PVC y de PEBD para diferentes diámetros. Los cambios de turnos serán mediante la apertura y cierre de electroválvulas y programadores conectados a una red eléctrica, que permite la automatización del sistema. En la caseta de bombeo se instalarán las electrobombas, el sistema de filtrado y de fertirriego.

Palabras claves: sistema de riego, áreas verdes, diseño agronómico, diseño hidráulico, automatización.

I. INTRODUCCIÓN

Se prevé que en el 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual (2030 WRG, 2009).

En el Perú, la distribución de los recursos hídricos es asimétrica. Menos del 2% del agua disponible debe cubrir las necesidades de más del 60% de la población nacional asentada en la vertiente del Pacífico (PNUD, 2009).

En la costa se arroja al mar el 53% del agua, mientras que el 47% restante se utiliza con una eficiencia de apenas entre 25% y 40%. Por su parte, la ciudad de Lima, arroja anualmente al mar 400 millones de m³ de aguas servidas ((PNUD, 2009).

Por otro lado, las áreas verdes urbanas mejoran el aire, el agua y el suelo al absorber contaminantes del aire, incrementar las áreas de captación y almacenamiento de agua y estabilizar los suelos. Además mejoran la salud física y mental de la población, mediante espacios de recreación y el mejoramiento estético de un ambiente (BID, 1998). La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un estándar de 9 m²/hab. como mínimo (Reyes y Figueroa, 2010). Sin embargo, en el 2013 el área metropolitana de Lima y Callao cuenta con un índice de área verde de 3.1 m²/hab. (MML, 2014).

Los sistemas de riego permiten mejorar la eficiencia de uso del agua, con el cual se puede generar más áreas verdes de manera sostenible.

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad César Vallejo en la sede Lima Norte. Es una propuesta de diseño de un sistema de riego presurizado para las áreas verdes del campus universitario para optimizar el uso del recurso hídrico. Para ello, el diseño agronómico es importante antes de realizar cualquier diseño; aplicando los conceptos de relación suelo-planta-atmósfera. Después de esto se realiza el diseño hidráulico para la distribución y abastecimiento de agua.

1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1 Objetivo general

- Realizar el diseño de un sistema de riego a presión para las áreas del verdes de la Universidad Cesar Vallejo (UCV) sede Lima Norte, Los Olivos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño agronómico e hidráulico para el sistema de riego por goteo.
- Realizar el diseño agronómico e hidráulico para el sistema de riego por aspersión.
- Elaborar el presupuesto económico del sistema de riego a presión.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MÉTODOS DE RIEGO PRESURIZADO

Los sistemas de riego presurizado cubren el conjunto de métodos que entrañan el humedecimiento de una parte del suelo, aplicándose este término a las técnicas que llevan el agua muy lentamente, a intervalos regulares y cantidades precisas en forma de gotas al pie de las plantas, en la zona de raíces por medio de dispositivos de distribución como goteros, tuberías perforadas, constituyendo el riego por goteo. Así mismo incluye el método de aplicación de agua al suelo en forma de lluvia o rociado a través de emisores como aspersores y microaspersores, constituyendo el riego por Aspersión y Microaspersión respectivamente (Martín, 2004).

Las características principales de los sistemas de riego presurizado es la utilización de una fuente de presión, que puede provenir de una bomba, o por gravedad es decir por diferencia de elevación topográfica; y la utilización de una red de tuberías de conducción y distribución de agua a los puntos de emisión (Vergara, 2001).

2.1.1 Riego por aspersión

Según Martín et al. (2004), las ventajas del riego por aspersión se fundamentan principalmente en que el control del riego sólo está limitado por las condiciones climáticas y en que la uniformidad de aplicación del agua es independiente de las características del suelo.

a. Ventajas

- Alta eficiencia de aplicación del agua y uniformidad en su penetración en el perfil del suelo.
- Puede utilizarse prácticamente en suelos de cualquier pendiente, con peligro muy remoto de erosionar los suelos y sin necesidad de elevación.
- Puede ser usado prácticamente en todo tipo de suelos, en algunos de los cuales no debe utilizarse los métodos superficiales, tales como suelos de alta velocidad de infiltración, así como en suelos pocos profundos, en los cuales no se puede nivelar sin peligro que se elimine totalmente el horizonte superficial

- En la aplicación de agua para germinación de las semillas aventaja a los métodos superficiales, pues para obtener una germinación homogénea en el campo se requiere riegos muy suaves, muy difíciles de aplicar por los métodos superficiales comunes.
- Es más fácil el control de la lámina de riego, lo que permite regar mejor y satisfacer los requerimientos de lavado.
- Se puede aplicar junto con el riego fertilizantes líquidos o solubles y sustancias de uso fitosanitario.
- Es más fácil incorporarlo a plantaciones permanentes ya establecidas.

b. Limitaciones

- Su costo inicial comparativamente alto; esta es la limitación más importante del riego por aspersión.
- El viento puede distorsionar por completo la distribución del agua en el suelo e igualmente disminuir el agua que llega al suelo, lo que implica una baja eficiencia de riego. Asimismo, las pérdidas de agua por evaporación son mayores que en los métodos superficiales corrientes, pues en el riego por aspersión la lluvia sale bajo la forma de pequeñas gotas que, en conjunto, tienen una gran superficie.
- Algunas veces el riego por aspersión puede crear condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fungosas y reducir la efectividad de la aplicación de herbicidas e insecticidas, al ser estos lavados y transportados desde el follaje de los cultivos al suelo.
- El impacto de la lluvia en las flores puede, en algunas ocasiones, causar su caída y por lo tanto hacer que disminuyan los rendimientos.

2.1.2 Riego por goteo

Según Martín et al. (2004), el riego localizado ofrece numerosas ventajas fundamentadas principalmente en la aplicación del agua directamente en la zona más próxima a las raíces. Este sistema de riego también cuenta con algunos inconvenientes, de fácil solución si se lleva a cabo un adecuado manejo del mismo.

a. Ventajas

- Permite un uso eficiente y un ahorro de agua, ya que sólo se aplica en la zona de las raíces.
- Las pérdidas de agua por escorrentía, percolación y evaporación son mínimas, lo que se traduce en una elevada eficiencia de aplicación.
- Permite la aplicación de fertilizantes y algunos tratamientos químicos con el agua de riego.
- Permite un gran control del agua de riego y de los abonos aplicados.
- Dificulta la aparición de malas hierbas en la zona no humedecida.
- Al no mojar la parte aérea de las plantas disminuye el riesgo de determinados problemas sanitarios.
- Es un método muy adecuado en caso de disponer de presiones poco elevadas.
- Permite el uso de aguas salinas y depuradas.
- Permite la automatización.

b. Limitaciones

- Es un método que necesita una elevada inversión.
- Si no se maneja adecuadamente se pueden producir problemas de salinidad en la zona del bulbo húmedo.
- Requiere un elevado control y mantenimiento para su adecuado funcionamiento.
- Los emisores que utiliza se obturan con cierta facilidad.
- Puede ocasionar problemas de enraizamiento en árboles, si la frecuencia de riego no se maneja adecuadamente.

2.2 RELACIÓN SUELO – PLANTA - ATMÓSFERA

2.2.1 Propiedades físicas del suelo

a. Humedad del suelo

Según Tarjuelo (2005), el suelo está conformado por tres fases, sólida, líquida y gaseosa (*fig. N° 1*). El espacio no ocupado por la fase sólida son los poros del suelo donde normalmente hay aire o vapor de agua y solución acuosa en proporciones variables según el estado de humedad del suelo. Cuando los poros están llenos de la solución acuosa se

denomina *suelo saturado* y, si parte está ocupado por la fase gaseosa (aire o vapor de agua) se llama *suelo subsaturado*.

Así mismo el contenido de agua en el suelo se expresa en masa o volumen:

$$\text{Humedad gravimétrica } (\omega) = \frac{M_w}{M_s} = \frac{(M_{sh} - M_s)}{M_s}$$

$$\text{Humedad volumétrica } (\theta) = \frac{V_w}{V_t}$$

Siendo:

M_w: Masa de agua

M_s: Masa de suelo seco en equilibrio gravimétrico en estufa a 105° C

M_{sh}: Masa de suelo húmedo

V_w: Volumen de agua

V_t: Volumen total de suelo

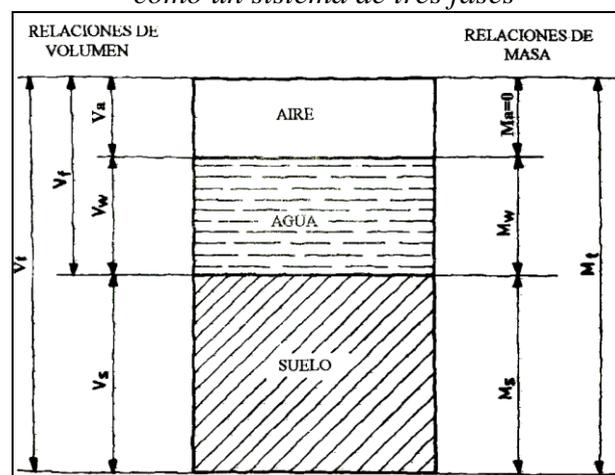
Así mismo Gurovich (2001) relaciona ambas humedades de la siguiente manera:

$$\theta = \omega * da$$

En donde:

da: densidad aparente

Figura 1: Diagrama esquemático del suelo como un sistema de tres fases



FUENTE: Tarjuelo (2005)

Según Tarjuelo (2005), en la técnica del riego es muy útil expresar el contenido de agua en el suelo en forma de altura de lámina de agua, y se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Lámina de agua (La)} = H_v * P_s$$

Siendo:

H_v : Humedad volumétrica

P_s : Profundidad del suelo

Las unidades más usadas para expresar el contenido de agua del suelo son el m^3/ha , mm y l/m^2 , la relación que existe entre las tres es la siguiente:

$$1mm = 10m^3/ha = 1L/m^2$$

El contenido de agua que tiene la estrata de suelo originalmente saturada luego que ha drenado libremente en el perfil hacia las estratas inferiores se conoce con el nombre de *Capacidad de Campo* (CC) (Gurovich, 2001). Tarjuelo (2005) indica que se alcanza dicho contenido de agua cuando, después de un riego abundante, ha drenado libremente durante dos o tres días para suelos arcillosos y un día para suelos arenosos.

Según Gurovich (2001), otro valor de contenido de agua que tiene importancia en la práctica de riego es el conocido como *Punto de Marchitez Permanente* (PMP), que corresponde al contenido de agua que tiene un suelo, bajo el cual las plantas no son capaces de absorber agua para las raíces.

El rango de contenidos de agua en el cual la planta puede desarrollarse; se encuentra entre los contenidos de agua correspondientes a CC y PMP; este rango se ha llamado *Humedad Aprovechable del suelo* (H.A.) y se expresa en porcentaje de agua o como lámina de agua (cm), a través de las siguientes ecuaciones:

$$H.A. = (CC - PM) * 100\%$$

$$H.A. = (CC - PM) * da * H \text{ (humedad expresada en peso)}$$

Siendo:

H: grosor del perfil del suelo considerado en cm.

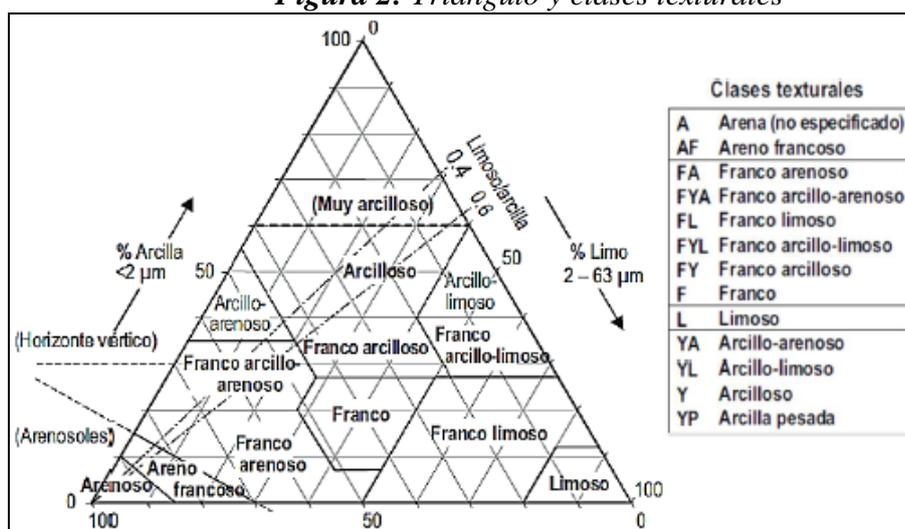
Para fines de programación de los riegos se dejará agotar una parte de la H.A antes del próximo riego; según Tarjuelo (2005) esta es denominada *Déficit Permisible de Manejo* (DPM), depende del cultivo y su fenología.

b. Textura y estructura

FAO (2009) define la textura del suelo como la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.

El triángulo de textura de suelos según la FAO (2009) se usa como una herramienta para clasificar la textura (*fig. N° 2*).

Figura 2: Triángulo y clases texturales



FUENTE: FAO (2009)

La partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño nombrados por peds. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas (FAO, 2009).

c. Densidad

La densidad real (d_r) es la relación de la masa de suelo seco y el volumen del material sólido. En la mayoría de suelos minerales está entre 2.5-2.7 g/cm³. Para fines prácticos se considera el valor de 2.65 g/cm³.

Gurovich (2001) define a la densidad aparente (d_a) como la relación entre la masa de partículas del suelo después que han sido secadas y el volumen total del suelo, que incluye las partículas y poros en conjunto. Se calcula de la siguiente manera:

$$d_a = M_s/V_t$$

Donde:

M_s : Masa de suelo seco (gr)

V_t : Volumen total del suelo (cm³)

2.2.2 Infiltración

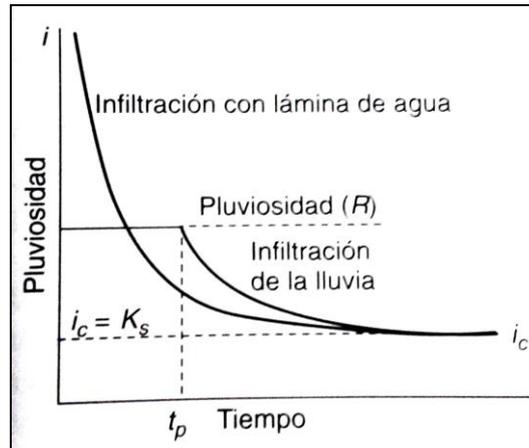
Tarjuelo (2005) señala que es un proceso de entrada de agua en el suelo, teniendo gran importancia durante la ejecución del riego.

Se le llama infiltrabilidad (i) a la velocidad o tasa de infiltración i cuando está sólo limitada por factores de suelo (otros factores serían las ranuras producidas por los gusanos, heladas, etc.). Normalmente se mide en mm/h, y limita el ritmo de aplicación de agua al terreno para que no haya escorrentía.

La infiltración depende principalmente:

- Del tiempo de infiltración.
- Del contenido inicial de agua en el suelo y de la historia del humedecimiento previo.
- De la conductividad hidráulica saturada (estrechamente relacionada con la velocidad de infiltración estabilizada).
- Del estado de la superficie del suelo y de los cambios que experimenta durante los riegos sucesivos y demás labores de cultivo
- Del aire atrapado durante el riego.

Figura 3: Variación de la infiltrabilidad con el tiempo y para una pluviosidad en riego por aspersión



FUENTE: Tarjuelo (2005)

Según Tarjuelo (2005), considerando una columna homogénea y suficientemente profunda de suelo bajo una lámina de agua de altura constante, la i disminuye con el tiempo (fig. N° 3) y, si es lo suficientemente largo, la i tiende a un valor constante i_c (cuadro N° 1). Generalmente se supone que $i_c = K_0$ (conductividad eléctrica saturada), pero realmente puede ser algo menor debido al aire atrapado, siendo en la mayoría de casos aproximada mejor por K_s , conductividad eléctrica en saturación con aire residual.

La i es mayor a bajos contenidos de humedad por el mayor gradiente hidráulico y por existir mayor volumen de almacenamiento disponible.

La i tiende a incrementarse cuanto más gruesa es la textura, ya que ésta condiciona la porosidad total y la distribución de poros, pero también varía con la estructura al condicionar los macroporos y algunas condiciones superficiales como el sellado y encostramiento.

Cuando la pluviosidad aumenta, la velocidad de infiltración disminuye.

Cuadro 1. Velocidad de infiltración estabilizada o constante

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración estabilizada (mm/h)
Arenoso	30
Franco arenoso	20-30
Franco	10-20
Franco arcilloso	5-10

«continuación»

Arcilloso	5
-----------	---

FUENTE: Tarjuelo (2005)

2.2.3 Evapotranspiración

Es la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa desde la superficie del suelo, más aquella cantidad de agua que se reintegra a la atmósfera debido a la evaporación del agua (lluvia o riego) que intercepta la superficie foliar de la planta (Gurovich, 2001).

La evaporación es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor (habría que añadir la sublimación-sólido a vapor-desde la nieve y el hielo).

Se produce evaporación desde:

- a) La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación.
- b) Desde las superficies del agua (ríos, lagos y embalses)
- c) Desde el suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo. Puede tratarse de agua recién infiltrada o, en áreas de descarga, de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido en el subsuelo.

La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera. Toman agua del suelo a través de sus raíces, toman una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran.

Como son difíciles de medir por separado, y además en la mayor parte de los casos interesa la cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera sea del modo que sea, se consideran conjuntamente bajo el concepto mixto de ET.

a. Factores que afectan la Evapotranspiración

El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración.

- **VARIABLES CLIMÁTICAS**

Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

- **FACTORES DEL CULTIVO**

El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas.

- **MANEJO Y CONDICIONES AMBIENTALES**

Los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades o parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración. Otros factores que se deben considerar al evaluar la ET son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua en el suelo.

- b. Evapotranspiración potencial (ET_0)**

Término introducido inicialmente por Thornthwaite (1948) para designar la combinación de evaporación y transpiración del agua por las plantas. Es la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su máximo uso por las plantas, o sea un cultivo hipotético en el cual solamente el clima determina la velocidad de la evapotranspiración.

- c. Método FAO Penman - Monteith para el cálculo de la ET_0**

FAO (2006) establece como un método para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_0). Fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. La determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_0) se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T} + 273 \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

ET_0 : evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})

R_n : radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

R_a : radiación extraterrestre (mm día^{-1})

G : flujo del calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

T : temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)

u_2 : velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1})

e_s : presión de vapor de saturación (KPa)

e_a : presión real de vapor (KPa)

$e_s - e_a$: déficit de presión de vapor (KPa)

Δ : pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Γ : constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

La 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.

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. El factor K_c representa el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos y la definición de cultivo de referencia.

d. Coeficiente de jardín

Según la Universidad de California y el Departamento de Recursos Hídricos de California (2000), en jardines a diferencia de cultivos agrícolas, se trabaja con coeficiente de jardín (K_j) que se basa en una evaluación de las especies plantas, la densidad de vegetación, microclimas existentes y que se utilizará para el cálculo de la evapotranspiración (ET) en lugar del coeficiente de cultivo tradicional (*Fig. N° 4*).

Figura 4: Variabilidad de especies en un jardín



FUENTE: Martín (2004)

En jardinería lo que se pretende es *mantener los jardines con una estética aceptable*. Por tanto, no se puede afirmar que el K_j sea un coeficiente de cultivo adaptado a jardines, sino que se trata de un coeficiente para calcular, de forma aproximada, las necesidades de agua que permitan mantener la estética, teniendo en cuenta una serie de parámetros propios de los jardines. El coeficiente de jardín se calcula de la siguiente forma:

$$K_j = K_e * K_d * K_m$$

Donde:

K_e : Coeficiente de especie

K_d : Coeficiente de densidad

K_m : Coeficiente de microclima

- **Coeficiente de especie (K_e)**

Según la Universidad de California y el Departamento de Recursos Hídricos de California (2000), la variedad de plantas que normalmente se encuentra en un jardín dificulta el cálculo de las necesidades hídricas. Para simplificar estos cálculos y poder aplicar el agua necesaria a cada tipo de planta, lo ideal sería agrupar las especies se pueden agrupar según necesidades de riego similares en zonas de riego comunes o *hidrozonas*, que se podrían regar de forma independiente, logrando así un uso más eficiente del agua. De esta forma la estética final del jardín estaría determinada por estas hidrozonas, es decir, se planificaría y distribuiría el riego para lograr un conjunto de plantas con buena apariencia y agradable a la vista, utilizando la mínima cantidad de agua necesaria.

El valor de este coeficiente es clave para la determinación del coeficiente del jardín, sin embargo no existe una lista normalizada de valores de K_e , por lo que en numerosas ocasiones los profesionales de la jardinería deberán recurrir a su propio criterio y experiencia para establecer el valor de dicho coeficiente. En la *cuadro N° 2* se indica valores de coeficiente de especies de acuerdo al tipo de cultivo, donde a: alto, m: medio y b: bajo.

Cuadro 2: Coeficiente de especies por tipo de vegetación

Tipo de vegetación	Coeficiente de especies (K_e)		
	Alto (a)	Medio (m)	Bajo (b)
Árboles	0.9	0.5	0.2
Arbustos	0.7	0.5	0.2
Tapizantes	0.7	0.5	0.2
Plantación mixta	0.9	0.5	0.2
Césped	0.8	0.7	0.6

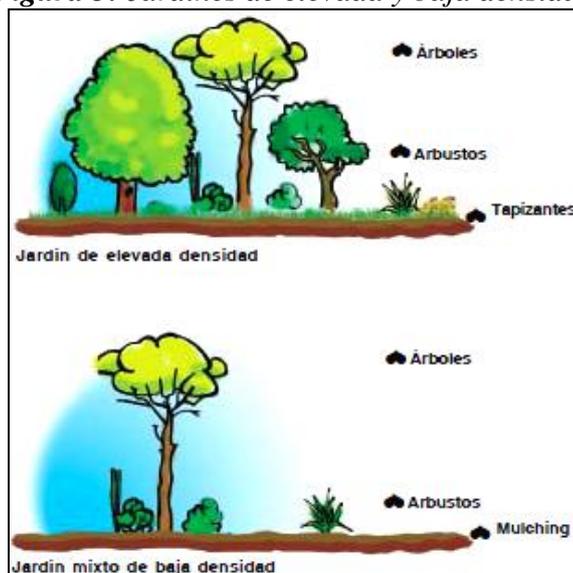
FUENTE: Fernández (2011)

Según Martín et al. (2004), en el manual de riego en jardines presentan la relación de algunas especies con sus valores de coeficiente de especies.

- **Coeficiente de densidad (K_d)**

De acuerdo a la Universidad de California y el Departamento de Recursos Hídricos de California (2000), *los jardines difieren considerablemente en cuanto a sus densidades de vegetación*. Los recién instalados o aquellos con plantas espaciadas tienen en general menor superficie foliar que los jardines maduros o densos. Las pérdidas de agua en un jardín denso son mayores que en uno de baja densidad, a pesar de que las plantas individuales en un jardín espaciado puedan perder más cantidad de agua para una superficie foliar determinada.

Figura 5: Jardines de elevada y baja densidad



FUENTE: Martín (2004)

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. En el cuadro N° 3 se muestran valores de este coeficiente de acuerdo al tipo de cultivo, donde: a: alto, m: medio y b: bajo.

Cuadro 3: Coeficiente de densidad 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
Plantación mixta	1.1	1.1	0.6
Césped	1.0	1.0	0.6

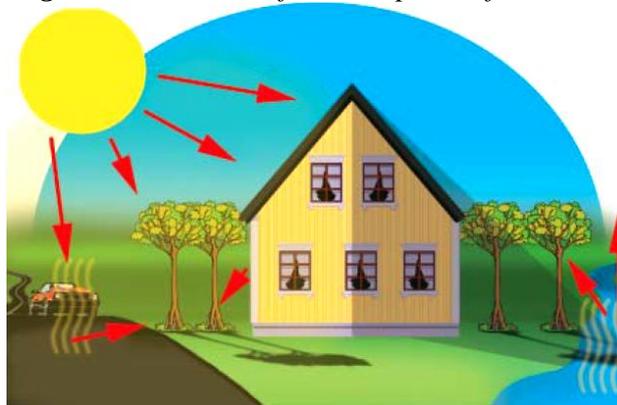
FUENTE: Martín (2004)

En la cuadro N° 3, los valores para árboles, arbustos y plantas tapizantes son adecuados para jardines que contienen solamente o predominantemente uno de estos tipos de vegetación. Las plantaciones mixtas están formadas por dos o tres tipos distintos de vegetación (árboles, arbustos o tapizantes). En esta clasificación se asume que no existe superficie descubierta en el jardín. Si no es así, Kd se debe aumentar entre un 10 y un 20%, especialmente para árboles y arbustos.

- **Coefficiente de microclima (Km)**

De acuerdo a la Universidad de California y el Departamento de Recursos Hídricos de California (2000), la pérdida global de agua en un jardín también se ve afectada por las condiciones ambientales del mismo. Las zonas con distintas condiciones ambientales dentro de una misma zona climática se denominan microclimas. Las edificaciones o pavimentación típica de los jardines urbanos pueden influir sobre las condiciones naturales del jardín. Así, por ejemplo, los jardines de las zonas de aparcamiento están sometidos a mayor temperatura y menor humedad que los jardines de los parques.

Figura 6: Jardines afectados por edificaciones



FUENTE: Martín (2004)

El coeficiente microclima (Km) se utiliza para tener en cuenta las diferencias ambientales al calcular el coeficiente del jardín, y es relativamente fácil de calcular. Una *condición microclimática media* ($Km = 1,0$) es aquella en la que las estructuras, edificaciones, etc. no influyen en el microclima del jardín.

En las “*altas*”, (Km entre 1,0 y 1,4) las condiciones externas aumentan la evaporación de la zona de riego. Esto suele ocurrir en jardines rodeados de edificaciones que absorben y ceden calor, al tiempo que impiden que parte de la radiación neta se disipe. En estos casos, el jardín recibe una radiación y una energía extra procedente de las construcciones que lo rodean, que hará aumentar su temperatura y por tanto la tasa de evaporación que se produzca será superior a la de un jardín que no esté expuesto a estas condiciones.

Por el contrario, en las condiciones microclimáticas “*bajas*” (Km entre 0,5 y 1,0) la influencia externa hará disminuir la evaporación.

Cuadro 4: Coeficiente de microclimas por tipo de vegetación

Tipo de vegetación	Coeficiente de densidad (Kd)		
	a	m	b
Árboles	1.4	1.0	0.5
Arbustos	1.3	1.0	0.5
Tapizantes	1.2	1.0	0.5
Plantación mixta	1.4	1.0	0.5
Césped	1.2	1.0	0.8

FUENTE: Martín (2004)

e. Evapotranspiración del área verde (ETav)

Para cultivos agrícolas, la evapotranspiración del cultivo se calcula mediante la ecuación de FAO (Allen et al., 1998):

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

Donde:

ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ET₀: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

K_c: Coeficiente del cultivo (adimensional)

Gurovich (2001) señala que la ecuación anterior se cumple para un cultivo libre de enfermedades, que crece en una superficie superior a una hectárea, en condiciones óptimas de humedad y fertilidad del suelo, de manera que alcance su rendimiento potencial en el ambiente en que se está desarrollando.

Según la Universidad de California y el Departamento de Recursos Hídricos de California (2000), para parques y jardines se sigue la misma metodología anterior, pero para cada hidrozona. Por lo tanto la cantidad de agua perdida por un jardín a causa de la evapotranspiración varía en función de la especie plantada, la densidad de la vegetación y las condiciones microclimáticas. La evapotranspiración del jardín se determina mediante el coeficiente de jardín (K_j) que es una aproximación de la cantidad de agua necesaria para cierta estética en un jardín y es producto de tres factores: Factor o coeficiente de especie, factor de densidad y factor de microclima.

$$ET_{av} = ET_0 * K_j$$

Donde:

ETav: Evapotranspiración del área verde

ET₀: Evapotranspiración de referencia

K_j: Coeficiente de jardín (adimensional)

2.3 DISEÑO AGRONÓMICO

Según De los Ángeles (2000), se evalúan todos los datos necesarios para que la instalación de riego sea capaz de suministrar con eficiencia óptima el agua a los cultivos en periodos de máximas necesidades, consiguiendo humedecer el volumen del suelo suficiente para un desarrollo eficiente de las raíces y un efectivo control de sales.

Se debe calcular los siguientes parámetros:

2.3.1 Necesidad neta (Nn)

Según Tarjuelo (2005), la necesidad neta de agua por los cultivos se obtiene al descontar a la evapotranspiración del cultivo (ETc), el aporte de las precipitaciones efectivas y por ascenso capilar desde una eventual napa freática. Solo se considera la ETc cuando no existe precipitación o lluvia efectiva ni ascenso capilar. Se expresa en mm/día y se determina para el mes de máxima demanda hídrica.

Pizarro (1996) indica que aunque en el mes de máximas necesidades, se produzca cierta lluvia que dé lugar a una precipitación efectiva, esta no debe tenerse en cuenta. Dada la alta frecuencia de riego (a veces diaria), es improbable que siempre ocurra una lluvia en el intervalo entre dos riegos. Por lo tanto, en la mayoría de los casos se cumplirá.

$$Nn = ETav$$

Donde:

Nn: Necesidad neta

ETav: Evapotranspiración del área verde

2.3.2 Parámetros de riego

a. Lámina neta (Ln)

Tarjuelo (2005) lo define como el aporte de humedad al suelo para satisfacer las necesidades de la planta por un tiempo determinado y normalmente se expresa en mm o m³/ha. Su valor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Ln(mm) = H.A * DPM * P$$

Donde:

H.A = Humedad aprovechable del suelo expresado en mm.

DPM = % de la H.A que se deja extraer al cultivo entre dos riegos, de manera que se produzca el mejor balance económico (varía entre 0.2 y 0.8 dependiendo del cultivo, fenología, evapotranspiración y del objetivo del riego)

P: Porcentaje mínimo de suelo mojado

Según Martín et al. (2004), el valor del porcentaje de suelo mojado se puede estimar en función de la densidad de las plantas a regar, del clima de la zona y del tipo de suelo. Los valores orientativos son los siguientes:

- Vegetación poco densa: 25-35%.
- Vegetación con densidad media: 40-60%.
- Vegetación muy densa: 70-90%.

Aumenta su valor a medida que el clima es más árido y cuanto más ligera (arenosa) sea la textura del suelo.

b. Necesidad de lavado

Tarjuelo (2005) lo define como un parámetro que sirve para provocar el lavado de los posibles excesos de sales que pueda contener el agua utilizada en el riego del cultivo. A la relación entre las necesidades de lavado y el agua total a aplicar en un riego completamente uniforme, se le denomina *fracción de lavado (RL)*.

Para determinar la fracción de lavado, se debe tomar en cuenta la conductividad eléctrica del agua de riego (CEa) y la tolerancia de la planta o cultivo a la salinidad. Por lo tanto, una agua podrá ser empleada para el riego de un determinado cultivo si, a través de la

fracción de lavado, se ejerce un control de las sales en la solución del suelo que asegure una conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CEe) media en la zona de raíces que permita a la planta o cultivo alcanzar el objetivo perseguido. Se calcula con las siguientes ecuaciones:

- **Riego por superficie**

$$RL = \frac{CEa}{5CEe - CEa}$$

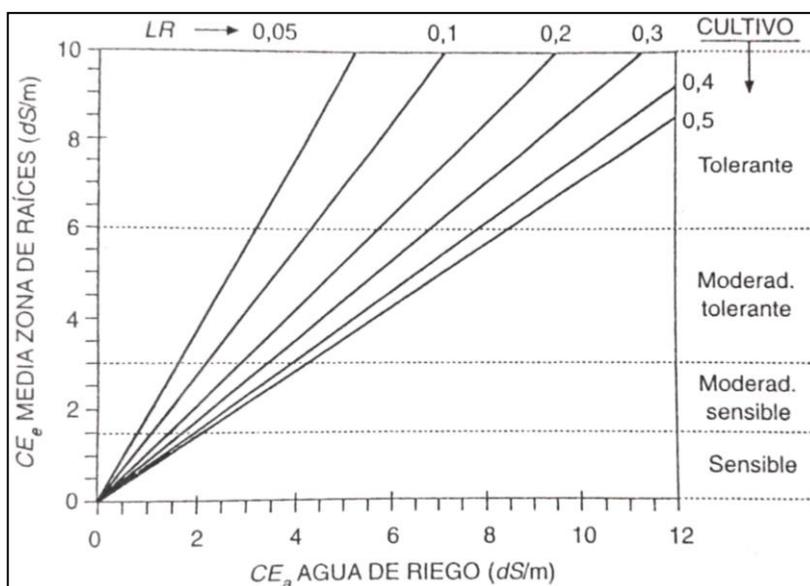
Donde:

CEa: Conductividad eléctrica del agua de riego

CEe: Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo

- **Riego por goteo**

Figura 7: Nomograma de fracción de lavado, CE media en zona de raíces y CE del agua de riego (a 25°C) para riego de alta frecuencia



FUENTE: Tarjuelo (2005)

Tarjuelo (2005) señala que en función de la *CEe*, prefijada de acuerdo con los umbrales de sensibilidad del cultivo y del objetivo productivo, y de la calidad del agua de riego, expresada como conductividad eléctrica, se determina la fracción de lavado (*fig. N° 7*).

Martín et al. (2004) señala valores de tolerancia de plantas ornamentales a la salinidad en el manual de riego para jardines. También la *Southern California Salinity Coalition* (Coalición del Sur de California para la Salinidad) y *National Water Research Institute* (Instituto Nacional de Investigación del Agua) (2008) de California presentan información en la *Salt Management Guide for Landscape Irrigation with Recycled Water in Coastal Southern California* sobre clasificación de plantas ornamentales de acuerdo a la tolerancia a salinidad, según la clasificación de Miyamoto et al. (2004), (*cuadro N° 5*).

Cuadro 5: Escala de clasificación de plantas por su tolerancia a salinidad

CLASIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Tolerante	Sin daños cuando la salinidad del suelo, según la <i>CEe</i> , es de 8-10 dS/m
Moderadamente tolerante	Sin daños en las hojas cuando la salinidad del suelo, según la <i>CEe</i> , es de 6-8 dS/m
Moderadamente sensible	Daños mínimos en las hojas cuando la salinidad del suelo, según la <i>CEe</i> , es de 3-6 dS/m
Sensible	Daños mínimos en las hojas cuando la salinidad del suelo, según la <i>CEe</i> , es menos de 3 dS/m

FUENTE: Kenneth et al. (2008)

Por último, el *United States Department of Agriculture* (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) proporciona información de valores de tolerancia de plantas a la salinidad.

c. Eficiencia de riego (*Er*)

Tarjuelo (2005) define la eficiencia de riego como el porcentaje de agua bruta aplicada que es aprovechada para satisfacer las necesidades del cultivo y las de lavado.

La eficiencia de riego es difícil de cuantificar, por lo que a efectos de diseño suele utilizarse el concepto de *eficiencia general de aplicación* (*Ea*) definida como la relación entre el objetivo de riego (*Ln*) y el agua total que es necesario bombear para tal fin (*Lb*).

Para *riego por aspersión* la *Ea* debe incluir los efectos de las pérdidas debidas a: falta de uniformidad en la aplicación, percolación profunda, evaporación, arrastre por viento y fugas en tuberías.

El valor de la *Ea* depende del método de riego, se puede considerar que utilizando riego localizado es de 85 – 90%, en riego por aspersión este porcentaje desciende hasta un 70 – 80%, y en superficie hasta aproximadamente un 60%. Los valores de esta eficiencia dependerá del manejo del riego (Medina, 2000).

García y Briones (2009) señalan que la eficiencia de aplicación debe ser asumida en sistema de riego por aspersión. Una forma práctica de asignarle un valor es propuesta por Fry y Gray (1971), la cual considera la *Ea* en función del clima de la zona (*cuadro N° 6*).

Cuadro 6: *Valores de eficiencia de aplicación en sistema de riego por aspersión*

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

FUENTE: García y Briones (2009)

d. Lámina bruta (Lb)

Al considerarse las pérdidas inevitables en el proceso de aplicación de agua (evaporación, escorrentía y percolación profunda) y las necesidades de lavado, conduciría a que la lámina bruta (Lb) se calcule mediante las siguientes expresiones:

- **Riego por aspersión**

$$Lb = \frac{Ln}{Ea} \text{ si } RL < 0.1$$

$$Lb = \frac{0.9 * Ln}{Ea * (1 - RL)} \text{ si } RL > 0.1$$

Siendo:

Ln: Dosis neta

Ea: Eficiencia general de aplicación

RL: Fracción de Lavado

El 0.9 se incluye para tener en cuenta las pérdidas inevitables por percolación al considerarse que satisfacen el 10 por ciento de las necesidades de lavado.

- **Riego por goteo**

$$Lb = \frac{Ln}{Ea} \text{ si } Ea < (1 - RL)$$

$$Lb = \frac{Ln}{(1 - RL)} \text{ si } Ea > (1 - RL)$$

Donde:

Ln: Lámina neta

Ea: Eficiencia de aplicación

RL: Requerimiento de lixiviación

- e. Intervalo de riego (I)**

Se determina mediante la expresión:

$$I \text{ (días)} = \frac{Ln}{ET_{av}}$$

Según Tarjuelo (2005), para fines de diseño del sistema, las necesidades netas (Nn) de riego son prácticamente iguales a la evapotranspiración del cultivo, de tal forma que se establece el *menor intervalo de riego* para el cultivo.

Razuri (1988) indica que si la lámina de riego no es un número entero, se redondea al inmediato inferior.

- f. Elección del emisor**

- **Riego por aspersión**

Según Vyrsa (2015), se deben seguir los siguientes pasos al hacer la elección de los aspersores o rociadores:

- La pluviometría del aspersor debe ser menor que la permeabilidad máxima del suelo o la infiltración básica.
- La cantidad máxima de agua que el suelo es capaz de absorber en una hora según su textura.
- La distancia recomendada entre aspersores calculada a partir del diámetro regado.
- Un aspersor no distribuye el agua de manera uniforme, recibiendo más agua la zona próxima al aspersor y menos agua a medida que se aleja de aquel. De ahí, cuando se riega en bloque, es necesario solapar una parte de las áreas regadas para lograr una mayor uniformidad del reparto.
- Manejo del riego.

Según Martín et al. (2004), una buena elección y distribución de los emisores hará que nuestra instalación sea *económica y eficaz*, es decir, se debe buscar la solución más económica de las que cumplan con las necesidades demandadas por las plantas.

Existen emisores de riego por aspersión especializados para para distintos tipos de aplicaciones tales como los aspersores y los difusores. A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de estos:

Aspersores

Los aspersores, se caracterizan por distribuir el agua de riego 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 del agua y del tipo de boquilla.

La clasificación de los aspersores puede realizarse en función de diferentes características de los mismos. Así, según el *mecanismo de giro del aspersor* se pueden clasificar en:

- **Aspersores de impacto**

Son aquellos en los que el mecanismo de giro se consigue mediante el impulso del chorro sobre un brazo oscilante, que se desplaza y vuelve a su posición original por la acción de un muelle. Al recuperar su posición original, el brazo golpea el cuerpo del aspersor

provocándole un ligero giro. Pueden disponer de una o varias boquillas, en cuyo caso la que produce el chorro que incide sobre el brazo oscilante, se denomina boquilla motriz.

Este tipo de aspersor es adecuado para regar zonas amplias, ya que permite regar a una distancia de 10 a 12 metros. Este tipo de aspersor lanza un chorro de agua que va girando para cubrir la zona que debe regar. Para regular el ángulo en que gira, cuenta con dos topes, los cuales pueden ser ajustados para operar en distintos ángulos.

Figura 8: *Aspersor de impacto*



FUENTE: Martín (2004)

- **Aspersores de turbina**

Realizan un *giro continuo* gracias al paso del agua a través de un mecanismo de engranajes, unido al cuerpo del emisor. El giro continuo de estos aspersores hace que se consiga una distribución del agua más uniforme que con los de impacto. A pesar de tener un precio más elevado que los aspersores de impacto su uso está mucho más extendido para el riego de jardines.

Figura 9: *Aspersor de turbina*



FUENTE: Martín (2004)

Ambos tipos de aspersores se comercializan de tipo aéreo y emergente, siendo estos últimos los más utilizados.

Según la *forma de colocar el aspersor en el terreno* de riego, éstos pueden ser:

- **Aspersores aéreos**, se colocan sobre tubos porta aspersores o sobre patines. Apenas se utilizan en jardinería.

Figura 10: Aspersor de impacto aéreo



FUENTE: Martín (2004)

- **Aspersores emergentes**, se instalan enterrados y cubiertos por un protector metálico o de plástico, de forma que cuando comienza el riego, emergen debido a la presión del agua. Son muy utilizados en riego de jardines, ya que no son visibles.

Figura 11: Aspersores de turbina emergentes



FUENTE: Martín (2004)

Difusores

Los difusores, igual que los aspersores distribuyen el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo, cubriendo sectores circulares que pueden llegar hasta los 360°. Se diferencian de los aspersores en varios aspectos:

- El principal es que carecen de elementos móviles.
- Necesitan una menor presión para su funcionamiento.
- Suelen arrojar una cantidad mayor de agua por metro cuadrado regado.
- El radio de alcance es menor.

Como los aspersores, se suelen clasificar según su colocación sobre la zona de riego en emergentes y aéreos.

La posibilidad de intercambiar boquillas en este tipo de emisores, permite una gran versatilidad desde la pluviometría a las formas de distribución adaptables a geometrías muy variables. Los modelos con varias boquillas incorporadas mejoran sensiblemente el rendimiento cuando las condiciones son cambiantes en el jardín.

Figura 12: Difusor en operación



FUENTE: Martín (2004)

- **Riego por goteo**

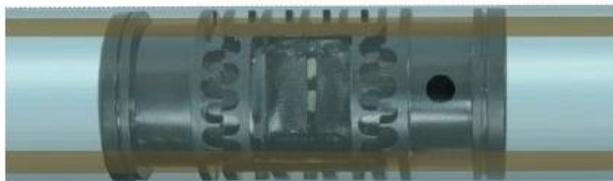
Según Martín et al. (2004), los goteros son los emisores de riego localizado más utilizados. Se trata de emisores de bajo caudal que, en condiciones normales aplican hasta 16 litros por hora y trabajan a presiones próximas a 1 Kg/cm². Se fabrican de materiales plásticos y se caracterizan por disipar la presión del agua en su interior, de forma que cuando llega al orificio de salida, esta sale gota a gota. La pérdida de presión se consigue haciendo pasar el

agua por una serie de conductos ondulados y sinuosos, como un laberinto, que recorren el interior del gotero.

Según la forma en que se encuentran colocados en las tuberías laterales los goteros pueden ser:

- **Interlínea o insertados:** se instalan cortando la tubería e insertando el gotero.
- **Pinchados:** se insertan en un agujero previamente realizado a la tubería.
- **Integrados:** se ensamblan en la tubería durante el proceso durante el proceso de fabricación de la misma.

Figura 13: Tubería con gotero integrado



FUENTE: Martín (2004)

Según las variaciones que se produzcan en el caudal emitido por la presión de trabajo de los goteros, pueden ser:

- **No compensante:** el caudal cambia al variar la presión (a más presión más caudal)
- **Autocompensante:** dentro de unos límites de presión, facilitados por el fabricante, el caudal apenas cambia. El intervalo de presiones para que el gotero sea compensante se conoce como intervalo de compensación.

Los goteros que más se utilizan en jardinería son los integrados en la tubería, y la interlínea; los pinchados se utilizan menos.

g. Tiempo de riego (T_r)

El tiempo de riego que se utilice para el diseño hidráulico de la instalación será el necesario para el período en que las necesidades de agua sean máximas y se calcula dependiendo del sistema de riego.

- **Riego por aspersión**

Según Tarjuelo (2005), este depende de la lámina bruta (Lb) de agua que se pretenda aplicar y de la precipitación media del sistema (Pms) y, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Tr(h) = \frac{Lbajus}{Pm}$$

Donde:

Lbajus: Lámina bruta ajustada (mm)

Pms: Precipitación media del sistema (mm/h)

- **Para riego por goteo**

Según Tarjuelo (2005), el tiempo de riego dependerá de la lámina bruta de la especie a regar y del caudal de los emisores seleccionados. Esta variable se calcula de forma general según la siguiente expresión:

$$Tr(h) = \frac{Lbajus}{Nro. emisores\ por\ m^2 * q}$$

Donde:

Lbajus: Lámina bruta ajustada (mm)

q: caudal del emisor (l/h)

2.3.3 Disposición de emisores

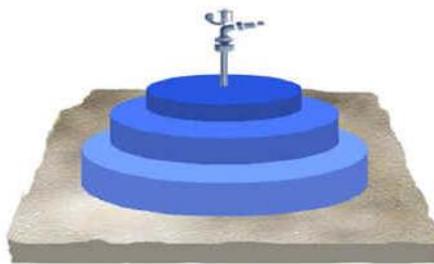
a. **Riego por aspersión**

Según Jahnke (2013), la ubicación de los aspersores, es un apartado de suma importancia, en el momento de proyectar un riego a fin de obtener una óptima y regular distribución del agua en la superficie a regar. Se deberá tener una especial atención para asegurarse de que toda la superficie a regar queda efectivamente cubierta. Las áreas irregulares, presencia de árboles, arbustos etc., imponen un ajuste en la ubicación de los aspersores, generando figuras geométricas irregulares. Por este motivo es necesario actuar con un poco de subjetividad a la hora de ubicar los aspersores y de escoger la separación adecuada entre ellos, respetando al máximo posible las distancias marcadas por las características dadas por el fabricante.

Según Martín et al. (2004), se debe tomar cuidado que el reparto de agua esté en función de la presión de salida en la boquilla del emisor y las distancias de los radios de cobertura de riego, se distribuirá los rociadores en todas las zonas a regar, además se debe considerar el porcentaje de solapamiento entre emisor y emisor.

Cuando el aspersor está en funcionamiento el área más cercana a este es donde llega más chorro que cuando el radio de riego se va alejando (*fig. N° 14*).

Figura 14: Radio de riego

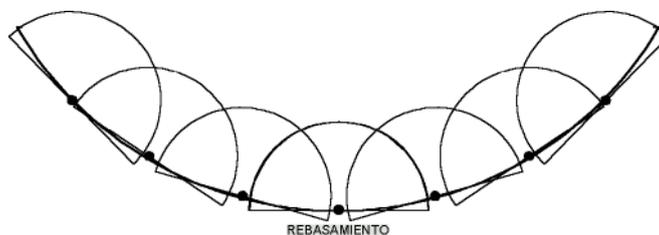


FUENTE: Martín (2004)

En *riego por aspersión*, basándonos que es una instalación fija, el solape o recubrimiento debe ser del 100 por ciento; esto significa que un aparato moje a otro. Se debe tomar en cuenta las zonas curvas que también van hacer regadas, se considerarán:

- **Interior de las curvas**, se dispondrán aparatos de riego sectoriales admitiendo un pequeño rebasamiento.

Figura 15: Disposición de emisores en interior de curva

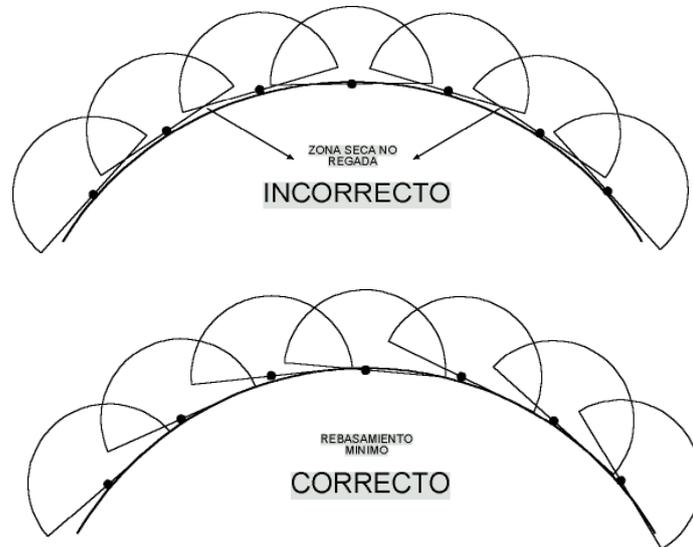


FUENTE: Martín (2004)

- **Exterior de las curvas**, cuando el arco de riego es de 180° y no se puede regular, se presentan dos casos, la primera representa lo que no debe hacerse, pues quedan zonas

sin regar, y en la segunda aunque no solapa del todo, también quedan zonas sin regar, pero ya es mínimo.

Figura 16: Disposición de emisores en exterior de curvas



FUENTE: Martín (2004)

b. Riego por goteo

Martín et al. (2004) señala que en *riego localizado*, el número y disposición de los emisores dependerá del porcentaje de suelo mojado, de su textura y del tipo de planta, así como de su marco de plantación. En este sentido, los emisores pueden disponerse para formar una *banda continua de humedad*, o bien un *bulbo húmedo* alrededor de la planta.

La disposición de los emisores para formar *bandas continuas de humedad* suele emplearse para elevada densidad de plantas, en las que se desea conseguir un alto porcentaje de suelo mojado, como es el caso de setos, macizos o parterres de *flores*. En este tipo de disposición es fundamental que se produzca un *solape* de los bulbos húmedos, para conseguir el efecto de continuidad deseado y evitar que queden plantas entre dos bulbos húmedos donde existe mayor salinidad y menor humedad. García y Briones (2009) señalan que el 50 por ciento tenderá comúnmente a humedecer el 90 por ciento de la franja de suelo, el cual es satisfactorio.

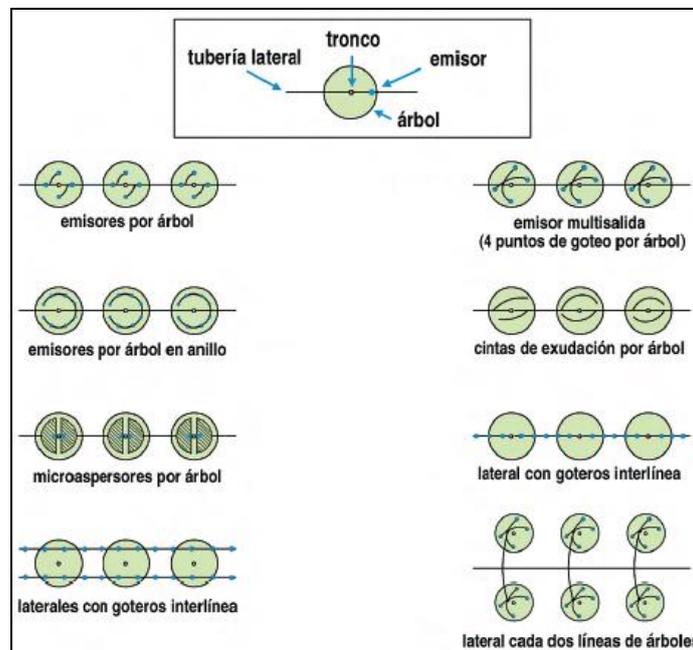
La *disposición del riego* puede ser de una tubería lateral por cada línea de plantas o una tubería lateral por cada dos filas de plantas, entre otros; en muchas ocasiones se recurre a

este último para reducir costos y facilitar las labores de mantenimiento del jardín, siempre que el tipo de suelo lo permita.

La disposición de emisores para formar *bulbos húmedos* en la zona próxima a las raíces de las plantas se utiliza en densidad de plantas baja o media, que generalmente coincide con *árboles*.

En el caso de riego de árboles, para evitar pérdidas por evaporación, conviene situar los emisores bajo la copa de los mismos. De igual forma, para disminuir las pérdidas por filtración profunda y aumentar así la eficiencia del sistema, es conveniente instalar más de un emisor por árbol, un número tal que no suponga un incremento notable en los costos de la instalación, pero siempre teniendo en cuenta que para un mismo porcentaje de suelo mojado “P”, en suelos sueltos (arenosos) se necesitará un mayor número de emisores que para un suelo pesado (arcilloso). Por otra parte, la *disposición de los emisores en los árboles*, debe favorecer el anclaje de las raíces y permitir su desarrollo en todas direcciones, garantizando un buen soporte (*fig. N° 17*).

Figura 17: Disposiciones frecuentes de emisores de riego localizado en árboles



FUENTE: Martín (2004)

2.4 DISEÑO HIDRÁULICO PARA ASPERSIÓN

2.4.1 Consideraciones preliminares

Según Martín et al. (2004), como se implementará riego tecnificado a las áreas verdes para un jardín, se deberá reconocer primordialmente la forma geométrica de cada zona a regar según el diseño arquitectónico, se tomará en cuenta los siguientes elementos:

- Plano a escala del conjunto.
- Posicionar la casa, los pasos, las terrazas. Fijarnos si hay espacios en el jardín interrumpidos por zonas de hormigón o cemento, y si se ha previsto el paso de la tubería con el correspondiente tubo pasante.
- Indicar las zonas a regar, y las que no deben ser regadas. Anotar los tipos de plantas.
- Intentar tener una indicación del tipo de suelo (si cuando llueve el agua queda en la superficie y forma un charco, el terreno muy posiblemente será arcilloso)
- Determinar la fuente hídrica, se deberá realizar un análisis del agua.
- Marcar los pasos de tubería. Dibujar en el plano las líneas por donde puede pasar alguna tubería ya existente con el fin de no romperla cuando tengamos que realizar la zanja para nuestra instalación.
- El desnivel topográfico, y reconocer también si existirán taludes dentro de la zona de riego.
- Dirección y fuerza del viento.
- Marcar las plantas existentes. Poner en el plano las plantas que hay en el jardín, o las que formen parte del futuro diseño, para realizar una mejor distribución de los emisores y evitar que nos formen zonas de sombra que no nos permitan regar toda la parcela.

2.4.2 Sectorización del riego

Según Martín et al. (2004), en jardinería el motivo de dividir el área regable en sectores es la falta de caudal, ya que normalmente el caudal del que disponemos no permite que todos los emisores funcionen al mismo tiempo. El número de sectores de riego debe ser el mínimo posible ya que la independencia de cada sector implica la colocación de elementos de control (válvulas, cableado, etc.) en la cabecera de cada uno. Además un número elevado de sectores implica un mayor tiempo de riego.

Para averiguar el número de sectores en que debemos dividir nuestro jardín es sencillo y basta con saber el *caudal* y *la presión* demandados por la totalidad de los emisores proyectados.

$$S (\text{número de sectores}) = \text{caudal demandado} / \text{caudal disponible}$$

Según Jahnke (2013), en caso de salir un número decimal cogeríamos el entero inmediatamente superior, además esta operación se debe realizar por separado para los diferentes tipos de emisores ya que jamás deben mezclarse porque cada uno de ellos tienen pluviometrías distintas y trabajan a presiones distintas, y si los mezcláramos, como los emisores de un mismo sector y permanecen el mismo tiempo en funcionamiento, habrá un riego irregular del agua.

Según De la Fuente et al. (2013), los criterios de agrupación de emisores son los siguientes:

- ***Cada tipo de emisor se agrupa por separado***, no se pueden mezclar, debido a que tienen diferentes pluviometrías, por lo que si se agrupasen el riego no sería uniforme.
- ***Separación por hidrozonas***, zonas con diferentes necesidades hídricas no pueden regarse en el mismo sector.
- En la medida de lo posible se intentará ***no mezclar zonas con diferente cota (alturas)***, para evitar escorrentías. Es preferible el riego por curvas de nivel.
- En la medida de lo posible hay que ***evitar mezclar zonas con diferente insolación***, para ello es necesario conocer la orientación de la parcela a fin de evitar mezclar zonas de pleno sol con zonas de sombra.
- ***Construcciones y cambios que impiden la conexión de dos zonas***, son motivo para la división de un sector. Un camino sin pasatubos puede determinar que se tenga que hacer otro sector para esa zona inaccesible.
- La distribución de los sectores debe seguir ***criterios hidráulicos y económicos (reducir la longitud de tubería principal)*** potenciando siempre la uniformidad de riego.

2.4.3 Diseño de la tubería principal

Según De la Fuente et al. (2013), la tubería principal es la encargada de transportar el agua desde la toma de agua hasta los arcos de riego, esta tubería siempre está “en carga”, es decir, siempre tiene agua a presión (salvo en aquellos casos en los que se haya instalado una electroválvula maestra). Mientras no haya riego, tendrá que soportar la presión estática existente en la red.

Según Pittman (2003), una vez determinado el caudal que se va a conducir por zona o modulo a regar y la presión que se va a requerir para el funcionamiento del sistema de riego, se debe de dimensionar el diámetro y clase de la tubería.

Para determinar los *diámetros* se consideran diferentes soluciones y se estudian diversas alternativas desde el punto de vista económico. Considerando el máximo desnivel en toda la longitud del tramo, el diámetro seleccionado deberá tener la capacidad de conducir el gasto de diseño con velocidades comprendidas entre 0.6 y 3.0 m/s. El diámetro se obtiene de la ecuación de gasto o caudal (Q) y área (A). La ecuación para calcular el diámetro es:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

Donde:

D = diámetro (m)

Q = caudal o gasto (m³/s)

v = velocidad permisible (se considera 2 m/s)

Para determinar la *clase* de tubería, según Águila (2008), la clase de tubería a seleccionar estará en función a las máximas presiones que ocurran en la tuberías, se recomienda utilizar tuberías de PE liviano o de PVC ya que son materiales, que tienen ventajas comparativas con relación a otro tipo de tuberías por su flexibilidad, durabilidad, poco peso y de fácil transporte e instalación.

Cabe mencionar que los costos de las tuberías de un mismo material se incrementan en función de la clase, como consecuencia del mayor espesor, esto induce al proyectista a seleccionar cada clase, aprovechando al máximo la capacidad de trabajo y utilizando diversas clases cuando las condiciones de funcionamiento hidráulico del sistema de

abastecimiento de agua impongan presiones diferentes a lo largo del mismo. Es indudable que algunos casos ameritan el estudio de varias alternativas para obtener el mejor y más económico diseño.

A continuación en el siguiente cuadro se presentan las clases comerciales de tuberías PVC con sus respectivas cargas de presión:

Cuadro 7: Clase de tuberías

CLASE	PRESIÓN MÁXIMA DE PRUEBA(m)	PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO(m)
5	50	35
7.5	75	50
10	105	70
15	150	100

FUENTE: Pittman (2003)

2.4.4 Diseño de la tubería secundaria

Según De la Fuente et al. (2013), es la tubería encargada de distribuir el agua desde la electroválvula hasta los emisores. No es una red en carga, pues solo tiene presión mientras dura el riego del sector. El criterio es el mismo para el diseño de la tubería principal, sola dependerá de las necesidades de caudal requerido por el propio sector, y el dimensionamiento puede realizarse de dos formas:

- **Diámetro único**, la tubería se dimensiona en función del caudal total necesario para todo sector. Este sistema reduce el acopio de piezas y simplifica tanto técnicamente como operativamente el montaje.
- **Diámetros múltiples**, el diámetro de la tubería se va reduciendo según se va reduciendo la pérdida de caudal (pérdida de caudal en emisores) a lo largo del tramo.

2.4.5 Pérdida de carga en tuberías

Según Pittman (2003), existen diversas fórmulas para calcular la pérdida de carga de un fluido, pero la más versátil es la de Hazem-Williams, por ser aplicable a diferentes tipos de

tuberías. Esta fórmula depende de cuatro factores: el caudal, el diámetro interior de la tubería, el largo de la tubería y la constante fijada por el material de la tubería.

$$hf = 1.21 \times 10^{10} \times L \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \times d^{-4.87}$$

hf: Pérdida de carga debido al rozamiento (m)

C: Factor de fricción de Hazem Williams

L: Longitud de la tubería (m)

d: Diámetro interior (mm)

Q: Caudal del agua en la tubería (l/s)

Los valores del Coeficiente de Fricción de Hazem-Williams en función del material y revestimiento interno de la tubería o conducción. En la siguiente tabla se presenta algunos valores:

Cuadro 8: Coeficiente de Fricción de Hazem-Williams

Material	Condición	C _{HW}
Hierro dulce	Nuevo	130
Acero soldado	Constante	120
Acero bridado	Constante	110
Madera	Constante	120
Concreto	Variable	130
Arcilla vitrificada	Buenas condiciones	100
PVC	Constante	150
Polietileno (PE)	Constante	130-140
Asbesto - cemento	Constante	140
Mampostería	Constante	100
Cobre	Constante	130-140
Hierro galvanizado	Constante	120
Latón	Constante	130
Vidrio	Constante	140

FUENTE: Saldarriaga (2007)

Por otro lado, según De la Fuente et al. (2013), es lógico pensar que no en todo el tramo de tubería el caudal es el mismo, puede que se van alimentando emisores de riego que van consumiendo el caudal existente. Así pues, según se avanza en el tramo de tubería, al haber emisores, el caudal va siendo menor. Por este efecto se disminuye la pérdida de carga

calculada para una tubería sin salidas múltiples, multiplicando por el facto “Fc” denominado factor de Christiansen (1942), que viene dado por la siguiente ecuación:

$$Fc = \frac{1}{1+m} + \frac{1}{2.N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6.N^2}$$

Fc = Factor de Christiansen

N = Número de salidas equidistantes en toda la longitud de la tuberías

m = Exponente de velocidad en la fórmula de pérdida de carga utilizado, $m= 1.82$ si utiliza Hazem-William o $m=2.0$ si utiliza Darcy Weisbach

2.4.6 Uniformidad de riego

Según Martín et al. (2004), el caudal real que aplican los emisores dependerá de la presión a la que trabajen. Así pues, es necesario que el conjunto de emisores que riegan simultáneamente dentro del sector de riego, lo haga de la forma más homogénea posible. Sin embargo, puesto que la pérdida de carga depende de la longitud de las conducciones, los emisores que estén más alejados en un mismo sector de riego, trabajarán a menor presión que aquellos que estén más cerca de su correspondiente tubería secundaria o terciaria.

Según De la Fuente et al. (2013), para conseguir una uniformidad adecuada en el riego e impedir consumos excesivos de agua con zonas encharcadas, es ineludible que haya una diferencia de presión entre los emisores pequeña. Por ello es obligatorio que se cumpla la *norma de la uniformidad mínima del riego*, la cual señala que la pérdida de presión en el sector más el desnivel existente entre el último emisor y el primero (del sector) no debe superar el 20% de la presión de trabajo del emisor.

2.5 DISEÑO HIDRÁULICO PARA GOTEO

2.5.1 Caudal del emisor

Según De la Fuente et al. (2013), un emisor es un mecanismo, tobera o simple orificio por donde el agua fluye desde una tubería a la atmósfera. La curva característica de un emisor

relaciona el caudal aportado por el mismo y la presión del agua existente a la entrada. Viene definida por la ecuación:

$$q = K x H^x$$

Donde:

q = caudal del emisor (l/h)

K = coeficiente característico de cada emisor, que equivale al caudal que proporciona una presión de 1 m.c.a.

H = presión de entrada del emisor (m.c.a.)

x = exponente de descarga del emisor

El exponente de descarga del emisor depende del tipo de flujo que se origina en el emisor y del grado de autocompensación del mismo. Su valor varía de 0 a 1.

- Flujo laminar: $x = 1$
- Emisores de largo recorrido: $x =$ de 0.6 a 1
- Emisores de tipo de orificio y tobera (aspersores): x alrededor de 0.5
- Emisores autocompensantes: x varía de 0.5 a 0

2.5.2 Tolerancia de caudales

El coeficiente de uniformidad de Christiansen es la más popular medida de la uniformidad de riego y ampliamente utilizado en riego por aspersión. Sin embargo para el caso de riego por goteo se utilizan criterios más exigentes, definiéndose el coeficiente de uniformidad de riego con los caudales medios y mínimos de la subunidad:

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a}$$

Donde:

q_a = caudal medio de todos los emisores de la instalación (l/h)

q_{25} = caudal medio de emisores que constituyen el 25 por 100 de más bajo caudal (l/h)

El CU se puede utilizar para la evaluación de instalaciones en funcionamiento o para el diseño de nuevas operaciones, pero para diseño se recomienda utilizar:

$$CU = \left(1 - \frac{1.27CV}{\sqrt{e}}\right) \frac{q_m}{q_a}$$

Donde:

CV = coeficiente de variación de fabricación del emisor

e = número de emisores por cada planta

q_m = caudal mínimo de los emisores considerados en una subunidad (l/h)

q_a = caudal medio de los emisores considerados (l/h)

Cuanto mayor es el valor de CU más cara es la instalación de riego, ya que para que haya menor dispersión de caudales, el régimen de presiones debe ser más uniforme, lo que exige más diámetro en las tuberías, laterales más cortos y mayor inversión en reguladores.

2.5.3 Tolerancia de presiones

En una subunidad se admite una variación máxima de presión entre los distintos emisores del 20% de la presión media.

2.5.4 Pérdida de carga admisible

La diferencia de presión admisible en la subunidad entre la terciaria y la lateral es:

$$\Delta H_{(subunidad)} = M(h_a - h_{ns})$$

Donde:

ΔH_s = diferencia de presión en el conjunto de la subunidad. Valor que debe perderse entre el lateral y la terciaria.

M = depende del número de diámetros considerados en la terciaria.

h_a = presiones medias

h_{ns} = presión mínima

Para los casos de diseño se recomienda perder la mitad en el lateral y el resto en la terciaria. Algunos autores recomiendan perder el 55% en la lateral y el resto en la terciaria, sin embargo la mitad de la pérdida admisible en el lateral y el resto en la terciaria da buenos resultados. Keller recomienda valores para M mostrados en la el *Cuadro 9* de acuerdo al diámetro de la tubería, un valor recomendado de 2.5 da resultados satisfactorios (Pizarro, 1996).

Cuadro 9: Valores de *M* para diseño para hallar pérdida de carga

Diámetros	M
Constante	4.3
2	2.7
3	2

FUENTE: Pizarro (1996)

2.5.5 Pérdida de carga en laterales

Para el cálculo de la pérdida de carga en la tubería lateral de riego, hay diferentes métodos. Entre los más conocidos están la fórmula de Darcy-Weisbach, Hazen William si el régimen es laminar y la ecuación de Blassius que presenta la siguiente expresión:

$$h_f = J * L * F$$

Donde:

J = pérdida de carga unitaria

L = longitud de la tubería (m)

F = coeficiente de Christiansen

Además la pérdida de carga unitaria, está dada por la fórmula:

$$J = 0.473 * \left(\frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \right)$$

Donde:

Q = caudal (l/s)

D = diámetro de la tubería (mm)

2.5.6 Efecto de salidas múltiples y de conexión por emisor

Al igual que en el riego por aspersión, las tuberías secundarias, terciarias o laterales no mantienen un caudal constante debido a la cantidad de salidas, el cual produce un efecto donde la pérdida de carga disminuye, para ello se utiliza la *fórmula de Christiansen* como se explicó en el ítem 4.4.6 *Pérdida de carga*. Adicionalmente, en riego por goteo, según Pizarro (1996), se debe indicar que las tuberías laterales y terciarias llevan ya sea emisores y/o conectores incrustados en el interior de la tubería esté libre de las mencionadas

conexiones, por tal efecto se han desarrollado fórmulas empíricas que permiten determinar la longitud equivalente que provocan dichas conexiones:

Cuadro 10: Longitud equivalente por conexión

Tipo de Conexión	Longitud equivalente
Grande	$le = 23.04 \times di^{-1.84}$
Estándar	$le = 18.91 \times di^{-1.84}$
Pequeña	$le = 14.38 \times di^{-1.84}$
Interlínea	$le = 0.23$

FUENTE: Pizarro (1996)

Donde: le (m) y di (mm)

Del cuadro obtenemos el valor de l_e (m) para un emisor; este valor multiplicado por el número de emisores en la línea, nos da la longitud equivalente total que debo agregar a la longitud real del lateral.

2.6 CABEZAL DE RIEGO

Según Martín et al. (2004), la procedencia del agua para el riego parques, jardines, campos de deporte, etc. determinará los componentes que sean necesarios en el cabezal de riego. En éste se instalan los elementos precisos para filtrar el agua, en los casos que haya que eliminar partículas que puedan causar obturaciones en los emisores (equipo de filtrado); para dotarla de la presión adecuada, si la de entrada a la instalación no es suficiente (equipo de bombeo); y para añadirle fertilizantes (equipo de fertirriego), como se muestra en la *fig. N°18* según Martín et al. (2004).

Figura 18: Cabezal de riego



FUENTE: Martín et al. (2004)

Los cabezales de riego están formados por las válvulas y mecanismos de control necesarios para un buen funcionamiento de un sistema de riego automático.

2.6.1 Equipo de filtrado

Según Martín et al. (2004), el equipo de filtrado es el componente principal del cabezal ya que tras su paso por él, el agua quedará limpia de todos los sólidos y partículas en suspensión capaces de producir obturaciones en los emisores, principalmente en los de riego localizado. Si el agua tiene una gran cantidad de sólidos en suspensión será necesario efectuar un prefiltrado, para separar las partículas más pesadas. Para ello se utiliza normalmente un hidrociclón que las elimina por centrifugación.

Dentro de los filtros más usuales tenemos:

- **Filtro de arena**, retienen principalmente partículas orgánicas en suspensión tras el paso del agua por una capa de arena o grava.
- **Filtros de malla**, retienen todo tipo de sólidos en suspensión en la superficie de unas mallas de material no corrosivo (acero o plástico), con orificios de pequeño tamaño.
- **Filtros de anillas**, atrapan todo tipo de sólidos en suspensión entre unas anillas ranuradas, agrupadas y ajustadas unas contra otras en un cartucho insertado en la carcasa del filtro.

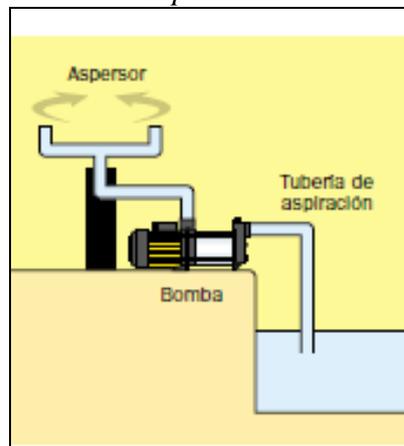
2.6.2 Equipo de bombeo

Según Martín et al. (2004), cuando la instalación de riego requiera mayor presión y/o caudal de los que suministra la toma de agua, debe instalarse un equipo de bombeo que dote al agua de la energía necesaria. Las bombas más utilizadas para elevar el agua en instalaciones de riego son las llamadas turbomáquinas, en las que se producen un aumento de la velocidad del agua provocada por el movimiento giratorio de un elemento denominado rodete o impulsor. Dependiendo de que el agua salga impulsada en la dirección radial debido a la fuerza centrífuga, o en la misma dirección que trae en la aspiración, las bombas se denominan centrífugas o axiales respectivamente.

En ambos casos el rodete o rodetes de la bomba se accionan por medio de un motor eléctrico o un motor de combustión, si bien por la ubicación habitual de los jardines (en general en medio urbano) se suelen utilizar motores eléctricos alimentados por corriente trifásica con voltajes de entre 220 y 500 voltios.

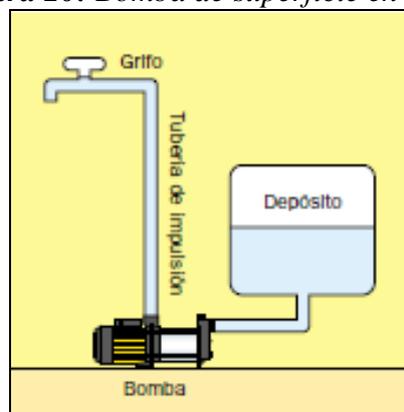
Si procede de un depósito, lago, río o acequia debe preverse una bomba de superficie. Existen dos tipos de instalaciones con bombas de superficie: en aspiración, si la bomba se sitúa por encima del nivel del líquido a bombear y en carga, si la bomba se encuentra en el mismo nivel o inferior que el líquido a bombear.

Figura 19: Bomba de superficie en aspiración



FUENTE: Martín et al. (2004)

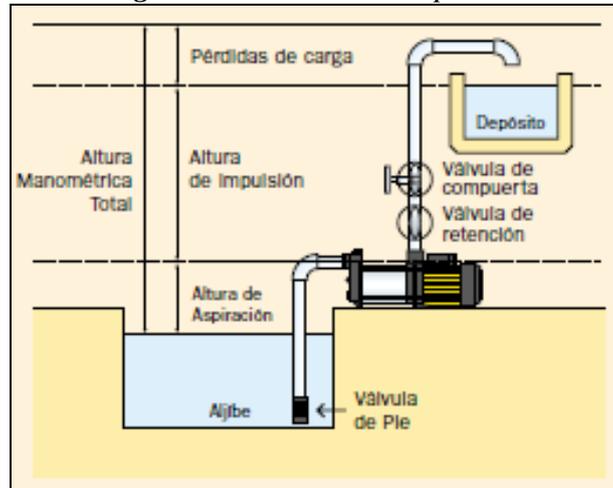
Figura 20: Bomba de superficie en carga



FUENTE: Martín et al. (2004)

La altura de elevación que se requiere en el sistema está formada por la altura manométrica de aspiración, la altura geométrica de impulsión, la altura por pérdidas de carga y la altura por la presión de trabajo de los emisores más alejados de la bomba, en lo que se denomina altura manométrica total.

Figura 21: Sistema de impulsión



FUENTE: Martín et al. (2004)

2.6.3 Equipo de fertirrigación

Según Pizarro (1996), se entiende por fertirrigación a la aplicación de los fertilizantes disueltos en el agua de riego, de una forma continua o intermitente. La fertirrigación no se puede hacer con todos los sistemas de riego, ya que la primera exigencia es obtener la máxima uniformidad en la distribución de los fertilizantes. Por eso, esta práctica se asocia básicamente a los sistemas de riego localizado de alta frecuencia (goteo, microaspersión), pero también puede aplicarse al riego por aspersión. Entre sus ventajas tenemos:

- Los fertilizantes se localizan en la zona donde se ubican las raíces
- Los fertilizantes pueden alcanzar una profundidad de 50-60cm, lo que facilita una mejor absorción por las plantas.
- Los fertilizantes se suministran a las plantas según sus necesidades en las distintas etapas de su desarrollo.
- La reducción de pérdidas y el mejor aprovechamiento de los fertilizantes por los cultivos, suponen un ahorro que puede alcanzar el 30%.

- La alta frecuencia que se tiene en la aplicación de los fertilizantes, y el coste reducido a comparación del sistema tradicional de aplicación.

2.7 AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO EN JARDINES

Según Martín et al. (2004), el desarrollo tecnológico conseguido en el campo de la electrónica unido al logrado en el campo de la informática, permite realizar de forma automática el riego de jardines y zonas verdes, y otras operaciones como la fertirrigación o la limpieza de los filtros del cabezal de riego, lo que ha dado lugar a un mayor control y facilidad de manejo de las instalaciones y a un abaratamiento de los costes de mantenimiento.

Según Pizarro (s.f.), la automatización abarca una amplia gama de posibilidades, desde las más simples a las más sofisticadas, desde la apertura y cierre manual de las válvulas hasta la total automatización de las operaciones.

- ***Un primer grado de automatización***, puede ser el empleo de válvulas volumétricas, que constan de una válvula hidráulica y un contador con un dial. Se selecciona manualmente con el dial el volumen de agua que se quiere aplicar en cada riego, y la válvula se cierra automáticamente cuando ha pasado a través, el volumen establecido. Estas válvulas operan en secuencia, de forma que el cierre de una válvula que riega un determinado sector acciona manualmente al principio de cada riego. La fertirrigación se hace de forma manual. Este sistema es adecuado para instalaciones que no disponen de energía eléctrica.
- ***Un segundo nivel de automatización***, es el riego secuencial repetido mediante un reloj programado. Accionado por corriente eléctrica de red o de batería, que controla la apertura y cierre de electroválvulas. La programación se efectúa estableciendo los días de riego y la duración de cada riego. A este nivel se pueden controlar las bombas dosificadores para el aporte de productos químicos.
- ***Un tercer nivel de automatización***, es el riego con microcomputadora. En el mercado existen programadores específicos para riego que abarcan toda las operaciones necesarias para la automatización completa: riego secuencial o independiente por sectores, limpieza de litros, fertilización, detección de variías,

elección de tarifa eléctrica más adecuada, etc. Este nivel de automatización permite la utilización de un gran número de sensores para controlar el riego.

- **Un cuarto nivel de automatización**, se está aplicando en el programa de asesoramiento de Riegos de la Comunidad de Murcia. Una serie de casetas agrometeorológicas integradas, conectadas por teléfono mediante modem a un ordenador, suministran los datos para el cálculo de los parámetros necesarios, que son reenviados por vía teléfono a los programadores de riego, con lo cual establece un programa diario de riego conforme a las necesidades

Según Martín et al. (2004), entre sus ventajas e inconvenientes tenemos:

a. Ventajas

- Permite un mayor control y un mejor ajuste de las dosis de riego a aplicar.
- Consigue una mayor eficiencia de riego, lo que se traduce en un ahorro de agua
- Reduce el empleo de mano de obra, al ser posible el control automático de determinados procesos durante los riegos, facilitando su ejecución y disminuyendo posibles errores humanos.
- Permite la programación de otras operaciones relacionadas con los riegos, como son la limpieza de filtros y la fertirrigación.
- Permite programar los riegos en los momentos de menos interferencia con el aprovechamiento y uso del jardín.

b. Inconvenientes

- Supone un incremento del coste de la instalación que en algunos casos puede resultar poco rentable.
- Requiere una formación adecuada por parte de los usuarios para poder realizar un uso correcto del sistema instalado.
- Necesita, en la mayoría de los casos energía eléctrica, lo que supone una limitación en zonas no electrificadas, además de un coste adicional, por consumo eléctrico y por la necesidad de instalar baterías o placas solares, que aseguren el funcionamiento en caso de un corte en el suministro eléctrico.

2.8 USO DE SOFTWARE EPANET 2.0 Y EPACAD

Según Pizarro (s.f.), el programa *Epanet* usa el método del gradiente para resolver las variables hidráulicas. Además usa una variación del método de *Cholesky* para resolver el sistema lineal de ecuaciones formado, y con esto logra una velocidad de cálculo superior a otros programas. El módulo de cálculo de *Epanet* está programado en *C* y su código es de uso libre.

Epanet considera módulos de cálculo hidráulico y de calidad de agua, entre sus características tenemos:

2.8.1 Módulo de cálculo hidráulico

- Modela nodos con caudales dependientes de la presión (Emisores, fugas).
- Cuenta con rutinas de control temporal para la modelación.
- Algunos de los programas que usan *Epanet* como Módulo de cálculo son:
Calibra, Genética, H2ONET, DC Water Design.

EPANET puede determinar las pérdidas a partir de varias ecuaciones:

- Darcy – Weisbach.
- Hazen – Williams
- Chezy – Manning

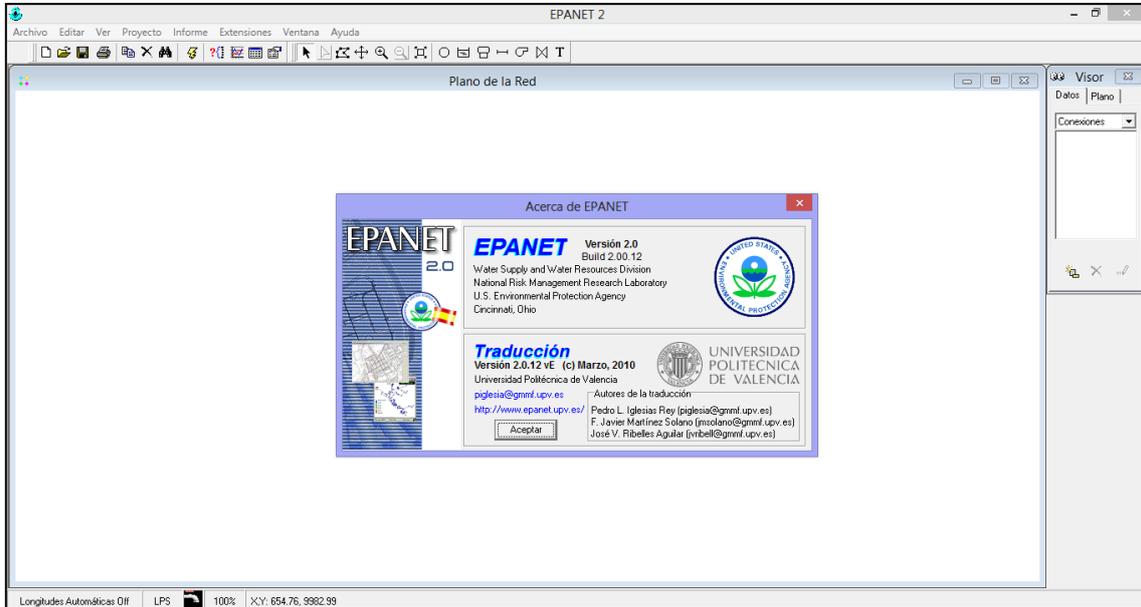
Entre las opciones de cálculo está el de régimen permanente y en periodo extendido.

2.8.2 Módulo de calidad de agua

- Modela el movimiento de trazadores no reactivos a través de la red.
- Modela el movimiento, decaimiento o crecimiento de una sustancia química a lo largo del tiempo.
- Calcula la edad del agua.
- Determina el porcentaje de agua que proviene de cualquier nodo o fuente.
- Modela reacciones tanto en el cuerpo del agua como en la pared.
- Modela los tanques de almacenamiento como reactores completamente mezclados, de flujo pistón o como un reactor de dos comportamientos.
- Reporta de reacción de sustancias.

La versión en español fue realizado por el personal del Grupo Multidisciplinario de Modelación de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia, el cual la versión actualmente traducida del inglés es la versión 2.00.12.

Figura 22: Interfaz del Epanet 2.0vE



FUENTE: Elaboración propia

Existen herramientas para poder interrelacionar el programa *Epanet 2.0vE* con los programas CAD, como el *EpaCAD 1.0*, el cual me permite exportar planos en CAD hacia el *Epanet*, la interfaz se muestra a continuación:

Figura 23: Interfaz del EpaCAD 1.0



FUENTE: Elaboración propia

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Ubicación y acceso

La ubicación de la zona de estudio es la siguiente:

Cuadro 11: Ubicación del área de estudio

Departamento:	Lima
Provincia:	Lima
Distrito:	Los Olivos
Dirección/N° teléfono:	AV. Alfredo Mendiola 6232 - Panamericana Norte, Los Olivos. Teléfono: (01) 202 4342 Anexo: 2046
Región geográfica:	Costa
Altitud:	85 m.s.n.m.

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Ubicación UTM:

Zona: 18L

E: 274717.00 m

N: 8677513.00 m

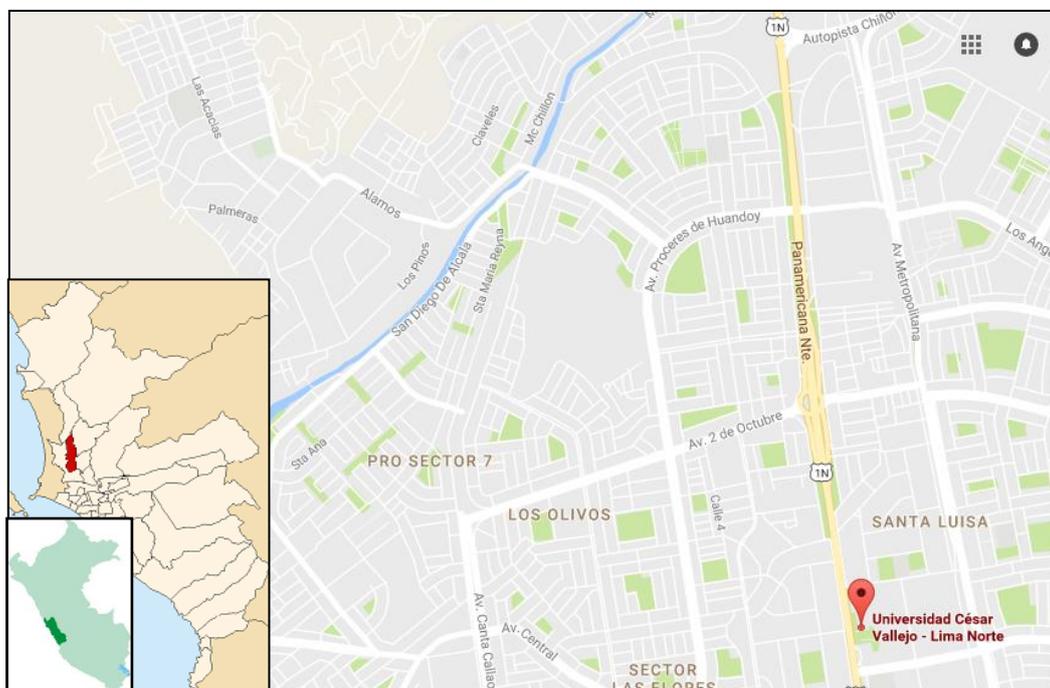


Figura 24: Ubicación geográfica del proyecto

3.1.2 Clima

Como el distrito de Los olivos está ubicado en la costa, presenta un clima similar a todos los distritos ubicados en dicha región. Según Senamhi, el clima de la costa es Semicálido (Desértico – Árido – Subtropical), con temperatura media anual de 18° a 19°C, decreciendo en los niveles más elevados de la región. En todo el litoral costero hay presencia de cielo nuboso y escasa o nula precipitación durante la mayor parte del año, lo que la tipifica como una zona árida con temperaturas extremas máximas y mínimas, en otoño e invierno amanece nublada o cubierta y hacia el mediodía las nubes rápidamente se disipan permitiendo intenso brillo solar.

Para el presente trabajo se procesó los datos de la estación meteorológica Von Humboldt, la más cercana a la zona con datos suficientes, ubicada en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las variables climáticas tienen un registro promedio mensual de la zona de los años 2010 al 2015 (*cuadro N° 12*).

Cuadro 12: Datos meteorológicos de la estación Von-Humboldt

Mes/variable	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura máxima (°C)	27.4	27.3	26.9	25.7	23.2	21.0	19.0	18.3	19.6	20.2	21.3	23.9
Temperatura mínima (°C)	18.6	18.4	18.3	16.4	16.6	15.5	14.7	13.4	13.6	14.1	15.3	17.0
Humedad relativa (%)	73.6	74.2	76.0	77.1	78.9	82.5	85.9	85.6	83.9	81.4	79.7	77.2
Velocidad del viento (m/s)	2.95	2.78	2.64	2.61	2.63	2.39	2.26	2.35	2.49	2.97	3.00	2.94
Precipitación (mm)	0.04	0.08	0.12	0.02	0.03	0.09	0.12	0.11	0.21	0.03	0.02	0.02
Horas de sol (h/día)	5.10	7.00	6.30	6.60	4.30	2.30	1.80	1.90	2.70	4.10	4.60	5.30

FUENTE: Torres (2016)

3.1.3 Suelo

Está localizado sobre el abanico de deyección cuaternario del río Chillón, enmarcado en rocas sedimentarias del Jurásico Superior al Cretáceo Inferior y rocas intrusitas del batolito andino. Presenta material predominante de suelo del tipo transportado por acción aluvial (cantos rodados) y eólica (arenisca, limo y arcilla).

Los Olivos es un distrito cuyo suelo es principalmente de uso urbano y comercial, por lo que se ha convertido en la zona más poblada de la capital.

3.1.4 Agua

La población se abastece, principalmente, de fuente de agua superficial (río Chillón) y, en menor proporción, de agua subterránea que se encuentra a poca profundidad, mediante pozos. Para el mantenimiento de sus áreas verdes se pueden usar aguas subterráneas, mediante pozos y también aguas residuales.

3.2 EQUIPOS

3.2.1 Equipo para muestreo de suelo

- 01 Pala rectangulares de aproximadamente 30 cm de longitud.
- 01 Recipiente limpio de plástico de capacidad no menor a 5 Kg.
- 02 Bolsas de plástico con capacidad de 2 Kg.
- Rótulos de identificación
- Lápices
- Libreta de anotaciones

3.2.2 Equipo para muestreo de agua

- 01 Recipiente de vidrio
- Etiquetas de identificación
- Lápiz

3.2.3 Equipo para levantamiento topográfico

- 01 equipo de estación total
- 01 GPS navegador
- Pintura o cal
- Wincha de 5m y de 50m

3.2.4 Estacas de madera Equipo complementario

- Útiles de oficina
- Computadora con Windows 8
- Cámara fotográfica

3.3 METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se está planificando en 3 etapas:

3.3.1 Pre - campo

Se constituyó por la recopilación de información de las características generales del área de estudio (ubicación, extensión, vías de acceso, etc.), información topográfica existente, planos de modelamiento de las áreas verdes, información meteorológica, así como la coordinación con los responsables encargados de la obra.

3.3.2 Trabajo de Campo

a. Levantamiento topográfico

En esta fase se realizó el levantamiento topográfico utilizando los equipos topográficos ya mencionados, con el objetivo de identificar y delimitar las áreas verdes, caminos, pabellones universitarios y detalles arquitectónicos del lugar, para poder obtener un plano que sirva para el trazo y ubicación de los componentes del sistema de riego, así como las plantaciones de árboles y las plantas herbáceas de flor.

b. Muestreo de suelo

Se realizó en dos oportunidades siguiendo los siguientes pasos y consideraciones:

- Los materiales y herramientas limpias y libres de contaminantes que afecten la muestra.
- Se evitó realizar el muestreo cuando el suelo esté excesivamente húmedo o demasiado seco.
- Se procedió a tomar al azar y en zigzag una cantidad similar de suelo en 6 puntos y a la misma profundidad de 0-25 cm.
- Con la pala se realizó un hoyo de aproximadamente 25 x 25 cm de lado y 25 cm de profundidad donde se extrajo la muestra (*fig. N° 25*).
- Se depositó las submuestras de suelo en el balde y se mezcló hasta obtener una muestra compuesta homogénea.
- Se empacó aproximadamente 1 Kg en una bolsa de plástico no utilizado anteriormente (*fig. N° 26*).
- Con el rótulo se procedió a identificar debidamente la muestra en forma concisa y exacta precisando el cultivo o uso actual.

- La muestra de suelo se llevó al laboratorio en doble bolsa plástica, el rótulo de identificación se colocó en medio de las dos bolsas.



Figura 25: Hoyo para muestreo de suelo



Figura 26: Muestra de suelo

b. Muestreo de agua

Se realizó siguiendo los siguientes pasos y consideraciones:

- Se lavó el envase de vidrio dos o tres veces con el agua a analizar y luego se procedió a tomar una muestra representativa de 1L de agua superficial del pozo usado regularmente para el riego, dejando un espacio de aire para facilitar la mezcla por agitación antes de realizar el análisis.
- Se procedió a la identificación de la muestra con la etiqueta y lápiz.
- Se mandó la muestra al laboratorio de análisis de aguas de la Universidad Agraria La Molina en el mínimo tiempo posible.

3.3.3 Fase de Gabinete

a. Diseño agronómico

La dosis total de riego para el mes de máxima demanda, fue determinada como se describe a continuación:

Hidrozona bajo riego por aspersión

Sumatoria del producto de los caudales de cada sector por sus respectivos tiempos de riego.

Hidrozonas bajo riego por goteo

Sumatoria del producto de las láminas brutas ajustadas de cada hidrozona por sus respectivas áreas.

- **Necesidades netas**

Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_0)

Para determinar la evapotranspiración de referencia se tomó los datos del informe “Demanda de agua en áreas urbanas en Lima”, con un registro del 2002 al 2012; también los datos del Atlas Evapotranspiración Referencial, del Ministerio de Agricultura y Riego y el Ministerio del Ambiente, con registro mensual de 30 años (1971 – 2000), correspondiente a la Estación Meteorológica Von Humboldt, ubicado en La Molina. Por último, se usó los valores de la evapotranspiración de referencia de la estación meteorológica Von Humboldt obtenida por Torres (2016) para un registro de 5 años del 2010 al 2015 según el método de FAO Penman - Monteith y el software CROPWAT 8.0.

De las tres fuentes se escogió el mayor valor, con excepción del mes de agosto cuyo dato fue tomado del atlas de evapotranspiración referencial.

Determinación de los coeficientes de jardín (K_j)

- Se determinó la relación de plantas ornamentales, según las que se encontraron en la zona de estudio y especies nuevas adecuadas al tipo de lugar y paisaje.
- Se agruparon las plantas por tipo de vegetación, encontrándose especies arbóreas, plantas herbáceas de flor y césped. Luego se determinó el coeficiente de especie (K_e) a partir de valores obtenidos por Fernández (2011) y Martín et al. (2004) en lugares distintos de la zona de estudio. Posteriormente se determinó el promedio del K_e de cada grupo.
- Para asignar los valores de coeficiente de densidad (K_d), se realizó para los grupos conformados según tipo de vegetación y se tuvo en cuenta los criterios de valoración, de cuando toma un valor bajo, medio y alto (*ver cuadro N° 3*). Cabe señalar que se asumió todas las plantas en estado adulto por lo que se tendrían áreas verdes maduras.

- Similar a lo anterior para asignar los valores de coeficiente de microclima (K_m), se realizó para los grupos conformados según tipo de vegetación y se tuvo en cuenta los criterios de valoración, de cuando toma un valor bajo, medio y alto (*ver cuadro 4*).
- Finalmente se determinó el coeficiente de jardín por tipo de vegetación, según la siguiente expresión:

$$K_j = K_e * K_d * K_m$$

Donde:

K_e : Coeficiente de especie

K_d : Coeficiente de densidad

K_m : Coeficiente de microclima

Determinación de la evapotranspiración del área verde (ET_{av})

Se determinó la evapotranspiración por tipo de vegetación para todos los meses del año, mediante la siguiente expresión:

$$ET_{av} = ET_0 * K_j$$

Donde:

ET_{av} : Evapotranspiración del área verde (mm/día)

ET_0 : Evapotranspiración de referencia (mm/día)

K_j : Coeficiente de jardín

Luego se adoptó la evapotranspiración del mes de máxima demanda.

Determinación de las necesidades netas

Las necesidades netas se obtuvieron al descontar a la evapotranspiración del área verde, el aporte de las precipitaciones efectivas. En vista que hay ausencia de precipitación, la evapotranspiración del área verde y sus necesidades netas, tuvieron el mismo valor.

Determinación de hidrozonas

Con las necesidades netas, los grupos de plantas se conformaron en hidrozonas.

Hidrozona 1 → césped → riego por aspersión

Hidrozona 2 → plantas herbáceas de flor → riego por goteo

Hidrozona 3 → árboles → riego por goteo

Se realizó el cálculo de los parámetros de riego para cada hidrozona.

- **Parámetros de riego**

Previamente se determinó la humedad aprovechable (H.A) con la siguiente expresión:

$$H.A(mm) = (CC - PM) * Da * Z$$

Siendo:

CC: Capacidad de Campo en peso (25.03%)

PM: Punto de Marchitez en peso (14.14%)

Da: densidad aparente (1.33 g/cm³)

Z: profundidad radicular efectiva en mm

Los valores asumidos de las profundidades radiculares efectivas, según el tipo de vegetación, son las siguientes:

Z (césped) = 25 cm

Z (plantas herbáceas de flor) = 40 cm

Z (árboles) = 100 cm

Lámina neta (Ln)

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Ln(mm) = H.A * DPM * P$$

Donde:

H.A: Humedad aprovechable del suelo en mm

DPM: Déficit permisible de manejo

P: Porcentaje mínimo de suelo mojado

Los valores de Déficit Permisible de Manejo (DPM) y porcentaje mínimo de suelo mojado (P), según tipo el tipo de vegetación, se muestran en el *cuadro N° 13*.

Cuadro 13: Valores de déficit permisible de manejo (DPM) y porcentaje mínimo de suelo mojado (P) a considerarse

Tipo de vegetación	DPM	P
Césped	0.4	1.0
Plantas herbáceas de flor	0.1	0.7
Árboles	0.1	0.4

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Requerimiento de lixiviación (RL)

Para el *césped regado por aspersión*, se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$RL = \frac{CEa}{5CEe - CEa}$$

Donde:

CEa: Conductividad eléctrica del agua de riego (1.59 dS/m)

CEe: Tolerancia a la salinidad medido por la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (10 dS/m)

Para las *plantas herbáceas de flor y árboles regados por goteo*, se usó el nomograma de relación fracción de lavado, CE media en zona de raíces y CEa (ver *fig. N° 7*). La tolerancia a la salinidad medido por la CEe para las plantas herbáceas de flor es 3 dS/m y para árboles 2 dS/m. Además se consideró la CEe de la zona de raíces de acuerdo al *umbral de tolerancia a la salinidad* de la especie *más sensible* de la hidrozona a fin de que *no haya reducción en el crecimiento*.

Eficiencia de riego (Er)

A efectos de diseño se utilizó la eficiencia general de aplicación (Ea). Los valores de eficiencia de aplicación considerados son los siguientes:

Para *riego por aspersión*, se estimó según los valores propuestos por Fry y Gray (1971) en función al clima de la zona, determinándose 75% de eficiencia de aplicación.

Para *riego por goteo*, se asumió el menor valor general recomendado por la literatura, 85% de eficiencia de aplicación.

Lámina bruta (Lb)

Para *riego por aspersión*, la lámina bruta se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Lb = \frac{Ln}{Ea} \text{ si } RL < 0.1$$

$$Lb = \frac{0.9 * Ln}{Ea * (1 - RL)} \text{ si } RL > 0.1$$

Siendo:

Ln: Lámina neta (mm)

Ea: Eficiencia de aplicación

RL: Requerimiento de lixiviación

Para *riego por goteo*, la lámina bruta se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Lb = \frac{Ln}{Ea} \text{ si } Ea < (1 - RL)$$

$$Lb = \frac{Ln}{(1 - RL)} \text{ si } Ea > (1 - RL)$$

Donde:

Ln: Lámina neta

Ea: Eficiencia de aplicación

RL: Requerimiento de lixiviación

Intervalo de riego (I)

Se determinó mediante la siguiente expresión:

$$I \text{ (días)} = \frac{Ln}{ETav}$$

Siendo:

Ln: Lámina neta (mm)

ETav: Evapotranspiración del área verde (mm/día)

Se redondeó los resultados a números enteros inmediatos inferiores, con dichos valores se determinó las láminas netas y brutas ajustadas usando la fórmula del intervalo de riego y de la lámina bruta.

Tiempo de riego (T)

Para *riego por aspersión*, se determinó mediante la siguiente expresión:

$$Tr(h) = \frac{L_{bajus}}{Pm}$$

Donde:

L_{bajus} : Lámina bruta ajustada (mm)

Pms : Precipitación media del sistema o sector de riego (mm/h)

La precipitación media del sistema o sector de riego (Pms) se determinó como la sumatoria de caudales de todos los emisores entre su respectiva área.

Para *riego por goteo*, se calculó según la siguiente expresión:

$$Tr(h) = \frac{L_{bajus}}{Nro. emisores por m^2 * q}$$

Donde:

L_{bajus} : Lámina bruta ajustada (mm)

q : caudal del emisor (l/h)

Elección de emisores

Para *riego por aspersión*, se eligió los emisores según los siguientes criterios:

- La pluviometría del emisor debe ser menor que la velocidad de infiltración máxima del suelo.
- La cantidad máxima de agua que el suelo es capaz de absorber en una hora según su textura.

Para *riego por goteo*, se eligió los goteros de acuerdo al tipo de planta entre flores o árboles.

Número de emisores

Para *riego por aspersión*, se determinó el número de emisores por sector de riego, según la cantidad resultante luego de las disposiciones en cada sector.

Para *riego por goteo*, se determinó en base a los siguientes parámetros:

- *Diámetro del bulbo húmedo (d)*

Se calculó según el caudal del gotero (q) en l/h y de acuerdo a la textura del suelo.

$$d = 0.7 + 0.11 * q$$

- *Área mojada por el emisor (Ame)*

Se determinó en función del radio del bulbo húmedo (r).

$$Ame = \pi * r^2$$

- *Solape (S)*

Se calculó de la distancia recubierta por dos bulbos consecutivos (a) entre el radio del bulbo húmedo (r).

$$S = \frac{a}{r} * 100$$

Los valores asumidos de *a* son los siguientes:

a (plantas herbáceas de flor) = 0.16 m

a (árboles) = 0.29 m

- *Separación de emisores (Se)*

Se determinó en función del solape (S) y el radio del bulbo húmedo (r).

$$Se = r * \left(2 - \frac{S}{100} \right)$$

Finalmente, *el número de emisores*, se calculó según el porcentaje de suelo mojado y textura del suelo. Para los árboles se determinó el número de goteros por árbol. Para las

plantas herbáceas de flor se calculó por metro cuadrado, de la inversa del producto de la separación de emisores (Se) por la separación de laterales (Sl).

$$\text{Nro. emisores por m}^2 = \frac{1}{Se * Sl}$$

- **Disposición de emisores**

Para *riego por aspersión*, se realizó la disposición de los aspersores o difusores de acuerdo a los elementos (asientos) presentes dentro de todos los sectores de riego y a la forma irregular de los mismos. Se colocaron los emisores en el terreno empezando por las esquinas y en los puntos de inflexión de los polígonos en que se ha dividido el terreno, posteriormente se colocaron en los límites o líneas del polígono, para terminar situando los emisores de relleno si son necesarios.

Para *riego por goteo*, se determinó según el porcentaje de suelo mojado, textura del suelo y el tipo de planta, así como de su marco de plantación. En este sentido, los emisores pueden disponerse para formar una banda continua de humedad para elevada densidad de plantas, o bien un bulbo húmedo alrededor de la planta.

b. Diseño Hidráulico

Para esta etapa se debió considerar los siguientes aspectos:

- **Sectorización del riego**

Este aspecto está de acuerdo a factores hidráulicos (es conveniente que cada turno se riego con un mismo caudal y tengan igual área de riego), agronómicos (se refiere a la la necesidad hídrica de cada sector de riego, y depende principalmente del tipo de cultivo.) y uniformidad (se refiere a que cada tipo de emisor tiene diferente pluviometría).

- **Pluviometría**

Es un parámetro importante para evitar encharcamientos y desperdicios de agua, para calcular se dividió el caudal de cada turno de riego (l/hr) entre el área que le corresponde en lo que respecta al riego por aspersión, ya que en este tipo de riego los emisores tienen mayor tasa de precipitación que en riego por goteo, además se tomó en cuenta no combinar difusores con rotores en un mismo sector, ya que sus tasas de precipitación son diferentes.

➤ Modelamiento hidráulico

Para ello se exportó el plano del sistema de riego al programa *Epanet V 2.0* , mediante el programa *EpaCAD*, para el caso de riego por aspersión se realizó los calculos hidráulicos de las redes de tubería (diámetro, clase, material), las presiones en los difusores(nodos), potencia de la bomba, patrones de riego. Para el sistema de riego por goteo se realizó el modelamiento hasta la tubería que alimenta a cada ramal, y se realizó el cálculo hidráulico de las tuberías laterales de cada sector en una hoja de cálculo.

A continuación se detallan los paso para el modelamiento de riego por aspersión en *Epanet 2.0*, ya que su usaron más comandos y opciones.

- *Consideraciones previas al modelamiento*

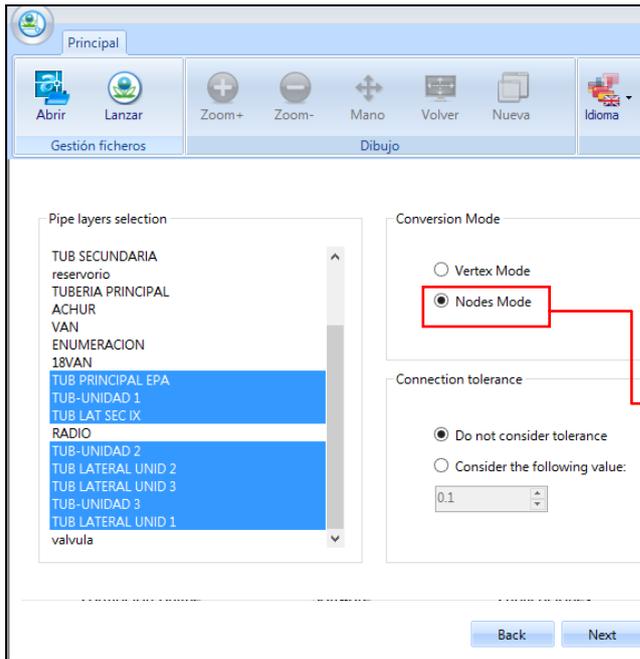
Teniendo este en cuenta, se procedió a llevar el plano en *AutoCAD* a *Epanet*, para esto se utilizó el programa *EpaCAD*, se abre el programa *EpaCAD* y se elige el archivo.

Abrimos el
Archivo en
AutoCAD



Figura 27: *Abrir el archivo en EpaCAD*

Luego de seleccionar el archivo en *AutoCAD*, se selecciona todas las capas donde se encuentren las tuberías secundarias y la principal., como se observa a continuación:

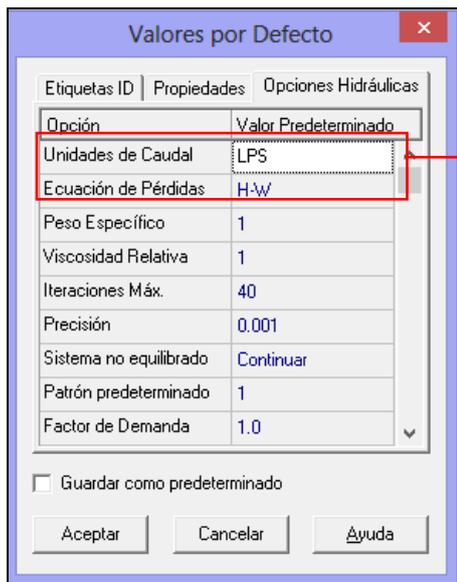


Se eligió la opción conversión *Nodes Mode*, para que cada nodo de la polilínea signifique un difusor o una conexión

Figura 28: *Uso de EpaCAD*

Luego de ello hace clic en *Next*, y se guarda en formato **.inp*. Después, se abre el *Epanet*, y se abre el archivo en formato **.inp*, luego se define lo siguiente:

Los valores por defecto del programa, se definió las dimensiones del plano en metros y las unidades de trabajo.



El caudal estará en *LPS*: Litros por segundo, y la formula de pérdidas de carga será por *H-W*: Hazem y William.

Figura 29: *Valores por defecto en Epanet*

Luego se configuró las opciones del plano:

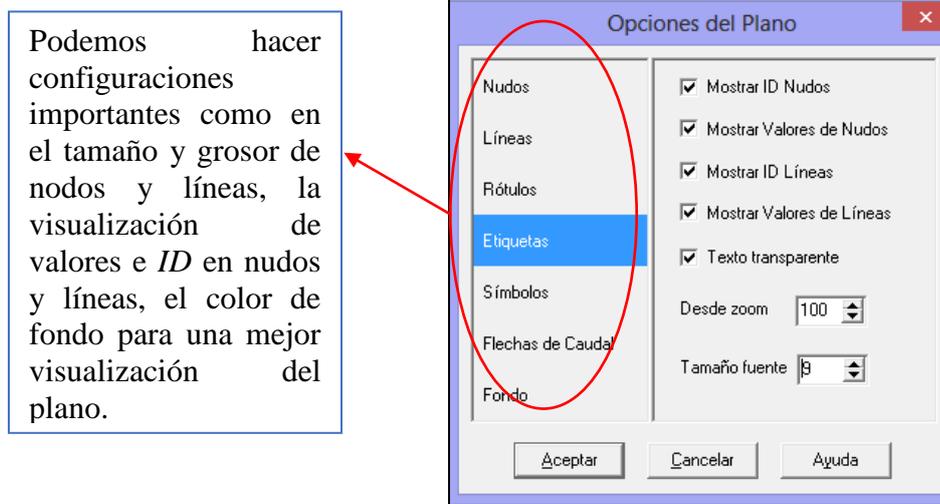


Figura 30: Opciones del plano en Epanet

Unidades del plano, para nuestro caso se eligió en metros (m).



Figura 31: Dimensiones del plano en Epanet

- **Alimentación de información**

Luego de exportar el plano de la red de riego al Epanet, se comenzó a llenar la información correspondiente en los siguientes aspectos:

- Información en nodos
- Creación y asignación de patrones por turno
- Información en tuberías
- Creación de curva de bomba Q vs H
- Creación de curva de rendimiento Q vs R

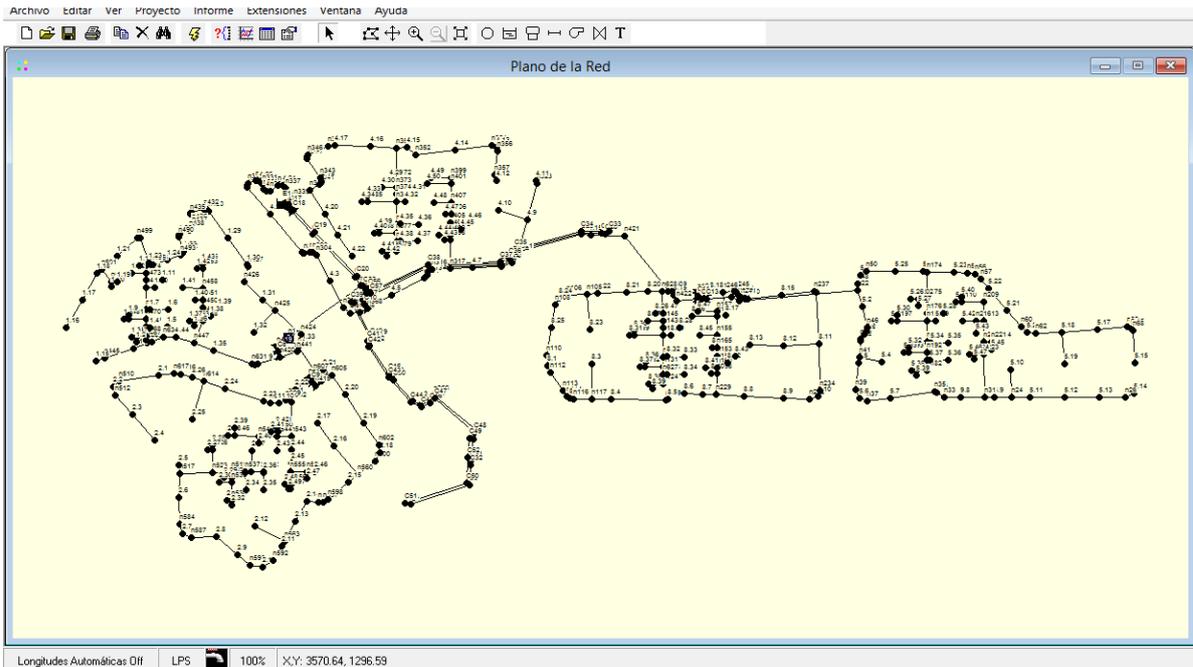


Figura 32: Visualización del plano de la red y nodos

- **Información en nodos**

Los nodos representan las conexiones o empalmes entre tuberías o los difusores de riego, en los difusores se insertaron la siguiente información:

- **Demanda base**, que es el caudal en litros por segundo con que riega cada difusor.
- **ID conexión**, que es la identificación de cada difusor principalmente, cada difusor tiene un número que corresponde a la zona que pertenece acompañado del número que se definió inicialmente, por el cual le corresponde una demanda, en base a la planilla en Excel que se elaboró previamente.

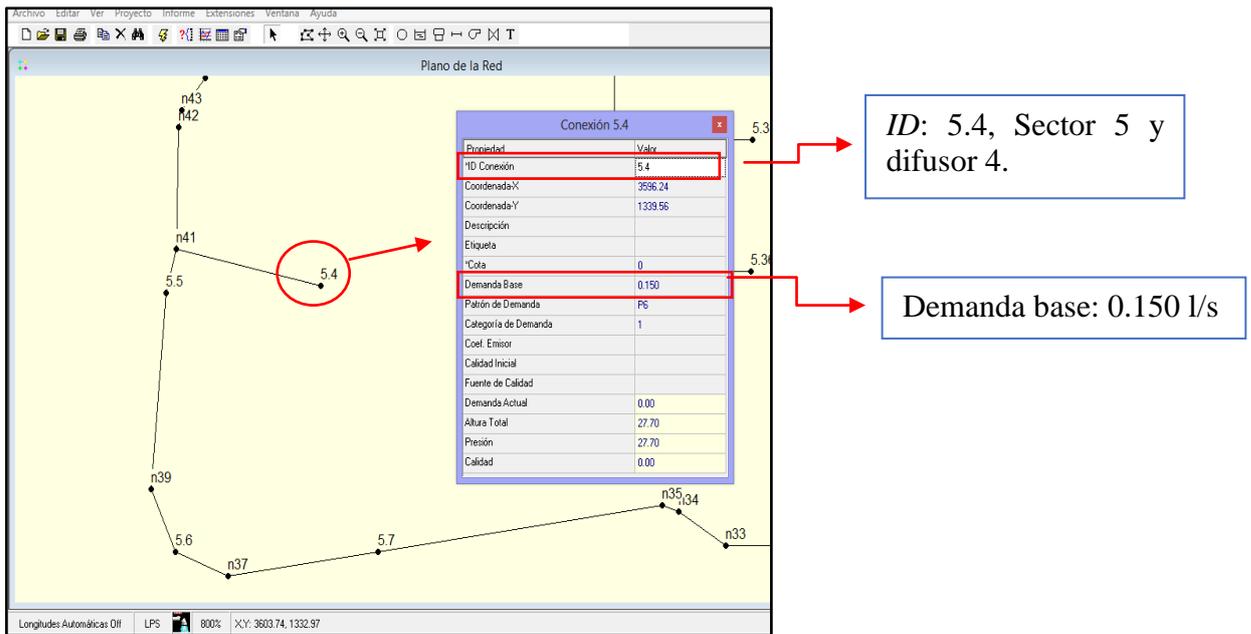


Figura 33: Suministro de información de nodos

Se continuó de esta manera para todos los difusores de todas los sectores de la hidrozona 1, al final de insertar estos datos se hizo una consulta para comprobar que todos los difusores estén con sus datos, para ello se consultó sobre los nodos que tengan demanda cero y se verificó que solamente los nodos de rojo sean las conexiones pero no los difusores.

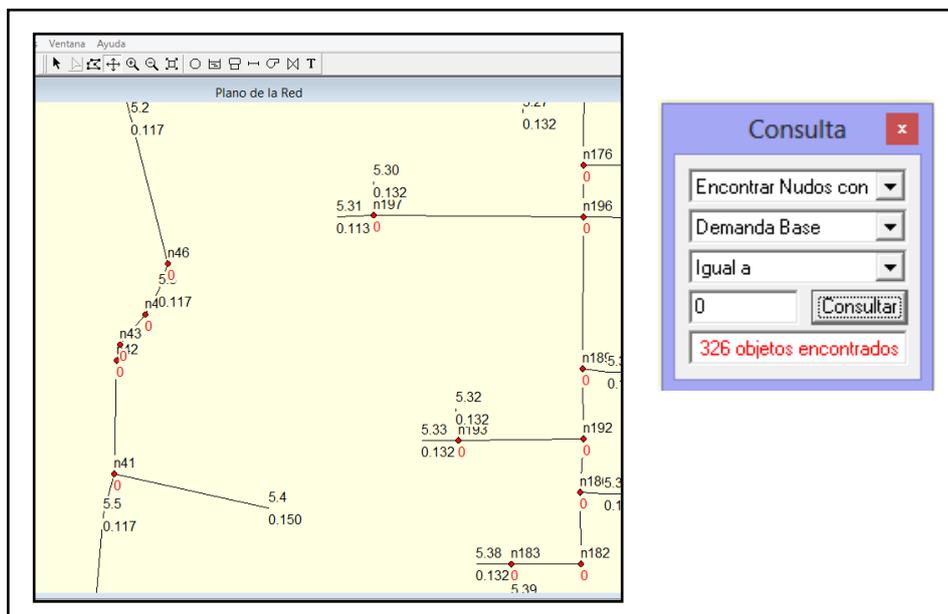


Figura 34: Consulta de información en nodos

- **Creación y asignación de patrones por turno:**

En este paso, se asignó patrones de tiempo a cada turno, tanto para el riego por aspersión como goteo, ya que si no se hace este paso, la simulación correrá como si todas las zonas de riego se rieguen en un solo turno, lo cual no corresponde al diseño, ya que debemos simularlo por turno.

Para empezar se debió introducir el tamaño del intervalo del patrón, para intervalos de 1, 2, 3, 4, 5,6,7 horas para una mejor visualización de lo que ocurre en la red de tuberías durante la simulación de cada turno.



Figura 35: Opciones de tiempo en Epanet

Luego, para la creación de patrones por turno:

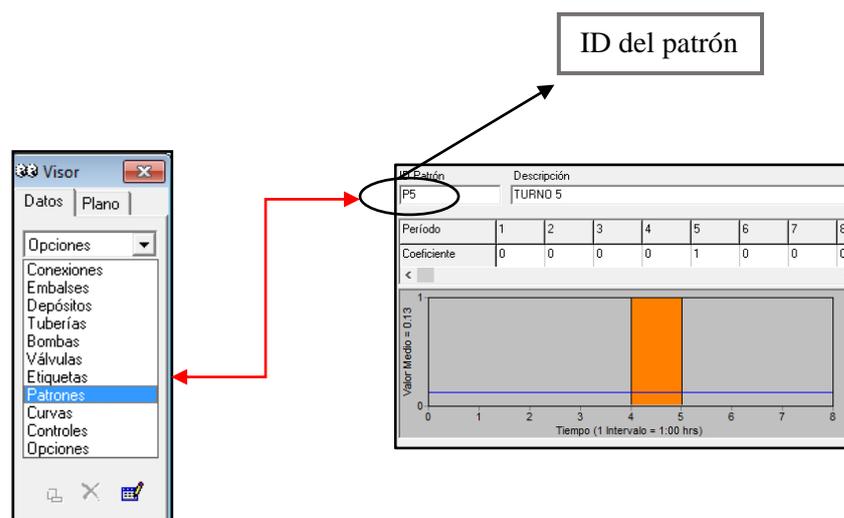


Figura 36: Creación de patrones en Epanet

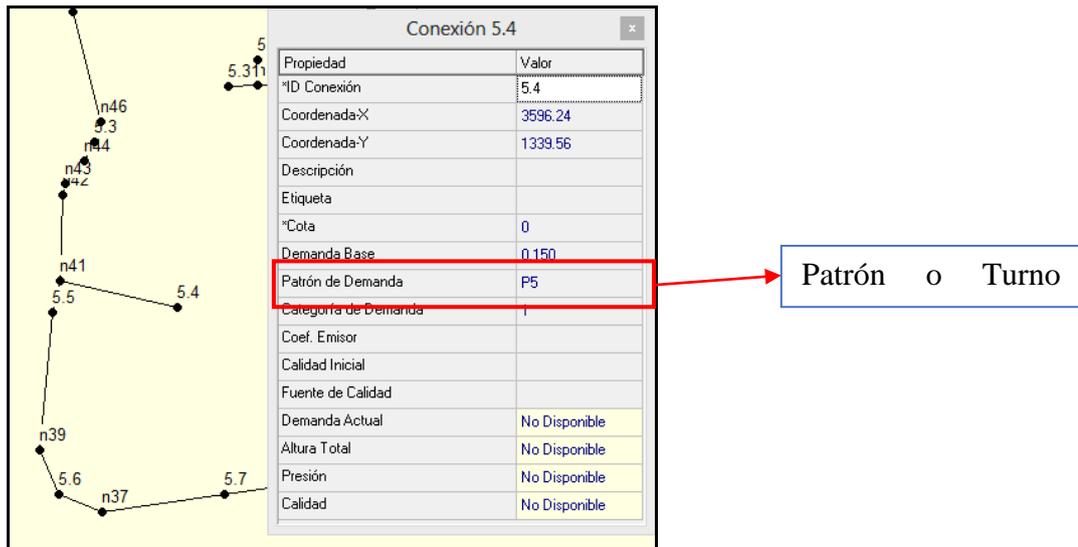


Figura 37: Selección de patrón en nodos

Se insertó los patrones a cada difusor en caso de riego por aspersión, y a cada arco de riego, en caso de riego por goteo, después se procedió a una simulación previa, antes de ello se insertó un cisterna con una altura de 25m (*solo para poder hacer la simulación*), luego de esto se pudo dimensionar el diámetro de las tuberías secundarias y matriz, asimismo puedo conocer la pérdida de carga en la red secundaria y principal que se genera en cada turno o patrón.

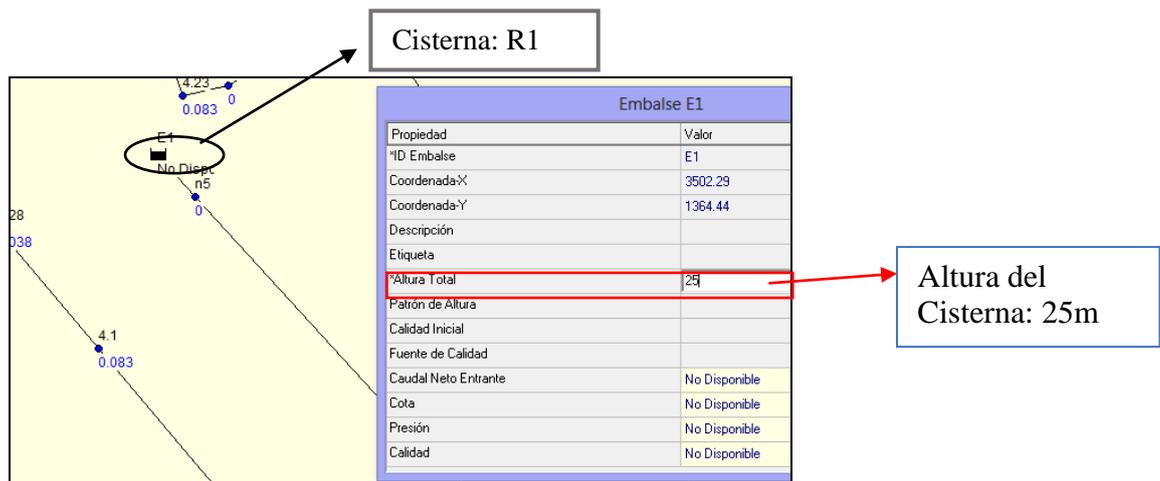


Figura 38: Suministro de información en cisterna para fin de simulación

Luego de que se procedió la simulación se puede observar el caudal que fluye por cada tubería, se ajustó en intervalos iguales para una mejor visualización.

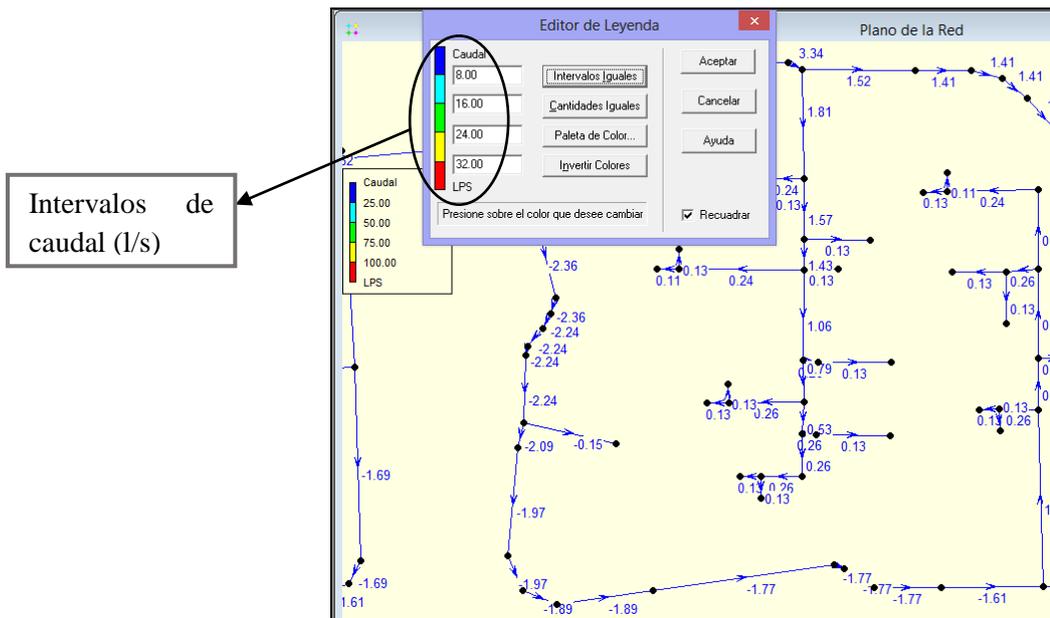


Figura 39: Edición de leyenda en Epanet

Hasta el momento no se ha ingresado ningún valor para la tubería, por lo tanto *Epanet* simuló con el diámetro que se utilizó por defecto para el proyecto, el cual se ajustó como se muestra en el siguiente ítem.

- **Información de tuberías**

En las tuberías se debe tener en cuenta tres aspectos fundamentales:

- **Longitud**, el EpaCAD, inserta las longitudes reales de acuerdo al plano.
- **Rugosidad**, para la formula Hazem y William, este coeficiente tiene un valor de $C=150$
- **Diámetro interno**, para el diámetro interno se creó una tabla siguiendo el criterio de velocidad interna este entre 0.5m/ y 2.5m/s, para el proyecto se consideró una velocidad máxima de **2 m/s**. Se inserta el diámetro interno y en milímetros (mm).

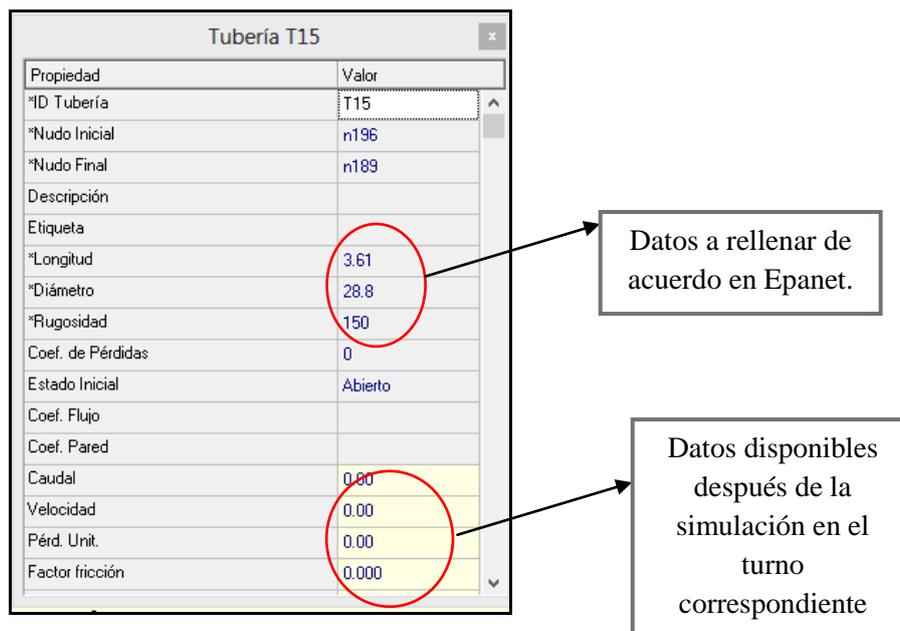


Figura 40: Suministro de información en tuberías

Para la identificación de que diámetro le corresponde a cada tubería(principal y secundaria) se utilizó el siguiente cuadro para tuberías de *policloruro de vinilo(PVC)* de clase 10, donde se observa el caudal máximo que debe pasar para cada diámetro de tubería para que la velocidad que circule sea como máximo 2 m/s :

Cuadro 14: Diámetros y caudales máximos para una velocidad de 2m/s

NOMINAL	NOMINAL	INTERIOR	ESPESOR	v (m/s) = 2.0	
pulg.	mm	mm	mm	l.p.s.	m ³ /hr
1/2"	21	17.4	1.8	0.476	1.712
1"	32	28.8	1.6	1.303	4.690
1 1/4"	40	36.2	1.9	2.058	7.410
1 1/2"	50	45.2	2.4	3.209	11.553
2"	63	57.0	3.0	5.104	18.373
2-1/2"	75	67.8	3.6	7.221	25.995
3"	90	81.4	4.3	10.408	37.469
4"	110	99.4	5.3	15.520	55.872
5-1/2"	140	126.6	6.7	25.176	90.634
6"	160	144.6	7.7	32.844	118.239
8"	200	180.8	9.6	51.347	184.850
10"	250	226.2	11.9	80.372	289.339
12"	315	285.0	15.0	127.588	459.317
14"	355	321.2	16.9	162.058	583.409
16"	400	361.8	19.1	205.616	740.218

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Para empezar, se comenzó a diseñar las **tuberías secundarias** y se hizo una consulta a *Epanet* sobre los caudales menores a 0.476 l/s, de este manera se identificó a las tuberías con diámetro de 1/2”.

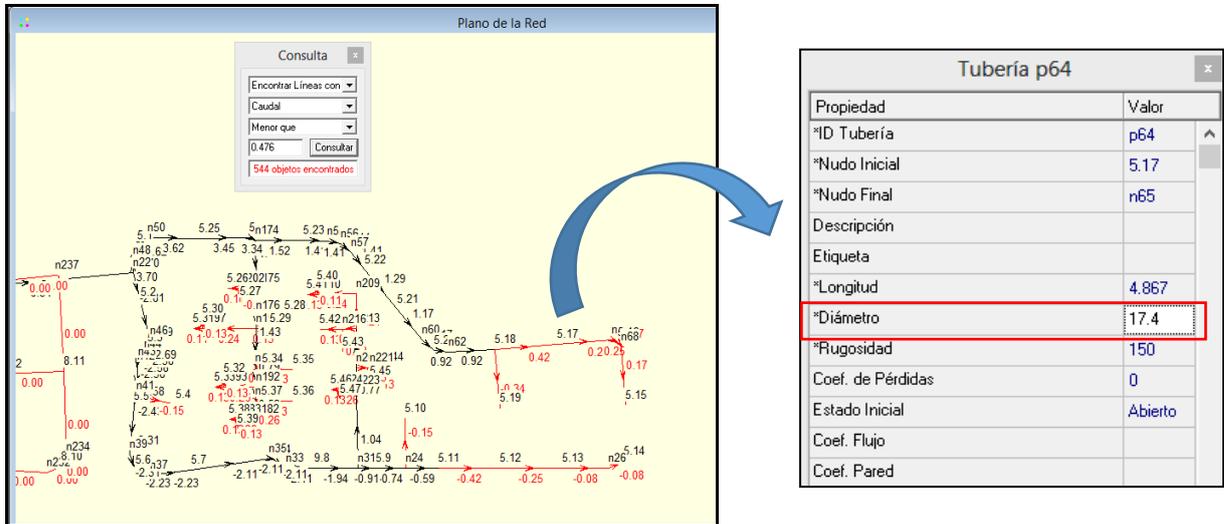


Figura 41: Consulta de información en tuberías

Las tuberías en **color rojo** se les insertan el valor de 17.4mm (1/2”), ya que es el diámetro interno. Las demás tuberías en **color negro** serán de 28.8mm (1”) para una primera iteración, luego de ello simular cada turno y definir el diámetro final para cada tubería, según el criterio de velocidad.

Para la **tubería principal** se procede de manera similar, solo teniendo cuidado que se diseñe con el máximo caudal que circula por esta tubería como a continuación se muestra la tubería principal que alimenta al sector 5 con un caudal de 6.51 l/s, y se elige una tubería con diámetro de 3” (81.4mm) produciendo una velocidad de 1.25 m/s.

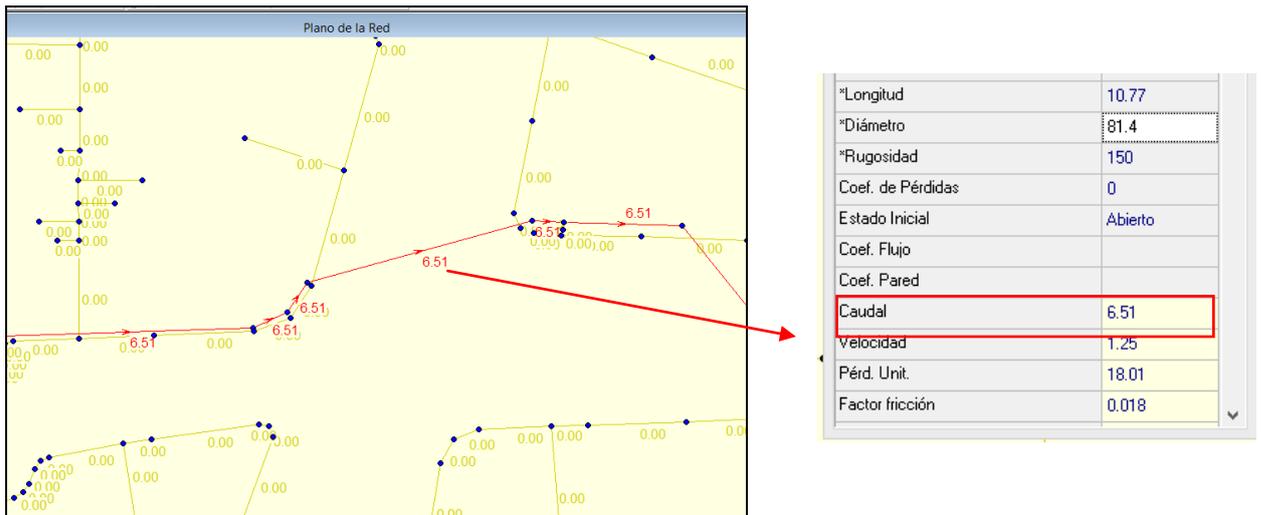


Figura 42: Visualización de la tubería principal en Epanet

Después de hacer la simulación se debe visualizar en el plano de Epanet las velocidades en la tubería y evaluar que estén en lo posible entre 0.5 m/s y 2m/s. Para una mejor visualización se editó la leyenda insertando intervalos de velocidad cada 0.5m/s hasta 2m/s, como se muestra a continuación:

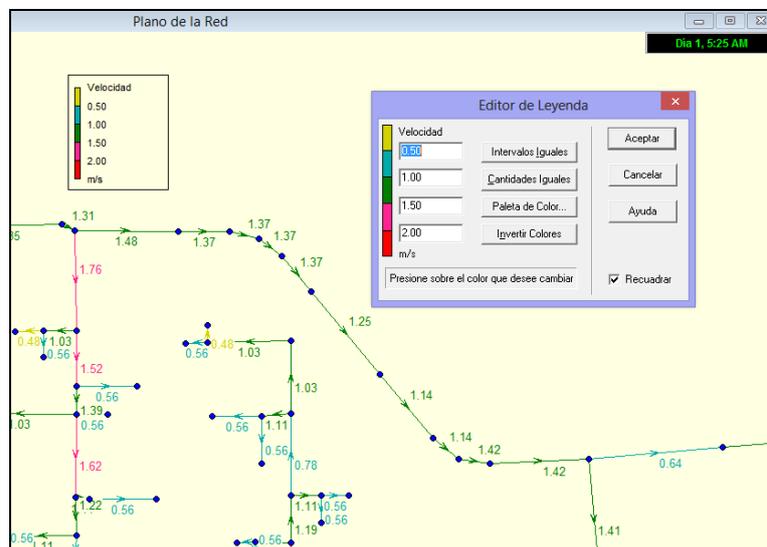


Figura 43: Edición de leyenda para visualización de velocidades

Las velocidades mayores de 2 m/s, se representaran en el plano de **color rojo**, esto quiere decir que se tendrá que insertar un diámetro más grande para que el flujo circule con menos de 2m/s, de esta manera se prosiguió para todos los turnos de riego del sistema.

- **Colocación de válvulas rompe**
- **presión y rotura de carga:**

Se colocó una válvula de rotura de carga con una consiga de 13m (simula la pérdida de 10m en el cabezal y 3m de tubería de succión.) a la salida de la bomba, y en cada zona se colocó una válvula rompe presión y una válvula de rotura de carga que simula a la electroválvula con una designación de acuerdo a la pérdida que se produzca según el caudal y tipo de válvula, para ello se utilizó la tabla de caudal y pérdida del modelo seleccionado de la electroválvula serie PGA (*Plastic globe/angle*) según su catálogo, como se muestra a continuación:

PGA Series Valve Pressure Loss (bar)								METRIC	
Flow m ³ /h	Flow l/m	100- PGA Globe 2.5 cm	100- PGA Angle 2.5 cm	150- PGA Globe 3.8 cm	150- PGA Angle 3.8 cm	200- PGA Globe 5.1 cm	200- PGA Angle 5.1 cm		
0.23	3.8	0.35	0.30	-	-	-	-		
0.6	10	0.36	0.32	-	-	-	-		
1.2	20	0.38	0.35	-	-	-	-		
3	50	0.41	0.38	-	-	-	-		
6	100	0.43	0.38	0.10	0.07	-	-		
9	150	0.48	0.51	0.22	0.14	0.08	0.07		
12	200	-	-	0.38	0.23	0.12	0.07		
15	250	-	-	0.61	0.36	0.17	0.10		
18	300	-	-	0.86	0.51	0.24	0.13		
21	350	-	-	1.16	0.70	0.33	0.18		
24	400	-	-	-	-	0.43	0.23		
27	450	-	-	-	-	0.54	0.30		
30	500	-	-	-	-	0.66	0.36		
34	568	-	-	-	-	0.83	0.45		

Figura 44: Parámetros hidráulicos de electroválvulas PGA

El procedimiento fue el siguiente, por ejemplo para el **Sector 5** el caudal de entrada es de **6.51 l/s o 23.4 m³/hr**, para lo cual se seleccionó el modelo **200-PGA (diámetro de 2")**, 23.4m³/hr se encuentra entre 21m³/hr y 24m³/hr, se escogió la mayor pérdida para este modelo el cual es 0.43bar o **4.3m** para la de tipo globo.

En la siguiente figura, se observa la válvula rompe presión y la válvula de rotura de carga (electroválvula) a la entrada del **Sector 5**, donde en las tuberías se indica la velocidad y en los nodos la presión.

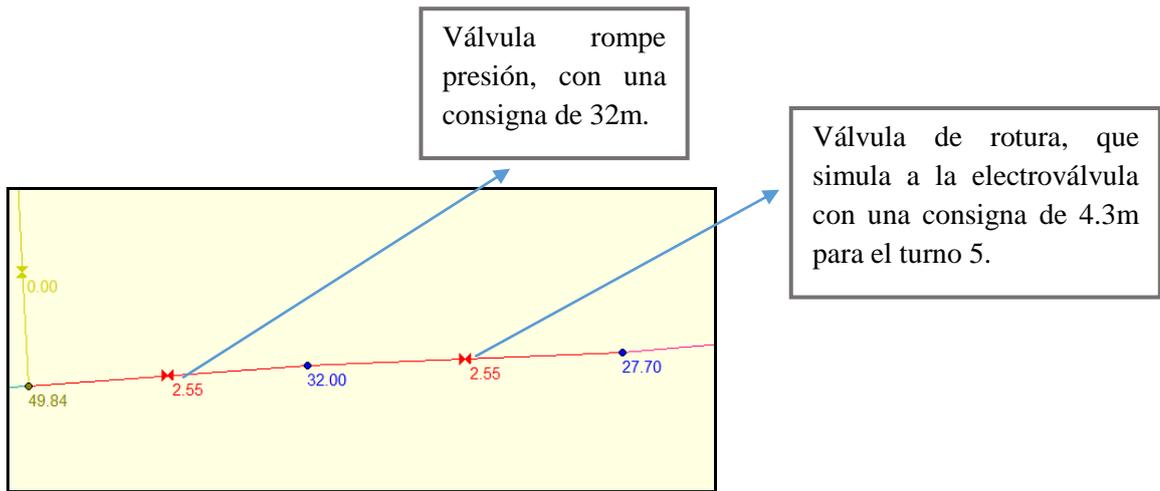


Figura 45: Simulación de válvula rompe presión y electroválvula

- **Selección de la bomba**

Para la simulación de la bomba, se debió tener en cuenta que se utilizarán dos bombas distintas, una para el sistema por aspersión y otra para el sistema por goteo, además se debió tener en cuenta 2 factores:

- CDT: Carga dinámica total
- Q_{máx}: Caudal máximo del sistema.

Para determinar la carga dinámica total se analizó que factores intervenían, como los siguientes:

- Pérdida en la tubería principal o matriz
- Pérdida en la tubería secundaria
- Pérdida por desnivel topográfico (Se consideró terreno plano, por lo cual es cero)
- Pérdida en singularidades
- Pérdida en el arco de riego (electroválvula)
- La profundidad de la cisterna
- Pérdida en el cabezal de riego (se considera 10m)
- La presión de trabajo (21m para el difusor seleccionado)

La CDT es la sumatoria de todo lo anterior, con Epanet se determinó la pérdida de carga total en las redes de tuberías (principal y secundaria) hasta el emisor más crítico para cada

sector de riego. Para ello se definió una altura en la cisterna de 0m, y se visualizó en el plano la presión en cada nodo, la cual está con signo negativo, como se muestra a continuación:

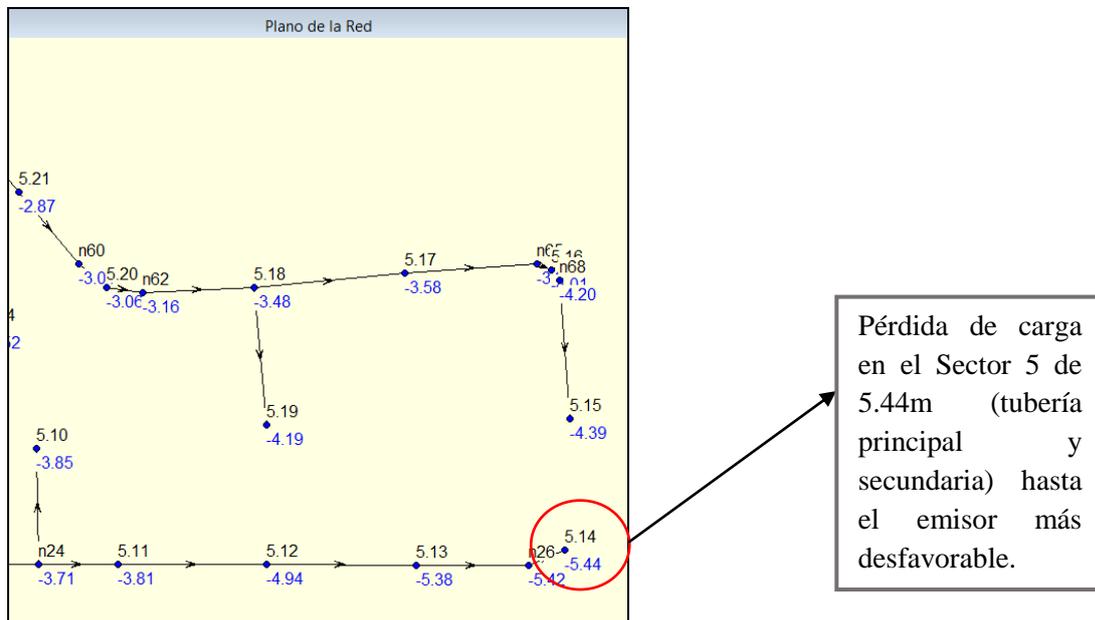


Figura 46: Pérdida de carga total en sector más crítico en Epanet

De la misma manera se realizó para todos los sectores de riego de la hidrozona 1, con respecto a los sectores de riego por goteo (hidrozona 2 y 3), se evaluó las pérdidas de la tubería secundaria hasta la entrada de cada lateral.

- **Creación de curvas características de la bomba en Epanet**

Una vez que se determinó el tipo de bomba, se introdujo los datos de las curvas características de caudal- Altura dinámica, y caudal-rendimiento, a continuación se detalla el procedimiento para la modelación de la bomba del sistema por aspersión. Se seleccionó en el fichero de datos, la opción curva.

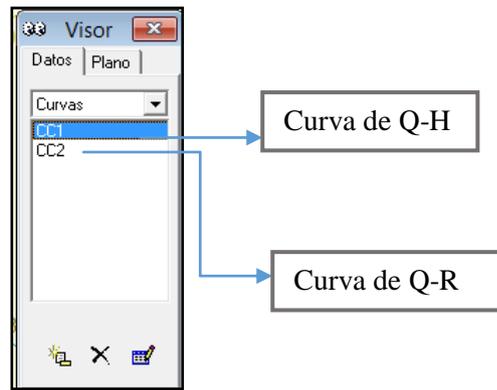


Figura 47: Visor de curvas de la bomba en Epanet

Para insertar los datos de la curva de la bomba para el riego por aspersión y goteo en *Epanet* se realizó de la misma manera, a continuación se detalla los procedimientos para el suministro de dicha información, en caso de la bomba por aspersión.

- Creación de curva de bomba Q vs H

Antes de generar una curva característica de la bomba de caudal (Q) vs Altura (H), se procedió a tomar puntos de la curva seleccionada:

Cuadro 15: Datos de Altura dinámica y caudal

H (metros)	Q (l/min)	Q (l/s)
60	0	0.00
57	100	1.67
56.5	150	2.50
56	200	3.33
55	250	4.17
53.5	300	5.00
52	350	5.83
50	400	6.67
47	450	7.50
44	500	8.33

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Luego se insertó estos valores en la curva *CC1* en *Epanet*:

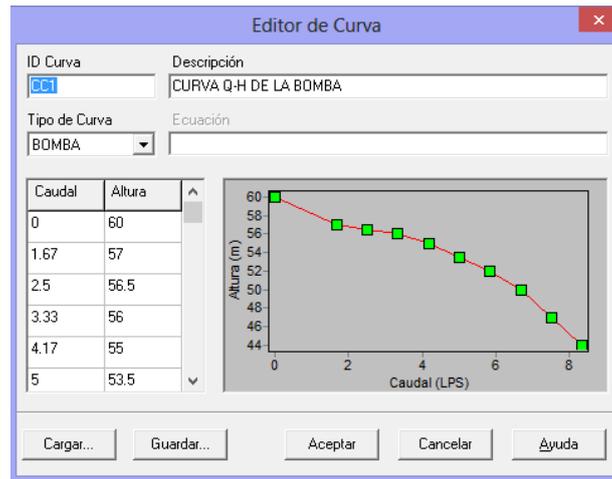


Figura 48: Curva de altura y caudal en Epanet

- **Creación de curva de bomba Q vs R**

Antes de generar una curva característica de la bomba de caudal (Q) vs Rendimiento (R), se procedió a tomar puntos de la curva seleccionada entre los caudales que trabajará el sistema:

Cuadro 16: Datos de Rendimiento y caudal

Q (l/min)	Q (l/s)	%
262	4.37	45
312	5.20	50
350	5.83	52
380	6.33	54
399	6.65	55
500	8.33	54

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Luego se insertó estos valores en la curva CC2 en Epanet:

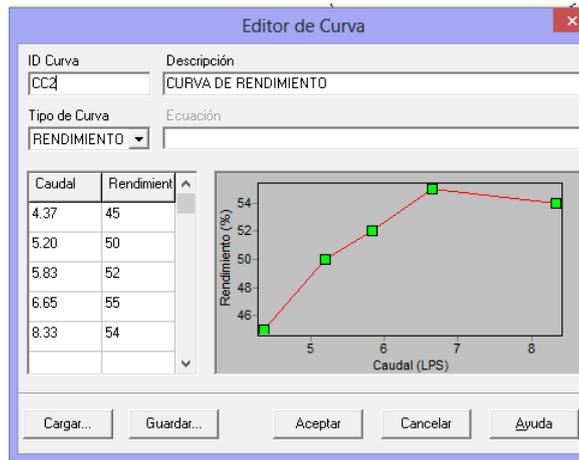


Figura 49: Curva de rendimiento y caudal en Epanet

Luego, se insertó estas dos curvas en las características de la bomba:

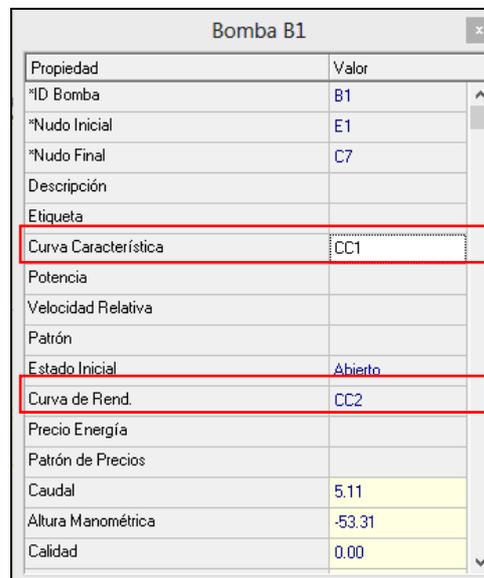


Figura 50: Suministro de información de la bomba en Epanet

- **Automatización del riego**

En este componente se identificó y caracterizó dos partes importantes que componen cualquier automatización: *las electroválvulas y el programador de riego*, adicionalmente se definió los parámetros del cableado. Con respecto a las electroválvulas se definió anteriormente para la simulación en *Epanet*, en base a que la velocidad que circula sea menor a 2 m/s para reducir el efecto del golpe de ariete, y con respecto al programador se definió el tipo y el número de estaciones que puede controlar según el catálogo del fabricante.

Para el cableado, se tuvo que definir varios parámetros para establecerlo de forma completa:

- Revestimiento y aislamiento
- N° de conductores
- Sección de conductores

Según De la fuente et al. (2013), para los sistemas de riego se necesita cable para exterior, tipo *RV-K* con aislamiento de 0.6/1 Kv, y se extiende por la misma zanja que la tubería principal (por debajo de ella, para la protección del cable) y el número de conductores es uno por cada electroválvula, más uno en común.

Para determinar la sección del cable, se debe de utilizar la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \times L \times I}{c \times e}$$

Donde:

S = Sección del cable (mm²)

L = Longitud del cable (m)

La longitud del programador a la electroválvula más alejada es de 80m para el riego por aspersión y de 20m para el riego por goteo.

I = Intensidad (consumo de arranque = 0.41 A)

c = 56 (conductividad del cobre)

e = Caída de tensión máxima en voltios (4V)

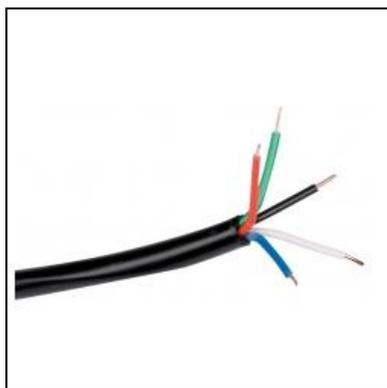


Figura 51: Cable multiconductor Rain Bird (5 conductores)

- ***Elaboración de planos***

En esta fase se elaboraron los planos necesarios para la implementación del sistema.

- ***Elaboración del presupuesto y metrado***

En esta fase se detalló la cantidad y medidas de cada elemento que compone el sistema para determinar el costo del proyecto.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Con el empleo del uso de la estación total, se realizó el levantamiento topográfico de la zona donde se implementará el sistema de riego. Luego se realizó el plano arquitectónico con ayuda de los arquitectos de la universidad, como se muestra en el *Anexo N°09 (Plano N°02)* donde se ha delimitado, los espacios de las áreas verdes y las áreas con pavimento. El tamaño del área es de aproximadamente de media hectárea, rodeado de los pabellones universitarios, el comedor y la puerta principal de la universidad. En el plano elaborado se realizó el trazo de la red de tuberías, emisores y sistema de bombeo, lo cual sirvió de base para el modelamiento hidráulico en el programa *Epanet 2.0*.

4.2 CALIDAD DE AGUA Y SUELO

Según los resultados del análisis de caracterización del suelo, presenta una textura franco, donde la mayoría de plantas crecen. El pH (7.85) es ligeramente alcalino y el nivel de materia orgánica (2.01%) es medio. En cuanto a la salinidad (1.9dS/m) es muy ligeramente salino, por lo que es adecuado para la mayoría de plantas.

La capacidad de campo (C.C.) es 25.03%, el punto de marchitez (P.M.) 14.14% y la densidad aparente (d_a) 1.33 g/cm³, todas fueron determinadas en laboratorio. Todos los resultados de los análisis de suelo se muestran en el *anexo 05*.

Según los resultados del análisis de agua, es de ligera restricción de uso para riego por salinidad. Presenta una relación de adsorción de sodio (RAS) de 0.56, por lo que, considerando la salinidad, no tiene ninguna restricción que disminuya su infiltración. El valor de la dureza del agua (D) es 65.9 ppm de CO₃Ca, la cual está clasificada como muy blanda y no tendría problemas de obturación de emisores.

Las concentraciones de Sodio, Cloro y Boro son bajas, por lo que el agua de riego no presenta ninguna restricción de uso. El resultado del análisis de agua se muestra en el *anexo 04*.

4.3 DISEÑO AGRONÓMICO

La dosis total de riego, entre las tres hidrozonas, para el mes de máxima demanda es 46,972 L equivalente a 47 m³. A continuación se muestran los resultados al detalle de todo el proceso de cálculo.

4.3.1 Necesidades netas

a. Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET₀)

La ET₀ considerada corresponde al obtenido por el software CropWat bajo el método de FAO Penman - Monteith, con excepción del mes de agosto cuyo dato fue tomado del atlas de evapotranspiración referencial. Los datos se muestran en el *Cuadro N° 17*.

Cuadro 17: Valores de evapotranspiración de referencia

Meses	ET ₀ (mm/día)
Enero	4.22
Febrero	4.57
Marzo	4.14
Abril	3.71
Mayo	2.81
Junio	2.14
Julio	1.84
Agosto	2
Setiembre	2.39
Octubre	2.94
Noviembre	3.22
Diciembre	3.71

FUENTE: Elaboración propia (2016)

La variabilidad de datos de ET₀ correspondientes a diferentes períodos de años contribuyó a elegir valores altos que permitan garantizar máxima demanda de agua.

b. Determinación de los coeficientes de jardín (K_j)

La necesidad de contar con diferentes especies de plantas en algunos sectores de riego de la zona de estudio, dificulta la determinación de un solo K_c, ya que cada una de ellas tiene un valor diferente. En ese sentido, se usó el coeficiente de jardín (K_j), en vez del K_c que es usado para fines agrícolas.

Los valores de coeficiente de especie (K_e) de las plantas ornamentales agrupadas por tipo de vegetación: arbóreas, plantas herbáceas de flor y césped, se muestra en el *Anexo N° 02*.

De los árboles seleccionados, estas tienen copas de diámetro que van desde de 1.5 hasta 4 m. En las plantas herbáceas de flor se cuenta con diversas especies de sol y semisombra, entre ellas está la *Gazania x hybrida* “Gazania” y *Salvia splendens* “Salvia roja”, plantas de fácil cultivo. Del grupo de césped se trabajó con el tipo Paspalum, un grass poco exigente en suelos, agua y tolerante a la salinidad del suelo.

Cuadro 18: Resultado de determinación de los coeficientes de jardín (K_j)

TIPO DE VEGETACIÓN	COEFICIENTE DE JARDÍN (K_j)			
	Coeficiente de especie (K_e)	Coeficiente de densidad (K_d)	Coeficiente de microclima (K_m)	K_j
Césped	0.90	1.00	1.20	1.08
Plantas herbáceas de flor	0.40	1.10	1.30	0.57
Árboles	0.50	1.00	1.40	0.70

FUENTE: Elaboración propia (2016)

En vista que no se halló el coeficiente de densidad (K_d) de las plantas herbáceas de flor, se asumió el de especies tapizantes, dado su similar tipo de vegetación. Para su coeficiente de microclima se asumió el de arbustos ya que presentaba mayor valor que el de tapizantes.

En el *Cuadro N° 18* se observa que el coeficiente de jardín (K_j) se ve altamente influenciada por el coeficiente de especie (K_e) que determina, en el caso de césped, un K_j mayor que 1 y, para las plantas herbáceas de flor y árboles, un K_j menor que 1. Para el coeficiente de densidad (K_d) se asumió plantas adultas que por ende tendrían alta superficie foliar y en consecuencia mayor evapotranspiración, razón por la cual se consideró los valores altos según los criterios de valoración. Los coeficientes de microclima (K_m) para los tres tipos de vegetación son mayores que 1 (condición microclimática alta) debido, principalmente, a la presencia de edificaciones y pavimentos en la zona de estudio que influyen en las condiciones ambientales del jardín, incrementado su temperatura y por tanto su tasa de evapotranspiración.

c. Determinación de la evapotranspiración de las áreas verdes

En el *Cuadro N° 19* se muestra la evapotranspiración para el mes de máxima demanda, febrero.

Cuadro 19: Evapotranspiración de las áreas verdes (ETav) para el mes de máxima demanda

Grupo de especies	ET ₀ de febrero (mm/día)	Kj	ETav (mm/día)
Césped	4.57	1.08	4.94
Plantas herbáceas de flor	4.57	0.57	2.61
Árboles	4.57	0.70	3.20

FUENTE: Elaboración propia (2016)

En el *cuadro N° 19* el coeficiente de jardín (Kj) influyó en la evapotranspiración del área verde (ETav), especialmente en las plantas herbáceas de flor y árboles, al limitar significativamente la ETav, a diferencia del césped que presentó una alta ETav.

d. Determinación de las necesidades netas

Las necesidades de agua se obtuvieron al descontar a la evapotranspiración del área verde (ETav), el aporte de las precipitaciones. En este caso, por no existir precipitación efectiva, la evapotranspiración de las áreas verdes y sus necesidades de agua, tienen el mismo valor.

Cuadro 20: Necesidades netas en función del coeficiente de jardín (Kj)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
ET₀	4.22	4.57	4.14	3.71	2.81	2.14	1.84	2	2.39	2.94	3.22	3.71
Césped (Kj = 1.08)												
ET_{av} (mm/día)	4.56	4.94	4.47	4.01	3.03	2.31	1.99	2.16	2.58	3.18	3.48	4.01
Nec. netas (mm/día)	4.56	4.94	4.47	4.01	3.03	2.31	1.99	2.16	2.58	3.18	3.48	4.01
Plantas herbáceas de flor (Kj = 0.57)												
ET_{av} (mm/día)	2.41	2.61	2.37	2.12	1.61	1.22	1.05	1.14	1.37	1.68	1.84	2.12
Nec. netas (mm/día)	2.41	2.61	2.37	2.12	1.61	1.22	1.05	1.14	1.37	1.68	1.84	2.12
Árboles (Kj = 0.7)												
ET_{av} (mm/día)	2.95	3.20	2.90	2.60	1.97	1.50	1.29	1.40	1.67	2.06	2.25	2.60
Nec. netas (mm/día)	2.95	3.20	2.90	2.60	1.97	1.50	1.29	1.40	1.67	2.06	2.25	2.60

FUENTE: Elaboración propia (2016)

e. Determinación de hidrozonas

Las hidrozonas quedan definidas y también el tipo de sistema de riego que se utilizará, trabajando en forma independiente cada una.

Hidrozona → 1 césped (demanda de agua $ET_{av} = 4.94$ mm/día) → riego por aspersión

Hidrozona → 2 plantas herbáceas de flor (demanda de agua $ET_{av} = 2.61$ mm/día) → riego por goteo

Hidrozona → 3 árboles (demanda de agua $ET_{av} = 3.2$ mm/día) → riego por goteo

4.3.2 Parámetros de riego

Se recopiló y determinó información previa para el diseño agronómico de los sistemas de riego. La humedad aprovechable (H.A) resultante para la hidrozona 1 es 36.2 mm, hidrozona 2 es 57.9 mm y para la hidrozona 3 es 145mm. En el *Cuadro N° 21* se presenta toda la información.

Cuadro 21: Información para el cálculo de las láminas de riego

Hidrozona	CC (% peso)	PM (% peso)	Da (g/cm³)	Z (cm)	H.A (mm)	DPM	P (%)	CEe (dS/m)	CEa (dS/m)	RL	Ea
H-1 césped	25.0	14.1	1.33	25	36.2	0.40	100	10	1.59	0.03	75%
H-2 plantas herbáceas de flor	25.0	14.1	1.33	40	57.9	0.10	70	3	1.59	0.05	85%
H-3 árboles	25.0	14.1	1.33	100	145	0.10	40	2	1.59	0.10	85%

FUENTE: Elaboración propia (2016)

El valor de la densidad aparente (D_a) del suelo de la zona estudio fue determinada experimentalmente. Sin embargo su valor es una estimación, dado que la muestra tomada en campo fue disturbado durante su extracción y manipulación.

Por otro lado, las profundidades radicales *efectivas* (Z) son aproximaciones para planta adulta. Para el grass *Paspalum* (césped) varía de 34.5 a 115 cm; para un uso eficiente del agua se trabajó con la menor profundidad radicular, por lo que se asumió 25 cm. Para el resto de especies se trabajó según lo recomendado por la literatura para cada tipo de planta.

Se trabajó con el déficit permisible de manejo (DPM) para garantizar que las plantas no sufran problemas de estrés hídrico que afecte su calidad ornamental. Además se consideró el tipo de riego, siendo menor en goteo por ser de alta frecuencia.

El porcentaje mínimo de suelo mojado para la hidrozona 1 (césped) bajo riego por aspersión fue de 100% según lo recomendado en la literatura. Para la hidrozona 2 (plantas herbáceas de flor) e hidrozona 3 (árboles) regadas por goteo, se adoptó los valores *mínimos* recomendados por la literatura según la densidad de plantas, ya que son suficientes para el crecimiento adecuado de la raíz dado el clima no árido y la textura del suelo no arenosa de la zona de estudio. Además se desea no incrementar el costo de inversión.

El umbral de tolerancia a la salinidad medido por la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CEe) en la zona radicular para el grass *Paspalum* (hidrozona 1) es alto, dado que esta especie es tolerante a la salinidad y requiere por tanto una baja lixiviación (RL) de sales. Para el grupo de las plantas herbáceas de flor (hidrozona 2) y árboles (hidrozona 3), a pesar que se determinó una CEe baja, dado que se consideró a la especie menos tolerante a la salinidad, siendo para la primera *Gerbera jamesonii* “Gerbera” y para la segunda *Tecoma stans* “Huaranguay”, ambas clasificadas como sensibles, se determinó muy baja las necesidades de lavado de sales (RL) debido al tipo de riego de alta frecuencia (goteo). Cabe mencionar que la salinidad del agua de riego influyó poco en el requerimiento de lixiviación dado que está clasificada como de ligera restricción de uso basado en su conductividad eléctrica (CEa).

Por último, para la hidrozona 1 que cuenta con sistema de riego por aspersión, la eficiencia de aplicación (E_a) estuvo altamente determinado por el clima de la zona de estudio. Para la

hidrozona 2 y 3, fue determinada en forma general según información de rangos de eficiencia para sistemas de riego localizado de alta frecuencia. Se consideró el deterioro del sistema con el tiempo, por ello se asumió el menor valor posible.

a. Riego por aspersión

- **Hidrozona 1**

Como ya se determinó, la hidrozona 1 corresponde al césped que será regado con el sistema por aspersión. Cuenta con un área total de 3,359 m², destinado para recreación de los estudiantes, correspondiente a los sectores 1, 2, 3, 4 y 5 (*Plano N°03*), en el sector 3 se encuentra la caseta de bombeo y la cisterna.

La lámina neta (Ln) y lámina bruta (Lb) resultante es 14.5 mm y 19.3 mm, respectivamente. El intervalo de riego ajustado (Iajus) es de 2 días. Por lo tanto, la lámina bruta ajustada (Lbajus) es 13.2 mm. La velocidad de infiltración del suelo se determinó por método indirecto, para una textura de suelo franco sale mayor o igual a 15 mm/h, clasificado como moderadamente lento. Se trabajó con rociadores. La pluviometría (P) y el tiempo de riego (T) son variables según los sectores. La separación de los rociadores está en función del tipo y presión de boquilla. Todos los resultados se muestran en el *Cuadro N° 22*.

El riego para el sistema de por aspersión, será una vez al día, este puede ser en la mañana o en la noche, cuando haya pocos transeúntes en las áreas verdes.

Cuadro 22 : Diseño agronómico para el sistema de riego por aspersión en césped - hidrozona 1

DESCRIPCIÓN	UNID.	VALORES	
Tipo de sistema de riego	-	Aspersión	
Área de riego	m ²	3,359	
Sectores de riego (S)	-	1, 2, 3, 4 y 5	
Especies	-	Césped	
Tipo de aspersor	-	Aspersor Serie VAN	
Boquilla de rociador	-	4, 6, 8, 10, 12, 15, 18 VAN	
Caudal (0° - 330° y 0° - 360°)	l/h	Boquilla 4, 6 y 8 VAN (0°-330°): 66-384	Boquilla 10, 12, 15 y 18 VAN (0°-360°): 168 -1206
Lámina neta (Ln)	mm	14.5	
Lámina bruta (Lb)	mm	19.3	
Necesidad neta (Nn)	mm/día	4.94	
Intervalo de riego (I)	días	2.0	
Lámina neta ajustada (Lnajus)	mm	9.88	
Lámina bruta ajustada (Lbajus)	mm	13.2	
Pluviometría del sector (P)	mm/h	Ps1 = 35.8 Ps2 = 32.4 Ps3 = 31.3 Ps4 = 36.1 Ps5 = 34.3	
Velocidad de infiltración	mm/h	>15	
Radio de alcance	m	Boquilla 4, 6 y 8 VAN: 1.2-3.1	Boquilla 10, 12, 15 y 18 VAN: 3.1-5.5
Separación entre rociadores	m	Boquilla 4, 6 y 8 VAN: 1.2-3.2	Boquilla 10, 12, 15 y 18 VAN: 3.1-5.6
Tiempo de riego (T)	min.	Ts1 = 22.1 Ts2 = 24.4 Ts3 = 25.3 Ts4 = 21.9 Ts5 = 23.4	

FUENTE: Elaboración propia (2016)

La *profundidad radicular* del césped, influyó notoriamente en la *lámina neta* limitando su valor, dado que tiene una baja profundidad a diferencia de otras plantas. Sin embargo, el césped no es muy *exigente en agua*, lo que permitió considerar un alto agotamiento de la humedad aprovechable, incrementando sustancialmente la *lámina neta*. Además, considerando el *tipo de riego* y la *cobertura* completa del suelo, fue necesario asumir el mojado total del mismo, el cual determina un aumento en la *lámina neta*. Por último, el ajuste del intervalo de riego significó una reducción de dicho parámetro.

Adicionalmente a los factores que tuvieron importancia en la *lámina neta*, la *lámina bruta* estuvo altamente influenciada por la *tolerancia a la salinidad* del césped, siendo la percolación profunda, incluida en la eficiencia de riego, suficiente para satisfacer las necesidades de lavado de sales del césped; en ese sentido, se excluyó el requerimiento de lixiviación en el proceso de cálculo. Por último, la baja *eficiencia de riego*, propio del riego por aspersión, determinó una alta *lámina bruta* que permita suministrar la *lámina neta* requerida por la planta.

La alta dosis neta de riego influyó significativamente en el intervalo de riego, incrementado su valor. Además, su ajuste significó una reducción en dicho parámetro.

La diferencia en el radio de alcance entre rociadores y aspersores influyó en la elección del emisor. La presencia de elementos (asientos) dentro de cada sector de riego no permitió tener un único marco riego (*Plano N°03*).

La pluviometría estuvo altamente influenciada por la presencia de elementos (asientos) dentro de cada sector de riego, sumado a ello la forma irregular del terreno.

El tiempo de riego estuvo altamente determinado por la alta pluviometría de cada sector de riego dando como consecuencia una reducción significativa de su valor.

La separación de emisores estuvo limitada por la cobertura total del suelo y la presencia de elementos (asientos) dentro de los sectores de riego.

b. Riego por goteo

El sistema de riego por goteo ocupa un total de área verdes de 557 m² aproximadamente y les corresponde las hidrozonas 2 y 3, donde están las plantas herbáceas de flor con los árboles. Los cálculos fueron independientes para cada hidrozona.

• Hidrozona 2

La lámina neta resultante es 4.06 mm y la lámina bruta 4.77 mm. El intervalo de riego fue ajustado de 1.55 a 1 día, con el cual la lámina neta y lámina bruta fueron ajustadas a 2.61 mm y 3.07 mm, respectivamente. La separación entre emisores es 0.6m y entre laterales 0.8 m. El caudal necesario es de 1 l/h con lo cual el tiempo de riego es 88 min. La disposición de emisores será en banda continua de humedad. Todos los resultados para la hidrozona 2 se muestran en el *Cuadro N° 23*. La distribución de las plantas herbáceas de flor se encuentra en el sector 6 (Gerbera), sector 7 (Salvia roja y Coreopsis, mitad cada uno), sector 8 (Geranio) y sector 9 (Gazania) (ver *Plano N°03*).

El riego se realizará a cualquier hora del día, ya que esas áreas no serán ocupadas por los estudiantes.

Cuadro 23 : Diseño agronómico del sistema de riego por goteo para las plantas herbáceas de flor - hidrozona 2

DESCRIPCIÓN	UNID.	VALORES
Tipo de sistema de riego	-	Goteo
Área de riego (total)	m ²	518.4
- Sector 6	m ²	127
- Sector 7	m ²	199.3
- Sector 8	m ²	121.3
- Sector 9	m ²	70.8
Plantas herbáceas de flor (total)	planta	7,703
- Gerbera	planta	2,032
- Salvia roja	planta	1,595
- Coreopsis	planta	1,595
- Geranio	planta	1,347
- Gazania	planta	1,133
Tipo de goteo	-	Tubería con gotero integrado
Lámina neta (Ln)	mm	4.06
Lámina bruta (Lb)	mm	4.77
Necesidad neta	mm/día	2.61
Intervalo de riego (I)	días	1
Lámina neta ajustada (Lnajus)	mm	2.61

«continuación»

Lámina bruta ajustada (Lbajus)	mm	3.07
Radio del gotero	m	0.38
Área mojada por el emisor	m ²	0.45
Nro. de emisores por metro lineal	unid.	2
Separación de emisores	m	0.60
Separación entre laterales	m	0.80
% superficie mojada	%	94.5
Solape	%	42.1
Caudal	l/h	1
Tiempo de riego	min.	88
Disposición de emisores	-	Banda continua de humedad

FUENTE: Elaboración propia (2016)

La *profundidad radicular* de las plantas herbáceas de flor influyó en la *lámina neta*, dado que tiene una relativa alta longitud de raíz que aumenta el agua disponible en la zona radicular. Por otro lado, el *tipo de riego* por goteo requiere de un déficit permisible de manejo muy bajo para que el agua esté en óptimas condiciones de extracción por la planta, disminuyendo sustancialmente la *lámina neta* y aumentando la frecuencia de riego. Además, como la cobertura es casi completa del suelo, fue necesario asumir un alto *porcentaje mínimo de mojado*, con el cual se requiere mayor dosis neta de riego. Por último, el ajuste del intervalo de riego generó una reducción de dicho parámetro.

Adicionalmente a los factores que tuvieron marcada influencia en la *lámina neta*, la *lámina bruta* estuvo altamente determinado por la alta *eficiencia de riego*, propio del riego localizado, determinando un alza de la *lámina bruta*. La sensibilidad general de las plantas a la salinidad del suelo no fue lo suficientemente alta para considerar una fracción de lavado que aumentara la *lámina bruta*.

El intervalo de riego estuvo influenciado por la baja dosis neta de riego que redujo su valor. Además, su ajuste representó una reducción significativa.

El caudal estuvo altamente determinado por la baja dosis neta de riego que determinó el uso de un bajo valor a fin de no incrementar el costo de inversión.

La separación de emisores estuvo influenciada por el bajo distanciamiento de las plantas que limitó su valor a fin de obtener una alta superficie de suelo mojado.

La *separación entre laterales* estuvo determinada principalmente por el *marco de plantación*, se tuvo la necesidad de considerar un lateral por cada dos hileras de plantas a fin de regular el porcentaje de superficie mojada y para facilitar las labores de mantenimiento de las áreas verdes.

El *tiempo de riego* estuvo influenciado por el poco número de emisores por m² y el bajo caudal de los emisores resultando en consecuencia un valor bajo.

La disposición de emisores estuvo influenciada por el alto porcentaje de suelo requerido dada la alta densidad de plantas.

- **Hidrozona 3**

La lámina neta resultante es 5.79 mm y la lámina bruta 6.82mm. El intervalo de riego fue ajustado de 1.81 a 1 día, con el cual la lámina neta y lámina bruta fueron ajustadas a 3.2 mm y 3.76 mm, respectivamente. El diseño se trabajó para diferentes rangos de diámetros de copa de árbol. Los anillos portaemisores estarán dispuestos alrededor del tronco del árbol, separados 0.6 m de distancia del centro (diámetro tronco del árbol). Se dispuso 4 emisores por árbol separados 0.85 m. El caudal necesario es de 4 l/h con lo cual el tiempo de riego es 135.8 min. En la *Fig. N° 52* se observa la disposición de los emisores. Todos los resultados para la hidrozona 3 se muestran en el *Cuadro N° 24*. La distribución de los árboles se encuentra en los sectores 6, 7, 8 y 9, un árbol en cada uno (*Plano N°03*).

El riego se realizará a cualquier hora del día, ya que esas áreas no serán ocupadas por los estudiantes.

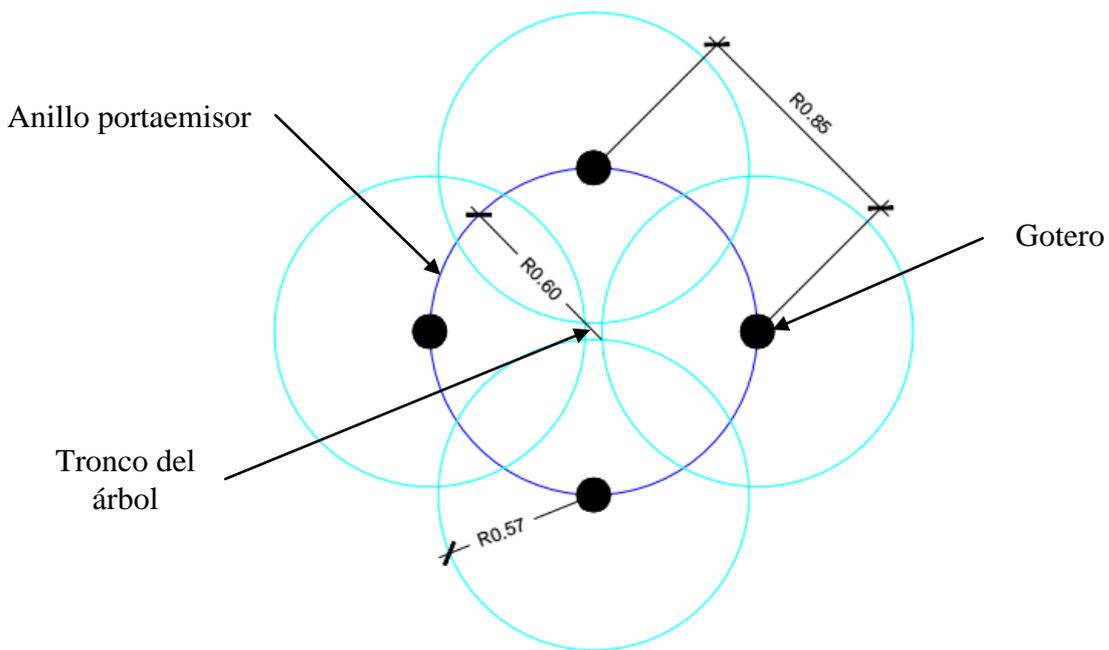


Figura 52: Representación de los emisores por árbol

Cuadro 24: Diseño agronómico del sistema de riego por goteo para árboles - hidrozona 3

DESCRIPCIÓN	UNID.	VALORES
Tipo de sistema de riego	-	Goteo
Área de riego	m ²	38.5
Plantas arbóreas	árbol	4
Tipo de goteo	-	Microtubo con goteros
Lámina neta (Ln)	mm	5.79
Lámina bruta (Lb)	mm	6.82
Necesidad neta	mm/día	3.20
Intervalo de riego (I)	días	1
Lámina neta ajustada (Lnajus)	mm	3.20
Lámina bruta ajustada (Lbajus)	mm	3.76
Ø de copa árbol	m	3.5
Superficie área sombreada	m ²	9.6
Radio del gotero	m	0.57
Área mojada por el emisor	m ²	1.02
Nro. de emisores	unid.	16 (4 emisores/árbol)
Distancia de emisores al centro (Ø tronco árbol)	m	0.60
Separación de emisores	m	0.85
% superficie mojada	%	42.4
Solape	%	50.9
Caudal	l/h	4
Tiempo de riego	min.	135.8

«continuación»

Disposición de emisores	-	Bulbo húmedo, emisores por árbol
-------------------------	---	----------------------------------

FUENTE: Elaboración propia (2016)

La *profundidad radicular* de los árboles influyó en la *lámina neta*, dado que tienen una alta longitud de raíz que aumenta considerablemente el agua disponible en la zona radicular y por ende la dosis o lámina neta de riego. Por otro lado, el *tipo de riego* por goteo requiere de un *déficit permisible de manejo* muy bajo para que el agua esté en óptimas condiciones de extracción por la planta, disminuyendo sustancialmente la lámina neta y aumentando la frecuencia de riego. Además, como la *densidad de plantas* es baja, sólo fue necesario asumir un bajo porcentaje mínimo de suelo mojado que disminuyó la lámina neta. Por último, el ajuste del intervalo de riego generó una reducción de dicho parámetro.

Adicionalmente a los factores que tuvieron marcada influencia en la lámina neta, la *lámina bruta* estuvo altamente determinada por la alta *eficiencia de riego*, propio del riego localizado, el cual determinó un aumento considerable de la lámina bruta. La sensibilidad general de las plantas a la salinidad del suelo no fue lo suficientemente alta para considerar una fracción de lavado que aumentara la lámina bruta.

El intervalo de riego estuvo influenciado por la baja dosis neta de riego que redujo su valor. Además, su ajuste representó una reducción significativa.

El caudal y número de emisores estuvo influenciada por la mediana superficie mojada requerida y la baja dosis bruta de riego de tal forma que se usó valores medios para ambos parámetros.

La separación de emisores fue influenciada por la regular distancia del anillo porta-emisor al tronco del árbol y mediano número de emisores por árbol, de tal modo que dicho parámetro alcanzó valores medios.

El mediano número de emisores por árbol y caudal del gotero influyeron en el tiempo de riego generando un valor relativamente alto.

La disposición de emisores estuvo influenciada por el mediano porcentaje de suelo mojado requerido.

4.4 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

4.4.1 Cisterna

La cisterna se localiza frente al Pabellón A dentro del sector 3, está enterrada y almacena el agua que se bombea desde un pozo tubular cercano al reservorio que se encuentra dentro de la universidad. El reservorio es de concreto armado techado y enterrado, para dar una mejor estética al campus de la universidad, y la capacidad de almacenamiento es de 60m^3 , cuya capacidad satisface la demanda hídrica requerida que resultó 46m^3 .

4.4.2 Unidad de bombeo

a. Riego por aspersión

- ***Requerimientos de presión y bombeo***

Para determinar los requerimientos de presión se tuvo que analizar las pérdidas de carga de los componentes del sistema de riego tanto para aspersión como goteo, y también determinar el caudal máximo con que se regará. Para el riego por aspersión (Bomba 1) se analizó los siguientes factores:

- Pérdida en la tubería principal o matriz
- Pérdida en la tubería secundaria
- Pérdida por desnivel topográfico (Se consideró terreno plano, por lo cual es cero)
- Pérdida en singularidades
- Pérdida en el arco de riego(electroválvula)
- La profundidad del reservorio
- Pérdida en el cabezal de riego(se considera 10m)
- Margen de seguridad
- La presión de trabajo(21m para el difusor seleccionado)

La síntesis del cálculo se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 25: Requerimiento de CDT y caudal máximo para bomba 1

SECTOR	Pérdida calculada con Epanet(m)	Pérdida Singularidades 15% (m)	H Cabezal(m)	Presión Trabajo(m)	H Arco de Riego(m)	Margen de Seguridad (10%) (m)	Profundidad de Reservorio (m)	Carga Dinámica Total (m)	Caudal (l/s)	Caudal (m3/h)
	A	B	C	D	E	F	G	H		
1	4.81	0.722	10	21	3.3	3.65	3	46.5	5.1	18.36
2	4.73	0.710	10	21	5.4	3.64	3	48.5	6.9	24.84
3	4.15	0.623	10	21	4.3	3.58	3	46.6	6.63	23.87
4	4.86	0.729	10	21	5.4	3.66	3	48.6	7.13	25.67
5	5.44	0.816	10	21	4.3	3.73	3	48.3	6.51	23.44

FUENTE: Elaboración propia

Donde:

$$F= 10\%(A+B+C+D+E)$$

$$B= 15\%(A)$$

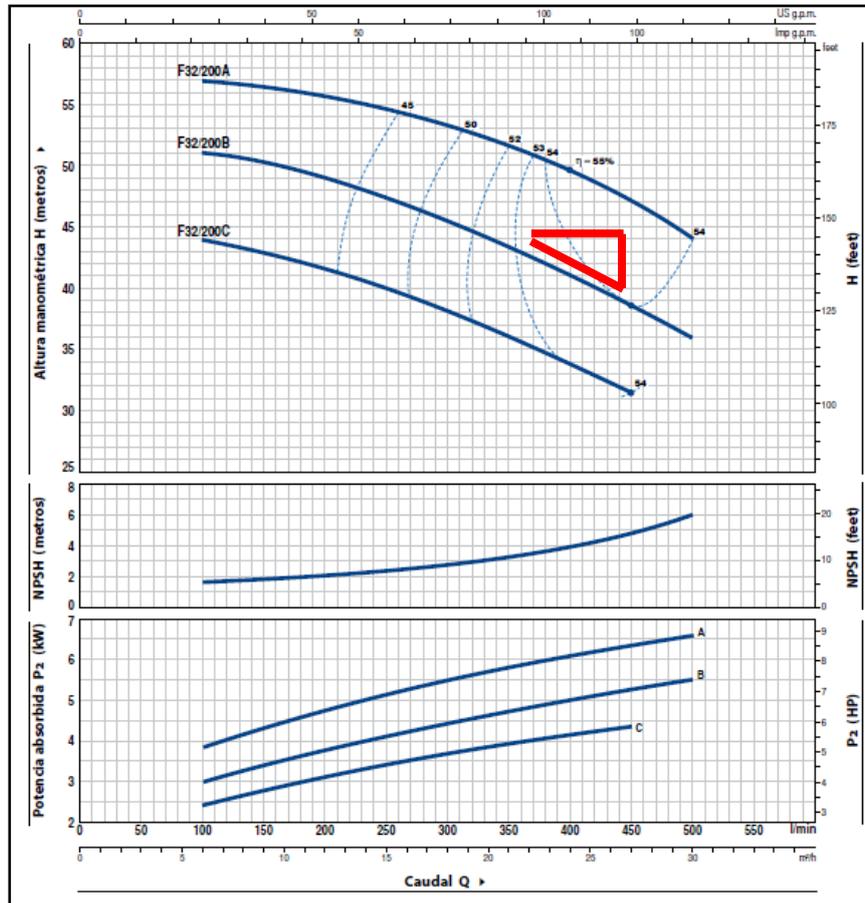
$$H= A+B+C+D+E+F+G$$

- **Sistema de bombeo**

La selección de la bomba para el riego por aspersión se tuvo en cuenta las siguientes condiciones:

- Condiciones de Operación:
 - Q= 7.13 l/s =25.7 m3/h
 - CDT= 48.6m
 - Uso con fines agrícolas y jardinería
 - Para agua limpia sin pulpas
- Condiciones de instalación:
 - Es una electrobomba horizontal con succión negativa
 - Velocidad de la bomba=3450rpm y 60Hz

Se buscó en catálogos, entre ellos se eligió la marca Pedrollo, y con las condiciones que tenemos, se buscaron en sus ábacos para 3450rpm y 60Hz. Luego, se identificó la curva característica de la electrobomba 32/200, e identificamos el caudal de 25.7m³/hr y la CDT: 48.6 metros:



MODELO	POTENCIA (P ₂)		Q	0	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	kW	HP		0	100	150	200	250	300	350	400	450	500
F 32/200C	4	5.5	H metros	46	44	43	41.5	40	38	36	34	31.5	
F 32/200B	5.5	7.5		52	51	50.5	49	47	45	43	41	38.5	36
F 32/200A	7.5	10		60	57	56.5	56	55	53.5	52	50	47	44

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Figura 53: Curvas de la bomba seleccionada para el riego por aspersión

Resultando para el riego por aspersión una electrobomba centrífuga de 10Hp de marca Pedrollo modelo 32/200A.

b. Riego por goteo

Para el diseño del sistema de impulsión del riego por goteo se tomó en cuenta los requerimientos de presión a la entrada del lateral, la pérdida de carga en la tubería

principal, la presión de trabajo, pérdida en accesorios, cabezal de riego, el desnivel del reservorio y un factor de seguridad. Se evaluó para la hidrozona de las plantas herbáceas de flor, ya que resultaron con parámetros de presión y caudal más críticos que para los árboles, además se tomó en cuenta el sector más crítico, que es el sector 9 por ser el más alejado del cabezal de riego. A continuación se muestran los cuadros de presión y pérdida de carga para cada sector tanto para la hidrozona 2 y 3.

Cuadro 26: *Requerimiento de presión a ramales de las plantas herbáceas de flor*

Sectores	Ramal	Pm	3/4*hf	Po(Pm+ 3/4*hf)	Q(L/H)	Q(L/min) Total	V(m/s)
Sector 6	Ramal-FI1	10	0.82	10.82	201.00	4.55	0.38
	Ramal-FI2	10	0.05	10.05	72.00		
Sector 7	Ramal-FI3	10	0.19	10.19	118.00	7.63	0.88
	Ramal-FI4	10	0.53	10.53	172.00		
	Ramal-FI5	10	0.50	10.50	168.00		
Sector 8	Ramal-FI6	10	0.27	10.27	134.00	4.34	0.50
	Ramal-FI7	10	0.39	10.39	126.39		
Sector 9	Ramal-FI8	10	0.16	10.16	122.56	2.04	0.23

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Cuadro 27: *Requerimiento de presión a ramales de los árboles*

Sectores	Ramal	Pm	3/4*hf	Po(Pm+ 3/4*hf)	Q(L/H)	Q(L/min) Total	V(m/s)
Sector 6	Ramal Ar-1	10	0.0723	10.07	16	0.267	0.27
Sector 7	Ramal Ar-2	10	0.1037	10.10	16	0.267	0.27
Sector 8	Ramal Ar-3	10	0.099	10.10	16	0.267	0.27
Sector 9	Ramal Ar-4	10	0.1315	10.13	16	0.267	0.27

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Los cuadros para la pérdida de carga en cada lateral se detallan en el *Anexo N°6*. A continuación se muestra el cálculo para la CDT (carga dinámica total):

Cuadro 28: *Requerimiento de CDT y caudal máximo para bomba 2*

SECTOR	Presion de trabajo	Pérdida Subunidad	Presion requerida en portalateral	H Arco de Riego(m)	Pérdida en Tub. principal (m)	Pérdida singularidad 10%	Pérdida en Cabezal	Margen de Seguridad (10%) (m)	Desnivel del reservorio	Carga Dinámica Total (m)	Caudal (l/s)	Caudal (L/min)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
9	10	0.255	10.191	3.8	1.88	0.5935	10	2.59	3.00	32.1	0.31	18.57

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Donde:

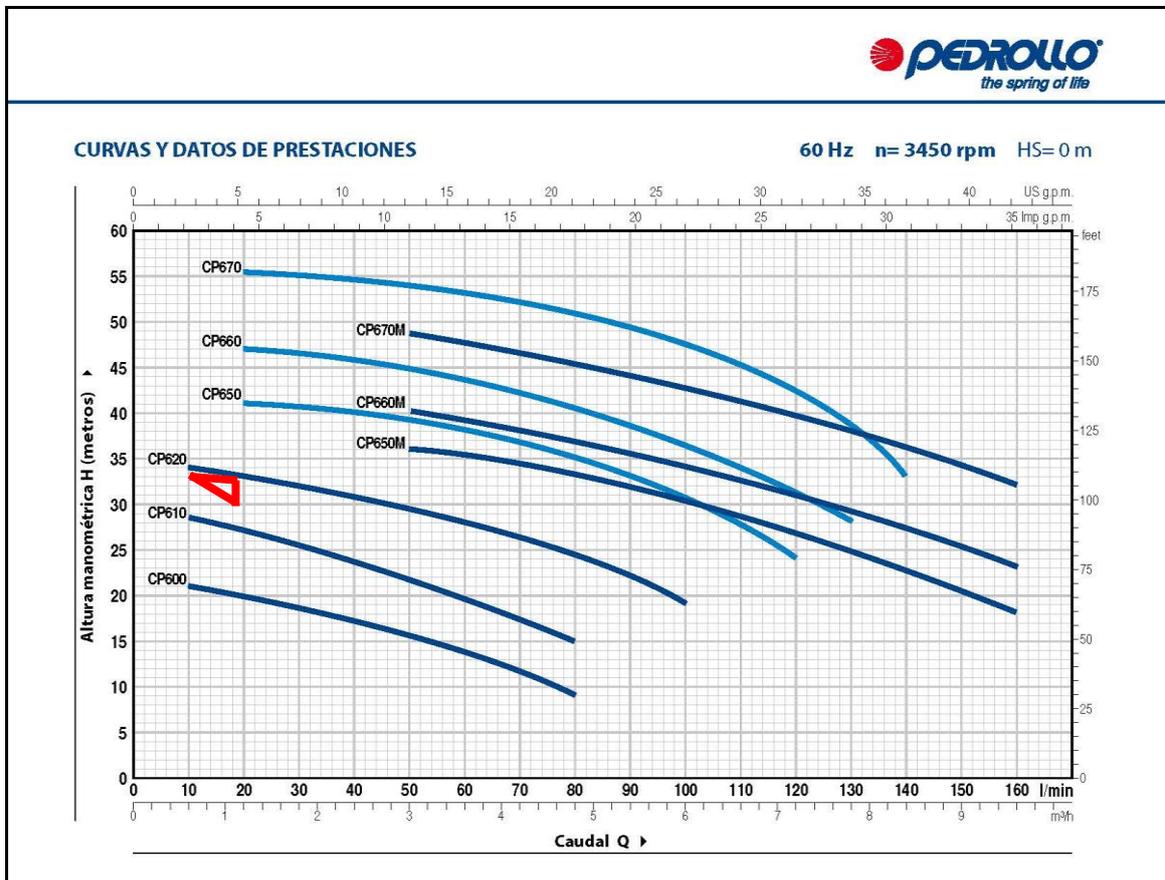
$$C = A + 0.75 * B$$

$$F = 10\% (B + D + E)$$

$$H = 10\% (C + D + E + G)$$

$$J = C + D + E + F + G + H + I$$

Con los requerimientos de la CDT y el caudal máximo, se seleccionó una electrobomba s de marca Pedrollo de modelo Cp 620 trifásica con una potencia de 1 Hp, como se muestra en la siguiente figura:



MODELO		POTENCIA (P2)		Q	m³/h																		
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6		
				l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
CPm 600	CP 600	0.37	0.50		22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19.5	17.5	15										
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19								

Figura 54: Curvas de la bomba seleccionada para el riego por aspersión

Resultando para el riego por goteo una electrobomba centrífuga de 1 Hp de marca Pedrollo modelo Cpm620.

4.4.3 Cabezal

-Sistema de filtrado: El filtro se implementará al sistema de riego por goteo y aspersión, y se utilizará un filtro de anillas de Ø1/2" de 120mesh para el riego por goteo y de Ø 2" de 80mesh para el riego por aspersión, siendo el objetivo de retener partículas de carácter inorgánico y en menor medida orgánico, ya que el reservorio se encuentra techado y almacena agua de pozo tubular. En la entrada y salida contará con dos manómetros para controlar la presión de entrada y salida, cuando la pérdida supere los 5-6m, se deberá hacer un mantenimiento o cuando el operador de riego lo requiera.

-Sistema de fertilización: Este sistema se implementará al riego por goteo, ya que las necesidades del manejo y control de fertilizantes es más primordial en las plantas herbáceas de flor y árboles que en el grass, por tener un amplio desarrollo vegetativo. Este sistema tiene mayor ventaja que proporcionar el fertilizante de manera tradicional, ya que en el riego localizado se sabe dónde se encuentran las raíces, concentradas en los bulbos húmedos, y se dispone el agua como vehículo que transporta la solución del fertilizante directamente hacia ellas.

El sistema estará compuesto, por un inyector Venturi en Bypass con válvula de bola de Ø1/2" para crear un diferencial de presión a través del inyector, y contará con 01 tanque de PE x 300 litros para la solución del fertilizante. Complementado con filtro de malla de Ø 1/2" para una correcta operación.

4.4.4 Redes de conducción y distribución

Para el riego por aspersión se utilizarán tuberías de PVC clase 10 UF (unión flexible) y SP (simple presión), para la tubería principal se utilizará 2 diámetros de tuberías: tubería de PVC UF Ø 75mm CI-10, tubería PVC UF Ø 90mm CI-10. Para la tubería secundaria, se utilizará las siguientes tuberías: tubería PVC SP Ø 1/2" CI-10, tubería PVC SP Ø 1" CI-10, tubería PVC SP Ø 1 1/4" CI-10, tubería PVC SP Ø 1 1/2" CI-10, tubería PVC SP Ø 2" CI-10. Para el sistema de riego por goteo, la red de tuberías están conformadas de tuberías de PVC SP Ø 1/2" CI-10 para la tubería principal y para las líneas portagoteros la red está

conformada por tubería de polietileno de baja densidad PEBD 2.5atm con diámetro de 16mm/40mil (espesor) para las plantas herbáceas de flor y 10mm/35mil (espesor).

Podemos mencionar, que el software Epanet versión 2.0vE ha sido de mucha utilidad para la modelación hidráulica, en las redes de tuberías y en el sistema de bombeo, por el procesamiento rápido y la visualización por codificación de colores y tablas (*ver Anexo N°7*) de los parámetros (velocidad, diámetro, presión, etc.) manejados, sin embargo es más trabajoso el poder ingresar los datos, ya que se tiene que ingresar seleccionando cada uno de los nudos, tuberías, bomba, etc.

4.4.5 Emisores de riego

- **Difusores:** Se seleccionó emisores tipo difusores con boquillas de la serie VAN: 4-VAN, 6-VAN, 8-VAN, 10-VAN, 12-VAN, 15-VAN y 18-VAN y cuya presión óptima de trabajo es de 21m o 2.1bar, el difusor consta de un cuerpo de la serie 1800-PRS de la marca Rain Bird, el cual asegura el rendimiento máximo de la boquilla a 2.1 bar de presión y previene la aparición de neblinas en el riego, asegura que a mayores presiones la boquilla emita el mismo caudal de riego, además mantiene la presión constante independientemente de la boquilla que se use.
- Cada difusor cuenta con un color característico y que sirve de guía para la colocación respectiva en cada sector de riego por aspersión como se muestra en el *Plano N°03*.

Cuadro 29: Relación de boquillas serie VAN

Modelo de Boquilla	Arco ajustable	Radio de alcance	Presión	Color
4 VAN	0°-330°	0.9m-1.2m	10-21m	
6 VAN	0°-330°	1.2m-1.8m	10-21m	
8 VAN	0°-330°	1.8m-2.4m	10-21m	
10 VAN	0°-360°	2.4m-3.0m	10-21m	
12 VAN	0°-360°	3.0m-3.7m	10-21m	
15 VAN	0°-360°	3.7m-4.6m	10-21m	
18 VAN	0°-360°	4.3m-5.5m	10-21m	

FUENTE: Elaboración propia (2016)

- **Goterros:** Los goteros para las plantas herbáceas de flor serán de tipo de laterales integrados con el caudal de emisor de 1 l/h y manguera de gotero de 16mm con un espaciamiento de 0.60m entre emisores y un radio mojado de 38cm. Para los árboles se conformarán línea de goteros en disposición de anillo cuyo gotero será tipo Katif de 4.0 l/h con un radio mojado de 57cm, ambos tipo de gotero integrado y sobrelínea tendrán una presión de trabajo de 10m, en promedio.

4.4.6 Automatización de riego

Se analizó dos componentes principales: las electroválvulas y el programador de riego. Para el riego por aspersión se utilizará electroválvulas de la marca de Rain Bird modelo PGA el cual controlará el riego para cada sector como se muestra en el *Cuadro N° 29*:

Cuadro 30: Válvulas de control por sector y turno de riego por aspersión

TURNOS	SECTOR	Válvula	Caudal (l/s)	Caudal (m3/hr)	Diam. Electroválvula PGA
1	1	V-1	5.1	18.36	2"
2	2	V-2	6.9	24.84	2"
3	3	V-3	6.63	23.868	2"
4	4	V-4	7.13	25.668	2"

«continuación»

5	5	V-5	6.51	23.436	2"
---	---	-----	------	--------	----

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Con respecto al riego por goteo se utilizó la misma marca de electroválvula para el riego por aspersión, pero comandarán para el turno de riego de las plantas herbáceas de flor (turno 6) y de los árboles (turno 7).

Cuadro 31: Válvulas de control por sector y turno de riego por goteo

Turnos	Sectores	Válvula	Caudal (l/s)	Caudal (l/min)	Diam. Electroválvula PGA
6	6	V-6	0.08	4.55	1"
	7		0.13	7.63	
	8		0.07	4.34	
	9		0.03	2.04	
7	6	V-7	0.044	0.267	1"
	7		0.044	0.267	
	8		0.044	0.267	
	9		0.044	0.267	

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Habrán dos programadores independientes para cada sistema de riego, electroválvulas estarán conectadas al programador mediante un cableado, cada electroválvula recibe un cable diferente de sector más otro que es común para todos. El programador abrirá las electroválvulas mediante una corriente eléctrica de 24 V (AC), y cuando cese la corriente, la electroválvula se cerrará.

El modelo de programador escogido es el de la serie *ESP-RZX* para interiores, de la marca *Rain Bird*, el cual puede programarse para 4,6 u 8 estaciones; para nuestro caso se diseñó para 5 estaciones, ya que son 5 turnos en riego por aspersión, y otro programador de 4 estaciones, que controlará los 2 turnos de riego por goteo. Según el catálogo, se encuentra en Anexos, sus características para la programación son:

- Su sencilla interfaz de usuario es fácil de explicar y presenta todas las características del programador en una sola pantalla
- Se monta con solo dos tornillos
- Pantalla LCD de grandes dimensiones con interfaz de usuario de navegación sencilla

- Entrada de sensor meteorológico con anulación por software
- Circuito de arranque de válvula maestra/ bomba
- Memoria de programa no volátil (100 años)
- Puede programarse con alimentación por pilas



Figura 55: Programador Rain Bird ESP-RZX

Con respecto al cableado eléctrico, se calculó secciones 0.5mm² y 0.1mm² para riego por aspersión y goteo respectivamente, sin embargo, en el catálogo de la marca Rain Bird, se encontró un tipo de cable eléctrico multiconductor del modelo *Irricable*, que contiene conductores de 0.8mm² (18 AWG), el cual tiene una cubierta de polietileno de color negro, resistente a las agresiones mecánicas, químicas y a la humedad, además es ideal para conducir la corriente eléctrica desde la regleta de conexión del programador hacia las electroválvulas. Para el riego por aspersión se instalará un cable eléctrico multiconductor con 6 conductores (5 electroválvulas y una en común), y para el riego por goteo 3 conductores (2 electroválvulas y una en común).

4.4.7 Obras civiles complementarias

Se tendrán en cuenta que en los cruces de veredas se deberá dejar pasa tubos de 4" para que los tubos de las redes principales pasen con facilidad de una lado a otro. Los difusores tendrán que protegerse con un protector de concreto para que al momento de hacer el corte del grass, no se corten las boquillas de los difusores.

4.5 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

Cuadro 32: Presupuesto de inversión de tuberías, equipos y otros

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	METRADO	PRESUP. PARCIAL		SUBTOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)	
				C. UNIT. (S/.)	C. PARCIAL (S/.)			
I	TUBERÍAS Y EQUIPOS DE RIEGO							18,867.20
1	Red de tuberías y accesorios					3,662.50		
2	Sistema de riego por aspersión					4,952.00		
3	Sistema de riego por goteo					1,861.70		
4	Automatización					1,356.00		
5	Sistema de Bombeo y filtrado					6,520.00		
6	Sistema de fertilizante					515.00		
INVERSIÓN TOTAL DE TUBERÍAS Y EQUIPOS DE RIEGO						18,867.20	18,867.20	
II	OTROS							
1	Transporte de fletes de equipo	GLB	1	1,000.00	1,000.00	2,000.00	2,000.00	
2	Capacitación y asistencia técnica	GLB	1	1,000.00	1,000.00			
INVERSIÓN TOTAL DE OTROS						2,000.00	2,000.00	
INVERSIÓN TOTAL DE TUBERÍAS, EQUIPOS Y OTROS (COSTO DIRECTO)						20,867.20	20,867.20	
UTILIDAD (10%)							2,086.72	
GASTOS GENERALES (10%)							2,086.72	
IMPREVISTOS (5%)							1,043.36	
SUBTOTAL							26,084.00	
IGV (18%)							4,695.12	
COSTO TOTAL DE TUBERÍAS, EQUIPOS DE RIEGO Y OTROS, INCL. IGV (S/.)							30,779.12	
COSTO TOTAL DE TUBERÍAS, EQUIPOS DE RIEGO Y OTROS, INCL. IGV (S/.)							9,160.45	

Tipo de cambio \$1=3.36 soles

FUENTE: Elaboración propia (2016)

Cuadro 33: Presupuesto de inversión por instalación del sistema de riego

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
I	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO		17,623.51
1	OBRAS PRELIMINARES	1,246.80	
2	MOVIMIENTO DE TIERRA	11,557.67	
3	RED DE TUBERÍAS MATRICES	412.23	
4	ARCO DE RIEGO (VÁLVULAS Y ACCESORIOS)	238.50	
5	LÍNEA DE RIEGO POR ASPERSION	3,348.00	
6	LÍNEA DE RIEGO GOTEO	148.81	
7	CABEZAL DE RIEGO Y AUTOMATIZACIÓN	360.00	
8	PRUEBA HIDRÁULICA	311.50	

«continuación»

INVERSIÓN TOTAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	17,623.51	17,623.51
IGV (18%)		3,172.23
COSTO TOTAL DE INST. DEL SISTEMA DE RIEGO, INCL. IGV (S/.)		20,795.74
COSTO TOTAL LA INST. DEL SISTEMA DE RIEGO, INCL. IGV (\$/.)		6,189.21

Tipo de cambio \$1=3.36 soles

FUENTE: Elaboración propia (2016)

El costo total de tuberías, equipos de riego e instalación del sistema de riego suma un total de \$ 15,349.66 dólares americanos, en soles sería un total de S/. 51,574.86 con un factor de cambio de S/. 3.36.

V. CONCLUSIONES

- En el diseño del sistema de riego para las áreas verdes de la universidad “César Vallejo” sede Lima Norte se propone riego por aspersión y goteo, usando plantas ornamentales del mismo lugar y otras adaptables a la zona.
- El suelo presenta una textura franca, adecuado para todas las plantas propuestas, y con una infiltración básica aprox. de 15 mm/h.
- El suelo del lugar es muy ligeramente salino, características aceptable para la mayoría de las plantas ornamentales. El nivel de materia orgánica es medio, adecuado para todas las especies comprendidas en el diseño.
- El agua es de buena calidad, no representando un problema para las plantas ni el sistema de riego.
- La capacidad de la cisterna existente de 60m³ satisface la demanda hídrica requerida de 47m³ para el riego de las plantas herbáceas de flor, el grass y los árboles.
- El diseño agronómico comprende, principalmente, los siguientes parámetros para el riego por aspersión en césped: Lámina neta 9.88 mm, lámina bruta 143.2 mm, intervalo de riego 2 días, caudal de 1.1 a 20.1 l/h y tiempo de riego de 21.9 a 25.3 min.
- El diseño agronómico comprende los siguientes parámetros para el riego por goteo en las plantas herbáceas de flor: Lámina neta 2.61 mm, lámina bruta 3.07 mm, intervalo de riego 1 día, separación entre emisores 0.6 m y entre laterales 0.8 m, caudal 1 l/h y tiempo de riego 88 min. En árboles: Lámina neta 3.2 mm, lámina bruta 3.76 mm, intervalo de riego de 1 día, 4 emisores por árbol, separación entre emisores 0.85 m, caudal 4 l/h y tiempo de riego 135.8 min.
- La instalación de riego cuenta con 7 turnos de riego, el turno que se abastecerá de mayor caudal es el turno 4 con 7.13 l/s o 25.7 m³/hr, y está compuesto por un área verde de 696.3 m².
- Se instalarán una bomba para cada sistema de riego, para el riego por aspersión se implementará una electrobomba centrífuga de 10Hp de marca Pedrollo modelo 32/200 y para el sistema de riego por goteo es una electrobomba centrífuga de 1 Hp de marca Pedrollo modelo Cp620.
- Se utilizarán tuberías de PVC, de tipo UF (unión flexible) para tuberías de diámetros de 75mm y 90mm, como SP (simple presión) para tuberías de diámetros de ½”, 1”, 1 ¼”, 1 ½” y 2”, además para el riego por goteo su utilizaron tuberías de polietileno (PEBD), de 10mm y 16mm.

- El presupuesto de instalación y equipamiento del sistema de riego resultó en un total de 14 647 \$.
- El área efectiva a instalar el sistema de riego es de 3 915m², pero al tener mayor irregularidad geométrica, interrupciones de infraestructuras e hidrozonas, aumenta más la complejidad del diseño hidráulico y agronómico.

VI. RECOMENDACIONES

- Para mayor precisión en la determinación de la densidad aparente del suelo, esta no debe ser disturbada; vale decir, debe ser manipulada y trasladada al laboratorio con cuidado.
- Realizar ensayos de campo para determinar con precisión la velocidad de infiltración básica del suelo de la zona de estudio.
- Realizar pruebas de campo para determinar con exactitud el tamaño del bulbo húmedo de los goteros.
- Se recomienda realizar estudios agronómicos para determinar coeficientes de especie para plantas ornamentales, ya que hay escasa información.
- Adicionar materia orgánica y no usar fertilizantes alcalinizantes, para bajar ligeramente el pH, en general, a un valor óptimo de 6.5 – 7.
- Se recomienda no alterar el desnivel topográfico con movimientos de tierra futuros, ya que alteraría el diseño del sistema de riego.
- Se recomienda que la instalación eléctrica para las electroválvulas y el programador, los parámetros eléctricos como el amperaje y voltaje, estén dentro de los márgenes eléctricos que recomienda el fabricante.
- Se recomienda instalar hidrantes de riego sobre la tubería principal en carga (con presión) para el riego de los sectores, cuando haya electroválvulas dañadas o estén en mantenimiento y no se pueda efectuar el riego. Estos hidrantes deberían instalarse en una arqueta de registro como protección.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águila, VA. 2008. *Aprovechamiento de las aguas subterráneas y de drenaje de la cuenca del río chillón para el sistema de riego urbano VI etapa Av. Universitaria tram Av. Santa Elvira -Av. Antunez de Mayolo, distrito de Los Olivos*. Tesis Ing. Mec. de Fluidos. Lima, PE, UNMSM. 120 p.
- Allen, RG., Pereira, LS. y Raes, D. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2006. *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. (en línea). Roma, IT. Consultado 30 mar 2016. Formato PDF. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>
- Berlijn, JD. Brouwer, C. 1990. *Riego y drenaje*. 2 ed. México, Editorial Trillas. 100 p.
- Bouzat, P. 2013. *ABC del Diseño en espacios verdes*. Buenos Aires, AR. Ed. Hemisferio Sur. 93 p.
- Brosnan, JT. y Deputy, J. U.S. Department of Agriculture/CTAHR (College of tropical Agriculture and Human Resources, US). Cooperative Extension Service/University of Hawai'i at Mānoa, US. 2008. *Seashore Paspalum*. (en línea). Hawai'i, US. Consultado 17 mar 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/TM-1.pdf>
- Camacuari Suárez, LD, Flores Ríos, LS. 2010. *Diseño y evaluación económica del sistema de riego por goteo de plantones de Tara en el fundo Virgen de Fátima*. Trabajo de investigación. Lima, PE, UNALM.
- De la Fuente, C., Calleja F. 2013. *Instalación de sistemas de riego en parques y jardines*. 1 ed. Bogotá, CO. Ediciones de la U. 253 p.
- De los Ángeles Mejía, PJ. 2000. *Diseño de parque municipal en Santa Cruz de los Cárhamos*. Madrid, ES. 150 p.
- Díaz, C. 2014. *Diseño Hidráulico y Agronómico para un Sistema de Riego Tecnificado del sector la Arenita, Distrito Paján, Chicama*". Tesis Ing. Agr. Trujillo, PE, Univ. Priv. Antenor Orrego. 175 p.
- Ducrocq, M. 1990. *Sistemas de Irrigación*. Barcelona, ES, Ediciones CEAC. 116 p.
- Durán Ramírez, F. 2012. *Técnicas de Riego*. Bogotá, CO. Grupo Latino Editores. 348 p.
- Durán Ramírez, F. s.f. *Análisis de laboratorio de suelos y agua*. Colombia, Grupo Latino Editores. 360 p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. *Guía para la Descripción de Suelos*. (en línea). 4 ed. Roma, IT. Consultado 25 oct. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Fernández, F. 2011. *Diseño de un parque periurbano en el paraje “Las Salinas” perteneciente el T.M de roquetas del mar*. Tesis de ingeniero agrónomo.
- Fernández – Pola, J. 2010. *PLANTAS DE JARDÍN Y SUS EXIGENCIAS*. España, Ediciones Omega. 443 p.
- Fuentes, JL. 2003. *Técnicas de riego*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, ES. Ediciones Mundi-Prensa. 471 p.
- Gaete Vergara, L. 2001. *Manual de diseños de sistemas de riego tecnificado*. Tesis Ing. Mecánico, México, Univ. de Talca, 207 p.
- Gamarra, E. 2009. “*Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de alfalfa, en las parcelas demostrativas del I.E Pedro Pablo Palacios N° 86064, distrito de Piura, Provincia de Huaraz, Región Ancash*”. Tesis de Ing. Agrícola. Lima, PE, UNALM. 69 p.
- García Casillas, I. y Briones Sánchez, G. UAAAN (Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro, MX). 2009. *Sistemas de riego por aspersión y goteo*. 2 ed. México, Editorial Trillas. 277 p.
- García O, A. IPNI (Instituto Internacional de Nutrición Vegetal, US). 2012. *Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego*. (en línea). Georgia, US. Consultado 18 ago. 2016. Formato PDF. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- Gurovich Rosenberg, LA. Pontificia Universidad Católica de Chile. 2001. *Riego Superficial Tecnificado*. 4 ed. Santiago, CL. 616 p.
- Hidrostral. 2007. *Principios Hidráulicos de Bombas centrífugas*. Lima, PE. 6 p.
- Jahnke, E. 2013. *Guía de diseño e instalación de sistemas de riego automático*. Santiago, CL, Editora Territorio Verde, 29 p.
- Kenneth Tanji., Grattan, S., Grieve, C., Harivandi, A., Rollins, L., Shaw, D., Sheikh, B. y Wu, L. SCSC (Southern California Salinity Coalition, US). NWRI (National Water Research Institute, US). 2007. *Salt Management Guide for Landscape Irrigation with Recycled Water in Coastal Southern California*. (en línea). California, US. Consultado 11 ago. 2016. Formato PDF. Disponible en http://www.salinitymanagement.org/Literature_Review.pdf

- Lopez, JE. s.f. *Irrigación y Drenaje, Unidad 3: Necesidades hídricas de los cultivos*. s.l. Fac. de Agronomía. 90 p.
- Martín, R., Yruela, M., Plaza, R., Navas, A. y Fernández, R. 2004. *Manual de Riego de Jardines*. (en línea). Andalucía, ES. Consultado 22 abr. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/riegojardines.pdf>
- Medina, J. 2000. *Riego por goteo: teoría y práctica*. Ed. 4to. Mundi-prensa. México. 84 p.
- Medina San Juan, JA. 1979. *Riego por goteo: Teoría y prácticas*. Madrid, ES. Ed. Mundi-Prensa. 205 p.
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2013. *Demanda de agua en áreas verdes urbanas de Lima*, con un registro del 2002 al 2012.
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2013. *Atlas de Evapotranspiración Referencial*, con registro de 30 años de la estación Humboldt, La Molina.
- Monje Jiménez, RJ. 2006. *Manejo de céspedes con bajo consumo de agua*. (en línea). 2 ed. Andalucía, ES. Consultado 13 abr. 2016. Formato PDF. Disponible en http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337163240Manejo_de_cxspedes.pdf
- MML (Municipalidad Metropolitana de Lima, PE). 2014. In Memoria. PLAM (Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano) Lima y Callao 2035. (En línea). Lima, PE. Consultado 28 nov. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.transitemos.org/aprende-de-movilidad/plam-lima-y-callao-2035/>
- Palomino Velásquez, K. 2009. *Riego por aspersión*. Madrid, ES. Ed. Starbook. 154 p.
- Pino, MA. 2000. *Medición de Presión y Caudal*. Punta Arenas, CL. INIA, 65 p.
- Pittman, RA. 2003. *Agua Potable para poblaciones rurales*. 2 ed. Lima, PE . SER, 167 p.
- Pizarro, F. 1996. *Riegos localizados de alta frecuencia*. 3 ed. Mundi-prensa. 513 p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) Oficina del Perú. 2009. Viene de las alturas: disponibilidad y usos del agua. In Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2009. (En línea). Lima, PE. Consultado 24 nov. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://hdr.undp.org/sites/default/files/idh2009-peru-vol1-2.pdf>
- Razuri, R. 1988. *Diseño de riego por goteo*. Ed. 1era. Centro Interamericano de desarrollo integral de aguas tierras. 167 p.
- Reyes, S y Figueroa, IM. 2010. *Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile*. Santiago de Chile, CL. EURE. 110 p.

- Rodríguez, AM. 2003. *Manual de Riego para Jardines*. Madrid, ES. Ilustres S.L.(1), 262 p.
- Rucks, L. 2004. *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo, UY. Fac. de Agronomía- Univ. de la República., 68 p.
- Salcedo Carhuaz, C. 1995. *Riego por aspersión en los andes*. Lima, PE. ITACAB. 73 p.
- Saldarriaga, J. *Hidráulica de Tuberías: Abastecimiento de Agua, Redes y Riegos*. Barcelona, ES, Marcombo. 670 p.
- Sorensen, M; Barzetti, V; Keipi, K y Williams, J. Departamento de Desarrollo Sostenible del BID (Banco Interamericano de Desarrollo, US). 1998. Manejo de las áreas verdes urbanas. (En línea). Washington, D.C. Consultado 29 nov. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://services.iadb.org/wmsfiles/products/Publications/1441394.pdf>
- Tarjuelo Martín-Benito, JM. 2005. *El riego por aspersión y su tecnología*. 3 ed. Madrid, ES, Ediciones Mundi-Prensa. 581 p.
- Torres Rúa, LS. 2016. *Diseño y propuesta económica de un sistema de riego a presión para el parque "Los bomberos" en el distrito de Cieneguilla*. Trabajo de investigación. Lima, PE, UNALM.
- Universidad de California y Departamento de Recursos Hídricos de California. 2000. A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California: the Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. (en línea). California. Consultado 13 oct. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.water.ca.gov/wateruseefficiency/docs/wucols00.pdf>
- Vyrsa. 2015. *Recomendaciones técnicas en diseños de riego*. 12p. www.vyrsa.com.
- 2030 WRG (2030 Water Resources Group, US). 2009. *Charting our water future: economic frameworks to inform decision-making*. Washington, D.C.
- Zúñiga, E. 2004. *Diseño y evaluación del riego a presión*. Univ. De Costa Rica. Ed. De la Univ. De Costa Rica. 215 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Plantas ornamentales

Lista de plantas ornamentales y sus características

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	SUELO	CLIMA	ILUMINACIÓN	TOLERANCIA Y ADAPTABILIDAD	DIÁMETRO DE COPA DE ÁRBOL	DESARROLLO	CULTIVO
RELACIÓN DE GRASS								
<i>Paspalum vaginatum</i>	Paspalum	Textura media a fina, pH 6-8	Cálido	Pleno sol	Tolera suelos compactados, de alta salinidad, breves inundaciones. No tolera sombra, sequía			Rústica, fácil cultivo
RELACIÓN DE FLORES HERBÁCEAS								
<i>Pelargonium × hortorum</i>	Geranio	Arcilloso, ligeramente ácido de pH 5.5-6, buen drenaje	Templado a cálido	Pleno sol	Bastante tolerante y adaptable		Floración: Todo el año	Rústica, fácil cultivo. Distancia de trasplante 30 x 30 cm
<i>Gazania x hybrida</i>	Gazania	Arenoso, buen drenaje	Templado a cálido	Pleno sol			Floración: Primavera a verano	Fácil cultivo. Distancia de trasplante 30 x 30 cm
<i>Salvia splendens</i>	Salvia roja, banderillas	Ligero, arenoso y de buen drenaje	Templado a cálido	Pleno sol o semisombra				Rústica, fácil cultivo. Distancia de trasplante 30 x 30 cm
<i>Coreopsis grandiflora</i>	Coreopsis	Ligero, arenoso, con humus y de buen drenaje	Templado y ambiente seco	Pleno sol			Floración: Primavera a verano	Rústica y fácil cultivo. Distancia de trasplante 40 x 40 cm
<i>Gerbera jamesonii</i>	Gerbera	Arenoso y de buen drenaje	Templado a cálido, seco	Semisombra o sombra			Floración: Primavera a verano	No rústica, cultivo no fácil. Distancia de trasplante 40 x 40 cm
RELACIÓN DE ARBÓREAS								
<i>Schinus molle</i>	Molle serrano	Ligero, pobre en humus, buen drenaje, pH de 5.5-7.5	Clima subtropical	Pleno sol semisombra	Resiste suelos con pH de hasta 8.5, resistente a la sequía. No tolera salinidad	2.5-3 m	Trasplante: Primavera	Muy rústica
<i>Tecoma stans</i>	Huaranguay		Tropical húmedo	Demanda luz	Resistente a sequía, sombra (plantas jóvenes), suelos con mal drenaje. No soporta encharcamiento	3-4 m	Floración: Febrero a Diciembre	
<i>Thuja occidentalis</i>	Tuja	Consistencia media, profundo, buen drenaje, humus entre normal y pobre, pH de 6-7.5	Templado, húmedo	Semisombra	Resiste pH del suelo hasta 8.5. No tolera salinidad	1.5-2	Trasplante: Invierno	

Fuente: Elaboración propia

Imágenes de las plantas ornamentales

		
<p><i>Paspalum vaginatum</i> "Paspalum"</p>	<p><i>Pelargonium x hortorum</i> "Geranio"</p>	<p><i>Gazania x hybrida</i> "Gazania"</p>
		
<p><i>Salvia splendens</i> "Salvia roja"</p>	<p><i>Gerbera jamesonii</i> "Gerbera"</p>	<p><i>Coreopsis grandiflora</i> "Coreopsis"</p>
		
<p><i>Tecoma stans</i> "Huaranguay"</p>	<p><i>Schinus molle</i> "Molle serrano"</p>	<p><i>Thuja occidentalis</i> "Tuja"</p>

Anexo 2: Relación de plantas y valores de Ke

Lista de plantas ornamentales con sus coeficientes de especies (Ke)

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Ke	PROMEDIO DE Ke
RELACIÓN DE GRASS			
<i>Paspalum vaginatum</i>	Paspalum	0.9	0.9
RELACIÓN DE PLANTAS HERBÁCEAS DE FLOR			
<i>Pelargonium × hortorum</i>	Geranio	0.38	0.4
<i>Gazania x hybrida</i>	Gazania	0.5	
<i>Salvia splendens</i>	Salvia roja, banderillas	0.32	
<i>Coreopsis grandiflora</i>	Coreopsis	0.3	
<i>Gerbera jamesonii</i>	Gerbera	0.5	
RELACIÓN DE ARBÓREAS			
<i>Schinus molle</i>	Molle serrano	0.5	0.5
<i>Tecoma stans</i>	Huaranguay	0.5	
<i>Thuja occidentalis</i>	Tuja	0.5	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Relación de plantas y su tolerancia a la salinidad

Lista de plantas ornamentales con sus tolerancias a la salinidad y su clasificación

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	TOLERANCIA A SALINIDAD (dS/m)	CLASIFICACIÓN*
RELACIÓN DE GRASS			
<i>Paspalum vaginatum</i>	Paspalum	>10	Tolerante
RELACIÓN DE PLANTAS HÉRBACEAS DE FLOR			
<i>Pelargonium × hortorum</i>	Geranio	4-8	Moderadamente sensible
<i>Gazania x hybrida</i>	Gazania	8-10	Tolerante
<i>Salvia splendens</i>	Salvia roja	4-8	Moderadamente sensible
<i>Coreopsis grandiflora</i>	Coreopsis	4-8	Moderadamente sensible
<i>Gerbera jamesonii</i>	Gerbera	3	Sensible
RELACIÓN DE ARBÓREAS			
<i>Schinus molle</i>	Molle serrano	2-4	Sensible
<i>Tecoma stans</i>	Huaranguay	2	Sensible
<i>Thuja occidentalis</i>	Tuja	8-10	Tolerante

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Resultados de análisis de agua y criterios de interpretación de la calidad de agua para riego



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MÓLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 006825

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : CESAR PALOMINO MARCELO
PROYECTO : Tesis de riego tecnificado en la Univ. Cesar Vallejo
PROCEDENCIA : Campus de la Universidad Cesar Vallejo del pozo tubular
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 23 de Marzo del 2016

Nº LABORATORIO	6825
Nº DE CAMPO	<i>Agua</i>
CE dS/m	1.59
pH	7.42
Calcio meq/l	11.38
Magnesio meq/l	2.98
Sodio meq/l	1.50
Potasio meq/l	0.03
SUMA DE CATIONES	15.88
Cloruro meq/l	2.23
Sulfato meq/l	7.91
Bicarbonato meq/l	5.34
Nitratos meq/l	0.31
Carbonatos meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES	15.78
SAR	0.56
CLASIFICACION	C3-S1
Boro ppm	0.40

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

 ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
 JEFE DE LABORATORIO



Criterios de interpretación de la calidad de agua para riego (FAO)

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO		
		NINGUNO	LIGERO O MODERADO	SEVERO
Salinidad				
CEa	dS/m	<0.7	0.7 - 3	>3
o				
TDS	mg/l	<450	450 - 2000	>2000
Infiltración				
RAS = 0 - 3 y CEa =		>0.7	0.7 - 0.2	<0.2
= 3 - 6 =		>1.2	1.2 - 0.3	<0.3
= 6 - 12 =		>1.9	1.9 - 0.5	<0.5
= 12 - 20 =		>2.9	2.9 - 1.3	<1.3
= 20 - 40 =		>5	5 - 2.9	<2.9
Toxicidad de iones específicos				
Sodio (Na)				
Riego superficial	RAS	<3	3 - 9	>9
Riego por aspersión	meq/l	<3	>3	
Cloruro (Cl)				
Riego superficial	meq/l	<4	4 - 10	>10
Riego por aspersión	meq/l	<3	>3	
Boro (B)	mg/l	<0.7	0.7 - 3	3
Elementos traza				
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5 - 30	>30
Bicarbonatos (HCO ₃ -) (Solo riego por aspersión)	meq/l	<1.5	1.5 - 8.5	>8.5
pH		Rango normal 6.5 - 8.4		

Anexo 5: Resultado de los análisis de suelo y tabla de interpretación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : DANIEL QUINTANA ROJAS
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LOS OLIVOS
REFERENCIA : H.R. 53471
BOLETA : 12966
FECHA : 15/03/2016

Número Muestra		C.C.	P.M.	D.A.
Lab	Claves	%	%	g/cm3
1429		25.03	14.14	1.33

Número Muestra		Arena	Limo	Arcilla	Clase
Lab	Claves	%	%	%	Textural
1429		48	34	18	Fr.


Dr. Sandy García Bendejú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : DANIEL QUINTANA ROJAS
Departamento : LIMA
Distrito : LOS OLIVOS
Referencia : H.R. 55863-140C-16

Provincia : LIMA
Predio :
Fecha : 27/09/16

Boll.: 13544

Lab	Número de Muestra		C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes Bases	% Sat. De Bases			
	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺ + H ⁺					
12260	Césped		7.85	1.90	4.80	2.01	5.8	310	51	29	20	Fr.	13.76	10.65	1.90	0.89	0.32	0.00	13.76	13.76	100

A = Arena ; A.F. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
Fr. Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.L. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Sady Beria Bendezú
Jefe del Laboratorio

METODOS SEGUIDOS EN EL ANALISIS DE SUELOS

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
3. PH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 ó en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2.5.
4. Calcio total (CaCO₃): método gaso-volumétrico utilizando un calcimetro.
5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. %M.O. = %Cx1.724.
6. Nitrogeno total: método del micro-Kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO₃=0.5M, pH 8.5
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄)_N, pH 7.0
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄)_N; pH 7.0
10. Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH₃-COONH₄)_N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
11. Al³⁺, H⁺: método de Yuan. Extracción con KCl, N
12. Iones solubles:
 - a) Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
 - b) Cl, Co₃, HCO₃, NO₃ solubles: volumetría y colorimetría, SO₄ turbidimetría con cloruro de Bario.
 - c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
 - d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

Equivalencias:

- 1 ppm=1 mg/kilogramo
- 1 mililitro (ml)/cm³ = 1 deciSiemens/metro
- 1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+) / kg
- Salas solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes
- CE (1 : 1) mmho/cm x 2 = CE(es) mmho/cm

TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad	CE(es)	CLASIFICACIÓN	Materia Orgánica %	Fósforo disponible ppm P	Potasio disponible ppm K	Relaciones Catiónicas	
						K/Mg	Ca/Mg
Clasificación del Suelo							
*muy ligeramente salino	<2	*bajo	<2.0	<7.0	<100	0.2 - 0.3	5 - 9
*ligeramente salino	2 - 4	*medio	2 - 4	7.0 - 14.0	100 - 240	>0.5	
*moderadamente salino	4 - 8	*alto	>4.0	>14.0	>240	>0.2	
*fuertemente salino	>8						>10

Reacción o pH		CLASES TEXTURALES	
Clasificación del Suelo	pH	Fr.Ar.A	= franco arcillo arenoso
*fuertemente ácido	<5.5	Fr.Ar	= franco arcilloso
*moderadamente ácido	5.6 - 6.0	Fr.Ar.L	= franco arcilloso limoso
*ligeramente ácido	6.1 - 6.5	Ar.A	= arcilloso arenoso
*neutro	6.6 - 7.0	Ar.L	= arcilloso limoso
*ligeramente alcalino	7.1 - 7.8	Ar.	= arcilloso
*moderadamente alcalino	7.9 - 8.4		
*fuertemente alcalino	>8.5		

Distribución de Cationes %	
Ca ²⁺	= 60 - 75
Mg ²⁺	= 15 - 20
K ⁺	= 3 - 7
Na ⁺	= <15

Anexo 6: Riego por goteo

Riego en las plantas herbáceas de flor – Hidrozona 2

a. Tolerancia de caudales

Según Keller y Karmeli: Determinando el caudal mínimo del emisor en la sub unidad de riego:

$$CU = \left(1 - \frac{1.27CV}{\sqrt{e}}\right) \frac{Qns}{Qa}$$

Qns: Caudal mínimo del emisor en la subunidad

Qa: Caudal nominal del emisor

CV: Coeficiente de variabilidad

e: número de emisores por metro

Datos:

CV=	0.035
Qa=	1
e=	2
CU	0.9

Reemplazando:

$$Qns = \frac{0.9 * 1}{1 - \frac{1.27 * 0.030}{\sqrt{2}}}$$

$$Qns = 0.925$$

Variación de caudales:

$$\Delta Q = \frac{|qa - qns|}{qa} \times 100$$

$$\Delta Q = \frac{|1 - 0.925|}{1} \times 100 = 8\% < 10\% \text{ Ok}$$

b. Tolerancia de Presiones

Conocido q_a y q_{ns} , así como la ecuación del emisor, $q = Kd \cdot h^x$, se calcula las presiones medias h_a y h_{ns} respectivamente reemplazando en la siguiente ecuación:

$$h = \left(\frac{q}{Kd}\right)^{1/x}$$

Dicha ecuación es despejada de la ecuación ya conocida del emisor.

De la ecuación: $q = 0.35 h^{0.455}$

$q_a = 1 \text{ l/h}$ $h_a = 10 \text{ m.c.a.}$

$q_{ns} = 0.92 \text{ l/h}$ $h_{ns} = 8.2 \text{ m.c.a.}$

Variación de presiones:

$$\Delta P = \frac{|h_a - h_{ns}|}{h_a} \times 100$$

$$\Delta P = \frac{|10 - 8.2|}{10} \times 100 = 16\% < 20\% \text{ Ok}$$

c. Pérdida de carga admisible

La diferencia de presión admisible en la sub unidad repartida entre la terciaria y la lateral es:

$$\Delta H_{(Sub\ Unidad)} = M(h_a - h_{ns})$$

Un valor de M=2.5 es un valor recomendado y da resultados satisfactorios.

$$\Delta H_s = 2.5 \times (10 - 8.2) = 3.82 \text{ m.c.a}$$

$$\Delta h_a \cong \frac{1}{2} \Delta H_s \cong 1.91 \text{ m.c.a}$$

Hidrozona 2 (plantas herbáceas de flor): Sector 6

Datos generales de los ramales porta goteros hidrozona 2- sector 6

Ramal	Longitud (m)	Nº de goteros	qa(l/h)	Caudal (l/h)
Ramal 1	120	201	1	201.00
Ramal 2	42.3	72	1	72.00

Ejemplo de aplicación para el ramal 1:

- La pérdida de carga unitaria: $J = 0.473 * \left(\frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \right)$ (régimen crítico y turbulento liso)

- Pérdida de carga del ramal: $h = JxLxF$
- Longitud total(m): $L = L_{lateral} + L_e$
- Longitud equivalente: $L_{equ.} = N^{\circ} salidas \times f_e$

Donde:

- f_e = longitud equivalente de la conexión, toma:0.23m
- Caudal del gotero q_a : 2.1 l/h
- Caudal del lateral: $Q = q_l$: 201 emisores x 1 l/h =201 l/h
- N° salidas= 201 emisores
- $L= 120+ 46.23= 166.23m$
- $F= 0.335$ (fórmula)

Siguiendo los mismos pasos que el ramal 1, se procedió calcular las pérdidas para los otros ramales, obteniéndose lo siguiente:

Pérdida de carga en los ramales del hidrozona 2-sector 6

Ramal	Φ nom.	Φ int.	Φ int ^{4.75}	$Q^{1.75}$	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
Ramal 1	12	10.1	58956	10729.84	0.086	166.23	0.335	4.794
	16	13.8	259672	10729.84	0.020	166.23	0.335	1.088
	20	17.6	824490	10729.84	0.006	166.23	0.335	0.343
Ramal 2	12	10.1	58956	1779.64	0.014	58.86	0.340	0.286
	16	13.8	259672	1779.64	0.003	58.86	0.340	0.065
	20	17.6	824490	1779.64	0.001	58.86	0.340	0.020

Hidrozona 2 (plantas herbáceas de flor): Sector 7

Datos generales de los ramales porta goteros hidrozona 3- sector 7

Ramal	Longitud (m)	N° de goteros	qa(l/h)	Caudal (l/h)
Ramal 3	70	118	1	118.00
Ramal 4	102.5	172	1	172.00
Ramal 5	100.1	168	1	168.00

Pérdida de carga en los ramales del hidrozona 3- sector 7

Ramal	Φ nom	Φ int.	Φ int ^{4.75}	Q ^{1.75}	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
Ramal 3	12	10.1	58956	4224.68	0.034	97.14	0.334	1.100
	16	13.8	259672	4224.68	0.008	97.14	0.334	0.250
	20	17.6	824490	4224.68	0.002	97.14	0.334	0.079
Ramal 4	12	10.1	58956	8169.11	0.066	142.06	0.336	3.128
	16	13.8	259672	8169.11	0.015	142.06	0.336	0.710
	20	17.6	824490	8169.11	0.005	142.06	0.336	0.224
Ramal 5	12	10.1	58956	7839.55	0.063	138.74	0.336	2.932
	16	13.8	259672	7839.55	0.014	138.74	0.336	0.666
	20	17.6	824490	7839.55	0.004	138.74	0.336	0.210

Hidrozona 2 (plantas herbáceas de flor): Sector 8

Datos generales de los ramales porta goteros hidrozona 2- sector 8

Ramal	Longitud (m)	Nº de goteros	qa(l/h)	Caudal (l/h)
Ramal 6	80	134	1	134.00
Ramal 7	91.2	153	1	153.00

Pérdida de carga en los ramales del hidrozona 2- sector 8

Ramal	Φ nom.	Φ int.	Φ int ^{4.75}	Q ^{1.75}	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
Ramal 6	12	10.1	58956	5277.56	0.042	110.82	0.337	1.581
	16	13.8	259672	5277.56	0.010	110.82	0.337	0.359
	20	17.6	824490	5277.56	0.003	110.82	0.337	0.113
Ramal 7	12	10.1	58956	6655.95	0.053	126.39	0.337	2.275
	16	13.8	259672	6655.95	0.012	126.39	0.337	0.516
	20	17.6	824490	6655.95	0.004	126.39	0.337	0.163

Hidrozona 2 (plantas herbáceas de flor): Sector 9

Datos generales de los ramales porta goteros hidrozona 2- sector 9

Ramal	Longitud (m)	N° de goteros	qa (l/h)	Caudal (l/h)
Ramal 8	66.4	112	1	112.00

Pérdida de carga en los ramales del hidrozona 2- sector 9

Ramal	Φ nom.	Φ int.	Φ int ^{4.75}	Q ^{1.75}	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
Ramal 8	12	10.1	58956	3855.95	0.031	92.16	0.338	0.964
	16	13.8	259672	3855.95	0.007	92.16	0.338	0.219
	20	17.6	824490	3855.95	0.002	92.16	0.338	0.069

Riego en Árboles – Hidrozona 3

a. Tolerancia de caudales

Según Keller y Karmeli: Determinando el caudal mínimo del emisor en la sub unidad de riego:

$$CU = \left(1 - \frac{1.27CV}{\sqrt{e}}\right) \frac{Qns}{Qa}$$

Qns: Caudal mínimo del emisor en la subunidad

Qa: Caudal nominal del emisor

CV: Coeficiente de variabilidad

e: número de emisores por planta

Datos:

CV= 0.040

Qa= 4

e= 4

CU 0.9

Reemplazando:

$$Qns = \frac{0.9 * 4}{1 - \frac{1.27 * 0.035}{\sqrt{4}}}$$

$$Qns = 3.69$$

Variación de caudales:

$$\Delta Q = \frac{|q_a - q_{ns}|}{q_a} \times 100$$

$$\Delta Q = \frac{|4 - 3.69|}{4} \times 100 = 8\% < 10\% \text{ Ok}$$

b. Tolerancia de Presiones

Conocido q_a y q_{ns} , así como la ecuación del emisor, $q = Kd \cdot h^x$, se calcula las presiones medias h_a y h_{ns} respectivamente remplazando en la siguiente ecuación:

$$h = \left(\frac{q}{Kd}\right)^{1/x}$$

Dicha ecuación es despejada de la ecuación ya conocida del emisor.

De la ecuación: $q = 1.38h^{0.45}$

$$q_a = 4 \text{ l/h} \quad h_a = 10.64 \text{ m.c.a.}$$

$$q_{ns} = 3.69 \text{ l/h} \quad h_{ns} = 8.92 \text{ m.c.a.}$$

Variación de presiones:

$$\Delta P = \frac{|h_a - h_{ns}|}{h_a} \times 100$$

$$\Delta P = \frac{|10.62 - 8.92|}{10.62} \times 100 = 16\% < 20\% \text{ Ok}$$

c. Pérdida de carga admisible

La diferencia de presión admisible en la sub unidad repartida entre la terciaria y la lateral es:

$$\Delta H_{(Sub\ Unidad)} = M(h_a - h_{ns})$$

Un valor de $M=2.5$ es un valor recomendado y da resultados satisfactorios.

$$\Delta H_s = 2.5 \times (10.64 - 8.92) = 4.32 \text{ m. c. a}$$

$$\Delta h_a \cong \frac{1}{2} \Delta H_s \cong 2.16 \text{ m. c. a}$$

Hidrozona 3 (árboles): Sector 6-7-8-9

Datos generales de los anillos en los árboles

Φ	Longitud	Sep. Entre emisores	Nro. De emisores	qa del emisor	Q anillo (l/h)
1.2	3.77	0.85	4	4	16

Ejemplo de aplicación para el ramal 1:

- La pérdida de carga unitaria: $J = 0.473 * \left(\frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \right)$ (régimen crítico y turbulento liso)
- Pérdida de carga del ramal: $h = J \times L \times F$
- Longitud total(m): $L = L_{lateral} + L_e$
- Longitud equivalente: $L_{equ.} = N^{\circ}_{salidas} \times f_e$

Donde:

- Caudal del gotero q_a : 4 l/h
- Caudal del lateral: $Q = 4 \text{ emisores} \times 4 \text{ l/h} = 16 \text{ l/h}$
- Long. Equivalente: $le = 18.91 \times di^{-1.84}$
 $di: 6 \text{ mm} \rightarrow le = 0.66 \text{ m} \times 4 = 2.64 \text{ m}$
 $di: 10.4 \text{ mm} \rightarrow le = 0.24 \text{ m} \times 4 = 0.96 \text{ m}$
 $di: 13.8 \text{ mm} \rightarrow le = 0.14 \text{ m} \times 4 = 0.56 \text{ m}$
- $F = 0.469$ (fórmula)

Se obtuvo la pérdida de carga en el anillo, y luego se obtuvo al ramal que se conecta a éste.

Pérdida de carga en el anillo

Φ nom.	Φ int.	$\Phi \text{ int}^{\wedge} 4.75$	$Q^{\wedge} 1.75$	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
10	6	4968	128	0.0122	6.42	0.469	0.037
12	10.4	67750	128	0.0009	4.72	0.469	0.002
16	13.8	259672	128	0.0002	4.33	0.469	0.000

Datos generales de los ramales

Ramal	Longitud(m)	Nro. de arboles	Nro. de goteros árbol	Caudal árbol(l/h)	Caudal lateral (l/h)
Ramal ar-1	2.92	1	4	4	16
Ramal ar-2	5.5	1	4	4	16
Ramal ar-3	5.15	1	4	4	16
Ramal ar-4	7.78	1	4	4	16

Pérdida de carga en el ramal del sector 6 de la hidrozona 3

Ramal Ar-1							
Φ nom.	Φ int.	Φ int. ^ 4.75	Q^1.75	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
10	6	4968	128	0.0122	2.92	1	0.036
12	10.4	67749.85	128.00	0.0009	2.92	1	0.0026
16	13.8	259672.32	128.00	0.0002	2.92	1	0.0007

Pérdida de carga en el ramal del sector 7 de la hidrozona 3

Ramal Ar-2							
Φ nom.	Φ int.	Φ int. ^ 4.75	Q^1.75	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
10	6	4968	128.00	0.0122	5.50	1	0.067
12	10.4	67749.85	128.00	0.0009	5.5	1	0.0049
16	13.8	259672.32	128.00	0.0002	5.5	1	0.0013

Pérdida de carga en el ramal del sector 8 de la hidrozona 3

Ramal Ar-3							
Φ nom.	Φ int.	Φ int. ^ 4.75	Q^1.75	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
10	6	4968	128.00	0.0122	5.15	1	0.063
12	10.4	67749.85	128.00	0.0009	5.15	1	0.0046
16	13.8	259672.32	128.00	0.0002	5.15	1	0.0012

Pérdida de carga en el ramal del sector 9 de la hidrozona 3

Ramal Ar-4							
Φ nom.	Φ int.	Φ int. ^ 4.75	Q^1.75	Blassius	Longitud	F	Pérdida de carga
10	6	4968	128.00	0.0122	7.78	1	0.095
12	10.4	67749.85	128.00	0.0009	7.78	1	0.0070
16	13.8	259672.32	128.00	0.0002	7.78	1	0.0018

Anexo 7: Resultados de simulación de tuberías del sistema de riego con Epanet 2.0

a. Diámetros y pérdida de carga en tuberías del sector N°1

ID Tubería	Longitud	Diám. Nominal	Diám. Nominal	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	(m)	(Pulg.)	(mm)		(LPS)	(m/s)	m/km
Tubería p14	1.54	3"	90	150	5.11	0.98	11.48
Tubería p5	5.004	3"	90	150	5.11	0.98	11.48
Tubería p6	9.51	3"	90	150	5.11	0.98	11.48
Tubería p391	14.13	2 1/2"	75	150	5.11	1.41	27.96
Tubería p401	2.408	2 1/2"	75	150	5.11	1.41	27.96
Tubería p608	3.665	2"	63	150	3.16	1.24	26.81
Tubería p609	0.4802	2"	63	150	3.16	1.24	26.8
Tubería p610	0.4802	2"	63	150	3	1.17	24.23
Tubería p611	6.332	2"	63	150	3	1.17	24.23
Tubería p612	3.242	2"	63	150	2.88	1.13	22.51
Tubería p402	1.475	1 1/2"	50	150	1.86	1.16	31.07
Tubería p403	5.628	1 1/2"	50	150	1.86	1.16	31.07
Tubería p419	1.425	1 1/2"	50	150	1.94	1.21	33.68
Tubería p420	2.956	1 1/2"	50	150	1.94	1.21	33.68
Tubería p482	4.789	1 1/2"	50	150	0.23	0.15	0.66
Tubería T4	5	1 1/2"	50	150	1.63	1.01	24.25
Tubería p405	2.508	1 1/4"	40	150	1.46	1.42	58.45
Tubería p406	0.2941	1 1/4"	40	150	1.46	1.42	58.46
Tubería p407	5.249	1 1/4"	40	150	1.29	1.26	46.61
Tubería p408	5.308	1 1/4"	40	150	1.17	1.14	39.1
Tubería p409	0.4465	1 1/4"	40	150	1.17	1.14	39.1
Tubería p410	0.5207	1 1/4"	40	150	1.13	1.1	36.25
Tubería p421	0.6507	1 1/4"	40	150	1.51	1.46	61.99
Tubería p425	3.84	1 1/4"	40	150	1.3	1.26	46.88
Tubería p442	0.4246	1 1/4"	40	150	1.34	1.3	49.94
Tubería p613	3.09	1 1/4"	40	150	1.58	1.54	67.82
Tubería p614	2.05	1 1/4"	40	150	1.58	1.54	67.82
Tubería p615	1.971	1 1/4"	40	150	1.58	1.54	67.82
Tubería T41	0.54	1 1/4"	40	150	1.34	1.3	49.94
Tubería T5	5	1 1/4"	40	150	1.46	1.42	58.46
Tubería p411	1.976	1"	32	150	1.13	1.73	110.43
Tubería p412	0.2598	1"	32	150	1.13	1.73	110.43
Tubería p413	0.2466	1"	32	150	1.08	1.66	102.06
Tubería p414	1.449	1"	32	150	1.08	1.66	102.06
Tubería p415	0.5551	1"	32	150	1.08	1.66	102.06
Tubería p416	0.7186	1"	32	150	1.08	1.66	102.06
Tubería p417	1.709	1"	32	150	1.08	1.66	102.06
Tubería p418	0.1879	1"	32	150	1.08	1.66	102.05
Tubería p426	0.8184	1"	32	150	1.03	1.58	93.66
Tubería p427	1.162	1"	32	150	0.9	1.38	72.69
Tubería p428	1.31	1"	32	150	0.65	0.99	39.56
Tubería p435	1.148	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p436	2.504	1"	32	150	0.25	0.39	6.88
Tubería p437	1.298	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p438	1.378	1"	32	150	0.26	0.41	7.5
Tubería p439	0.7894	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p440	0.7997	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p443	1.576	1"	32	150	1.16	1.78	116.67

«continuación»

Tubería p444	1.249	1"	32	150	0.99	1.53	87.37
Tubería p445	1.544	1"	32	150	0.73	1.12	49.33
Tubería p446	3.573	1"	32	150	0.47	0.72	21.48
Tubería p450	1.59	1"	32	150	0.18	0.27	3.65
Tubería p451	0.774	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p452	0.7775	1"	32	150	0.05	0.07	0.31
Tubería p453	2.769	1"	32	150	0.07	0.11	0.64
Tubería p454	0.5818	1"	32	150	0.17	0.26	3.25
Tubería p455	2.815	1"	32	150	0.26	0.41	7.5
Tubería p456	0.7968	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p457	0.7242	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p458	0.5879	1"	32	150	0.26	0.41	7.5
Tubería p459	2.796	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p464	0.315	1"	32	150	1.03	1.59	94
Tubería p465	2.393	1"	32	150	1.03	1.59	93.99
Tubería p466	0.3119	1"	32	150	0.9	1.38	72.98
Tubería p467	0.4405	1"	32	150	0.9	1.38	72.99
Tubería p468	2.334	1"	32	150	0.9	1.38	72.99
Tubería p469	2.334	1"	32	150	0.83	1.27	62.15
Tubería p470	0.426	1"	32	150	0.83	1.27	62.15
Tubería p471	0.3075	1"	32	150	0.83	1.27	62.15
Tubería p472	4.203	1"	32	150	0.76	1.16	52.76
Tubería p473	0.4444	1"	32	150	0.7	1.07	45.52
Tubería p474	4.266	1"	32	150	0.7	1.07	45.52
Tubería p475	3.302	1"	32	150	0.61	0.93	35.05
Tubería T29	1.98	1"	32	150	0.52	0.79	25.94
Tubería p422	2.439	1/2"	21	150	0.17	0.7	36.97
Tubería p423	4.717	1/2"	21	150	0.08	0.35	10.24
Tubería p424	1.407	1/2"	21	150	0.08	0.35	10.24
Tubería p432	0.1135	1/2"	21	150	0.25	1.06	80.09
Tubería p433	0.9406	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p434	3.202	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p447	1.129	1/2"	21	150	0.33	1.4	134.95
Tubería p448	1.104	1/2"	21	150	0.2	0.85	53.18
Tubería p449	1.179	1/2"	21	150	0.07	0.29	7.47
Tubería p460	1.357	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p461	2.592	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p462	2.404	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p463	1.135	1/2"	21	150	0.07	0.29	7.47
Tubería p476	0.9922	1/2"	21	150	0.34	1.44	141.76
Tubería p477	4.972	1/2"	21	150	0.25	1.06	79.5
Tubería p478	4.973	1/2"	21	150	0.08	0.35	10.24
Tubería p479	2.639	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p480	0.7663	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p481	0.8196	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería T30	3.02	1/2"	21	150	0.38	1.61	174.73
Tubería T42	0.75	1/2"	21	150	0.25	1.06	80.09

b. Diámetros y pérdida de carga en tuberías del Sector N°2

ID Tubería	Longitud	Diám. Nominal	Diám. Nominal	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	(m)	(Pulg.)	(mm)		(LPS)	(m/s)	m/km
Tubería p14	1.54	3"	90	150	6.88	1.32	19.94
Tubería p5	5.004	3"	90	150	6.88	1.32	19.94
Tubería p6	9.51	3"	90	150	6.88	1.32	19.94
Tubería p1	1.477	2 1/2"	75	150	6.88	1.91	48.58
Tubería p385	0.9426	2 1/2"	75	150	6.88	1.91	48.58
Tubería p391	14.13	2 1/2"	75	150	6.88	1.91	48.58
Tubería T61	6.52	2 1/2"	75	150	6.88	1.91	48.58
Tubería p562	3.701	2"	63	150	2.76	1.08	20.77
Tubería p563	1.971	2"	63	150	2.85	1.12	22.16
Tubería p564	0.7887	2"	63	150	2.85	1.12	22.16
Tubería p565	0.7887	2"	63	150	2.85	1.12	22.16
Tubería p566	4.236	2"	63	150	2.85	1.12	22.16
Tubería p567	1.909	2"	63	150	3.02	1.18	24.64
Tubería p568	3.701	2"	63	150	3.49	1.37	32.13
Tubería p569	1.334	2"	63	150	3.49	1.37	32.13
Tubería p570	1.314	2"	63	150	3.57	1.4	33.56
Tubería p571	4.171	2"	63	150	3.57	1.4	33.56
Tubería p572	5.4	2"	63	150	3.74	1.47	36.54
Tubería p573	3.812	2"	63	150	3.91	1.53	39.64
Tubería p574	1.612	2"	63	150	3.91	1.53	39.64
Tubería p575	1.614	2"	63	150	3.99	1.56	41.21
Tubería p576	1.171	2"	63	150	3.99	1.56	41.21
Tubería p511	0.8879	1 1/2"	50	150	1.49	0.93	20.45
Tubería p531	5.168	1 1/2"	50	150	0.23	0.15	0.66
Tubería p550	4.272	1 1/2"	50	150	1.82	1.13	29.84
Tubería p553	1.513	1 1/2"	50	150	1.9	1.19	32.41
Tubería p554	3.958	1 1/2"	50	150	1.9	1.19	32.41
Tubería p555	4.35	1 1/2"	50	150	2.16	1.34	40.8
Tubería p556	2.584	1 1/2"	50	150	2.27	1.42	44.99
Tubería p557	2.064	1 1/2"	50	150	2.27	1.42	44.99
Tubería p558	2.062	1 1/2"	50	150	2.33	1.45	47.14
Tubería p559	2.594	1 1/2"	50	150	2.33	1.45	47.14
Tubería p560	0.7402	1 1/2"	50	150	2.45	1.53	51.62
Tubería p561	3.816	1 1/2"	50	150	2.68	1.67	61.09
Tubería p577	2.691	1 1/2"	50	150	2.89	1.8	70.29

«continuación»

Tubería p578	1.842	1 1/2"	50	150	2.72	1.7	62.91
Tubería p579	0.3694	1 1/2"	50	150	1.24	0.77	14.62
Tubería p580	1.216	1 1/2"	50	150	1.24	0.77	14.63
Tubería p581	1.342	1 1/2"	50	150	1.24	0.77	14.62
Tubería p582	1.107	1 1/2"	50	150	1.24	0.77	14.62
Tubería T3	5	1 1/2"	50	150	1.82	1.13	29.84
Tubería p503	0.7241	1 1/4"	40	150	0.44	0.43	6.31
Tubería p512	5.485	1 1/4"	40	150	1.49	1.44	60.32
Tubería p548	1.318	1 1/4"	40	150	0.25	0.24	2.26
Tubería p549	3.886	1 1/4"	40	150	1.65	1.61	73.57
Tubería T27	5.35	1 1/4"	40	150	1.4	1.36	54.16
Tubería T28	3.09	1 1/4"	40	150	1.23	1.2	42.62
Tubería T7	2.17	1 1/4"	40	150	0.66	0.64	13.43
Tubería T8	0.77	1 1/4"	40	150	0.4	0.38	5.22
Tubería p483	6.355	1"	32	150	0.42	0.64	17.64
Tubería p484	1.362	1"	32	150	0.42	0.64	17.64
Tubería p499	36.2	1"	32	150	0.57	0.88	31.3
Tubería p513	2.111	1"	32	150	0.73	1.12	49.45
Tubería p522	2.335	1"	32	150	0.75	1.16	52.37
Tubería p523	1.991	1"	32	150	0.59	0.9	32.84
Tubería p524	1.302	1"	32	150	0.45	0.7	20.47
Tubería p529	5.992	1"	32	150	0.47	0.72	21.48
Tubería p530	4.5	1"	32	150	0.23	0.36	5.95
Tubería p583	6.327	1"	32	150	1.16	1.77	115.56
Tubería p584	3.51	1"	32	150	0.99	1.52	86.4
Tubería p585	1.893	1"	32	150	0.75	1.16	52.5
Tubería p586	2.03	1"	32	150	0.59	0.9	32.94
Tubería p587	1.097	1"	32	150	0.59	0.9	32.94
Tubería p588	2.382	1"	32	150	0.59	0.9	32.94
Tubería T40	6.17	1"	32	150	0.23	0.36	5.95
Tubería p485	1.362	1/2"	21	150	0.34	1.41	136.45
Tubería p486	4.143	1/2"	21	150	0.34	1.41	136.45
Tubería p487	5.4	1/2"	21	150	0.17	0.71	37.8
Tubería p495	1.995	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p498	0.8196	1/2"	21	150	0.04	0.16	2.41
Tubería p500	0.777	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p501	1.228	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p502	2.025	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p504	2.824	1/2"	21	150	0.31	1.29	115.44

«continuación»

Tubería p505	0.7775	1/2"	21	150	0.17	0.74	40.77
Tubería p506	2.771	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p507	0.09028	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.32
Tubería p508	0.1484	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p509	2.783	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p510	3.464	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p514	3.034	1/2"	21	150	0.38	1.59	168.88
Tubería p515	3.742	1/2"	21	150	0.24	1.03	76.02
Tubería p516	1.254	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p517	1.179	1/2"	21	150	0.11	0.48	18.13
Tubería p518	1.104	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p519	0.7061	1/2"	21	150	0.24	1.01	73.73
Tubería p520	0.754	1/2"	21	150	0.11	0.46	16.97
Tubería p521	2.335	1/2"	21	150	0.11	0.48	18.13
Tubería p525	1.981	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p526	0.7899	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p527	2.467	1/2"	21	150	0.19	0.8	47.47
Tubería p528	1.206	1/2"	21	150	0.06	0.24	5.27
Tubería p589	0.1922	1/2"	21	150	0.11	0.46	16.96
Tubería p590	1.019	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p591	1.008	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p592	1.162	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p593	0.2081	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería T45	3.59	1/2"	21	150	0.17	0.71	38.64
Tubería T49	0.77	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18

c. Diámetros y pérdida de carga en tuberías del Sector N°3

ID Tubería	Longitud	Diám. Nominal	Diám. Nominal	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	(m)	(Pulg.)	(mm)		LPS	m/s	m/km
Tubería T52	2.34	3"	90	150	6.54	1.26	18.15
Tubería p6	9.51	3"	90	150	6.54	1.26	18.16
Tubería p14	1.54	3"	90	150	6.54	1.26	18.15
Tubería p5	5.004	3"	90	150	6.54	1.26	18.16
Tubería p269	0.1695	2 1/2"	75	150	4.12	1.14	18.74
Tubería T17	5.41	2 1/2"	75	150	4.12	1.14	18.75
Tubería p272	0.403	2 1/2"	75	150	4.28	1.19	20.19
Tubería p270	0.1346	2 1/2"	75	150	4.28	1.19	20.2
Tubería p271	0.8993	2 1/2"	75	150	4.28	1.19	20.19

«continuación»

Tubería p274	4.732	2 1/2"	75	150	4.28	1.19	20.19
Tubería p273	0.7191	2 1/2"	75	150	4.28	1.19	20.19
Tubería p276	1.431	2 1/2"	75	150	4.45	1.23	21.68
Tubería p275	4.732	2 1/2"	75	150	4.45	1.23	21.68
Tubería p277	1.435	2 1/2"	75	150	4.53	1.26	22.44
Tubería T26	1.32	2 1/2"	75	150	4.53	1.26	22.44
Tubería p286	3.226	2"	63	150	1.72	0.67	8.69
Tubería p285	0.3749	2"	63	150	1.72	0.67	8.7
Tubería p283	0.5891	2"	63	150	1.84	0.72	9.82
Tubería p284	0.2871	2"	63	150	1.84	0.72	9.82
Tubería p280	5.824	2"	63	150	1.84	0.72	9.82
Tubería p281	0.3019	2"	63	150	1.84	0.72	9.82
Tubería p282	0.3019	2"	63	150	1.84	0.72	9.81
Tubería T25	4.5	2"	63	150	2.01	0.79	11.54
Tubería p317	1.047	2"	63	150	2.93	1.15	23.27
Tubería p315	0.2935	2"	63	150	2.93	1.15	23.26
Tubería p316	3.517	2"	63	150	2.93	1.15	23.26
Tubería p312	0.55	2"	63	150	2.97	1.16	23.83
Tubería p314	0.29	2"	63	150	2.97	1.16	23.82
Tubería p313	3.806	2"	63	150	2.97	1.16	23.83
Tubería p310	1.801	2"	63	150	3.14	1.23	26.38
Tubería p311	0.68	2"	63	150	3.14	1.23	26.38
Tubería p308	0.7885	2"	63	150	3.83	1.5	38.3
Tubería p309	2.648	2"	63	150	3.83	1.5	38.3
Tubería p306	0.7424	2"	63	150	3.92	1.54	39.85
Tubería p307	1.909	2"	63	150	3.92	1.54	39.85
Tubería p305	0.7438	2"	63	150	3.94	1.54	40.28
Tubería p304	1.538	2"	63	150	3.94	1.54	40.28
Tubería p303	0.5677	2"	63	150	3.94	1.54	40.28
Tubería p300	0.6554	2"	63	150	4.01	1.57	41.58
Tubería p301	0.7447	2"	63	150	4.01	1.57	41.58
Tubería p302	0.5677	2"	63	150	4.01	1.57	41.58
Tubería p298	1.154	2"	63	150	4.03	1.58	42.02
Tubería p299	0.6554	2"	63	150	4.03	1.58	42.02
Tubería p297	0.3241	2"	63	150	4.06	1.59	42.46
Tubería p296	0.3241	2"	63	150	4.08	1.6	42.91
Tubería p295	5.61	2"	63	150	4.08	1.6	42.91
Tubería p338	0.9749	2"	63	150	6.54	2.56	102.98
Tubería p321	1.818	1 1/2"	50	150	0.5	0.31	2.76
Tubería p322	6.22	1 1/2"	50	150	0.5	0.31	2.75
Tubería p320	1.465	1 1/2"	50	150	0.67	0.42	4.7
Tubería p343	5.174	1 1/2"	50	150	1.92	1.2	33.01
Tubería p319	4.326	1 1/2"	50	150	2.59	1.62	57.47
Tubería p318	5.696	1 1/2"	50	150	2.76	1.72	64.55
Tubería p353	2.496	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p352	2.512	1"	32	150	0.13	0.2	2.08

«continuación»

Tubería p351	1.271	1"	32	150	0.17	0.26	3.25
Tubería p342	4	1"	32	150	0.23	0.36	5.95
Tubería p341	4	1"	32	150	0.47	0.72	21.48
Tubería p291	5.763	1"	32	150	0.48	0.74	23.04
Tubería p290	1.767	1"	32	150	0.48	0.74	23.04
Tubería p349	1.247	1"	32	150	0.56	0.87	30.59
Tubería p288	4.555	1"	32	150	0.57	0.87	30.89
Tubería p289	1.767	1"	32	150	0.57	0.87	30.89
Tubería p373	1.162	1"	32	150	0.59	0.91	33.36
Tubería p340	4.578	1"	32	150	0.7	1.07	45.52
Tubería p372	0.8184	1"	32	150	0.72	1.11	48.45
Tubería p287	3.234	1"	32	150	0.74	1.13	49.95
Tubería p348	1.544	1"	32	150	0.79	1.21	56.83
Tubería p371	0.7896	1"	32	150	0.86	1.31	66.1
Tubería p368	4.555	1"	32	150	0.99	1.52	86.24
Tubería T24	3.57	1"	32	150	1.05	1.61	97.05
Tubería T23	1.13	1"	32	150	1.49	2.29	185.14
Tubería p345	1.104	1"	32	150	1.62	2.49	216.63
Tubería p344	1.177	1"	32	150	1.75	2.69	250.39
Tubería p379	0.7756	1/2"	21	150	0.05	0.2	3.57
Tubería p378	2.829	1/2"	21	150	0.05	0.2	3.57
Tubería p292	5.819	1/2"	21	150	0.08	0.35	10.24
Tubería p293	0.288	1/2"	21	150	0.08	0.35	10.24
Tubería p360	0.7968	1/2"	21	150	0.09	0.39	12.39
Tubería p369	3.101	1/2"	21	150	0.11	0.48	18.13
Tubería p377	0.7521	1/2"	21	150	0.11	0.48	18.13
Tubería p359	0.7242	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p383	1.005	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p364	2.769	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p362	2.795	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p366	0.7677	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p370	3.928	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p382	1.805	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p381	1.67	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p354	1.272	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p356	0.7943	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p367	0.7775	1/2"	21	150	0.17	0.71	37.8
Tubería p357	0.8196	1/2"	21	150	0.17	0.74	40.77
Tubería p358	2.845	1/2"	21	150	0.22	0.94	64.39
Tubería p384	4.763	1/2"	21	150	0.23	0.98	69.27
Tubería p376	3.041	1/2"	21	150	0.24	1.03	76.02
Tubería p327	0.9707	1/2"	21	150	0.25	1.06	80.09
Tubería p326	3.785	1/2"	21	150	0.25	1.06	80.09
Tubería p380	2.879	1/2"	21	150	0.25	1.06	80.09
Tubería p325	0.6561	1/2"	21	150	0.25	1.06	80.09
Tubería p363	0.5656	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3

«continuación»

Tubería p361	0.5422	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p375	1.984	1/2"	21	150	0.29	1.23	105.22
Tubería p365	1.596	1/2"	21	150	0.3	1.26	110.62
Tubería p350	1.578	1/2"	21	150	0.3	1.26	110.62
Tubería p355	4.766	1/2"	21	150	0.31	1.29	115.44
Tubería p323	5.878	1/2"	21	150	0.34	1.41	135.7
Tubería p324	0.645	1/2"	21	150	0.34	1.41	135.7
Tubería p374	1.31	1/2"	21	150	0.34	1.43	138.72

d. Diámetros y pérdida de carga en tuberías del Sector N°4

ID Tubería	Longitud	Diám. Nominal	Diám. Nominal	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	(m)	(Pulg.)	(mm)		LPS	m/s	m/km
Tubería p400	3.383	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p395	1.652	3"	90	150	7.13	1.37	21.29
Tubería p394	1.731	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p393	11.44	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p399	13.06	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p398	5.54	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p396	10.77	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería T54	1.148	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería T53	10.69	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería T52	2.34	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p6	9.51	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p14	1.54	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p5	5.004	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería T36	3.72	2"	63	150	0.15	0.06	0.09
Tubería p212	0.6665	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p211	0.6665	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p210	0.4878	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p213	0.5967	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p215	0.2165	2"	63	150	2.95	1.16	23.6
Tubería p216	1.579	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p214	0.1519	2"	63	150	2.95	1.16	23.58
Tubería p217	2.139	2"	63	150	3.1	1.22	25.86
Tubería p218	2	2"	63	150	3.18	1.25	27.03
Tubería T37	0.89	2"	63	150	3.84	1.5	38.33
Tubería p220	0.858	2"	63	150	3.84	1.5	38.33
Tubería p221	0.2798	2"	63	150	3.84	1.5	38.34
Tubería p219	3.747	2"	63	150	3.95	1.55	40.53
Tubería p206	8.127	1 1/2"	50	150	2.53	1.58	54.99
Tubería p208	5.143	1 1/2"	50	150	2.62	1.63	58.37
Tubería p207	0.2788	1 1/2"	50	150	2.62	1.63	58.37
Tubería p209	5.4	1 1/2"	50	150	2.78	1.74	65.5
Tubería p136	2.401	1 1/4"	40	150	0.13	0.13	0.68
Tubería p137	1.147	1 1/4"	40	150	0.13	0.13	0.68
Tubería p135	2.595	1 1/4"	40	150	0.13	0.13	0.68
Tubería p155	5.4	1 1/4"	40	150	0.34	0.33	3.83

«continuación»

Tubería p120	5.687	1 1/4"	40	150	0.34	0.33	3.83
Tubería T6	5	1 1/4"	40	150	0.67	0.65	13.81
Tubería p104	1.246	1 1/4"	40	150	1.18	1.15	39.53
Tubería p103	3.542	1 1/4"	40	150	1.18	1.15	39.53
Tubería p200	4.367	1 1/4"	40	150	1.28	1.24	45.55
Tubería p201	6.296	1 1/4"	40	150	1.44	1.4	57.27
Tubería p102	1.409	1 1/4"	40	150	1.52	1.47	62.75
Tubería p203	1.387	1 1/4"	40	150	1.61	1.57	70.22
Tubería p202	4.108	1 1/4"	40	150	1.61	1.57	70.22
Tubería p604	1.128	1 1/4"	40	150	1.62	1.57	70.47
Tubería p101	4.5	1 1/4"	40	150	1.63	1.59	72.01
Tubería p205	7.627	1 1/4"	40	150	1.69	1.65	77.07
Tubería p204	0.9803	1 1/4"	40	150	1.69	1.65	77.07
Tubería p605	1.104	1 1/4"	40	150	1.75	1.7	81.5
Tubería p100	3.357	1 1/4"	40	150	1.75	1.7	81.85
Tubería T38	2.49	1 1/4"	40	150	1.83	1.77	88.46
Tubería p606	1.177	1 1/4"	40	150	1.88	1.83	93.27
Tubería p607	3.511	1 1/4"	40	150	2.01	1.95	105.77
Tubería p198	2.847	1"	32	150	0.09	0.14	1.06
Tubería p147	1.803	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p149	2.876	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p132	0.7663	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p134	1.359	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p146	1.003	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p148	1.67	1"	32	150	0.17	0.26	3.25
Tubería p133	0.8261	1"	32	150	0.17	0.27	3.5
Tubería p199	2.141	1"	32	150	0.18	0.28	3.84
Tubería p131	4.673	1"	32	150	0.31	0.47	9.92
Tubería p601	1.247	1"	32	150	0.53	0.81	27.07
Tubería T20	1.3	1"	32	150	0.53	0.81	27.07
Tubería p113	0.5855	1"	32	150	0.59	0.91	33.78
Tubería p114	2.809	1"	32	150	0.59	0.91	33.78
Tubería p141	1.162	1"	32	150	0.66	1.01	40.93
Tubería p110	3.466	1"	32	150	0.76	1.17	53.54
Tubería p111	1.081	1"	32	150	0.76	1.17	53.53
Tubería p112	0.5855	1"	32	150	0.76	1.17	53.53
Tubería p109	1.218	1"	32	150	0.76	1.17	53.54
Tubería T19	0.82	1"	32	150	0.83	1.27	62.29
Tubería p602	1.543	1"	32	150	-0.91	1.4	74.49
Tubería p107	4.439	1"	32	150	0.93	1.43	77.39
Tubería p108	1.578	1"	32	150	0.93	1.43	77.39
Tubería T18	0.79	1"	32	150	0.96	1.47	81.92
Tubería T35	3.45	1"	32	150	1.09	1.68	103.99
Tubería p106	3.809	1"	32	150	1.1	1.69	105.23
Tubería p105	1.246	1"	32	150	1.1	1.69	105.23
Tubería p603	3.574	1"	32	150	-1.18	1.81	119.29
Tubería p116	8.591	1/2"	21	150	0.09	0.39	12.39
Tubería T57	0.33	1/2"	21	150	0.09	0.39	12.39
Tubería p130	2.795	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p145	0.7467	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p125	2.769	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18

«continuación»

Tubería p127	0.7242	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p152	3.926	1/2"	21	150	-0.13	0.56	24.18
Tubería p153	3.101	1/2"	21	150	-0.13	0.56	24.18
Tubería p150	0.7743	1/2"	21	150	-0.13	0.56	24.18
Tubería p151	2.828	1/2"	21	150	-0.13	0.56	24.18
Tubería p122	0.7677	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p123	0.7775	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p128	0.7938	1/2"	21	150	0.25	1.06	80.09
Tubería p115	3.109	1/2"	21	150	0.26	1.09	84.86
Tubería p129	0.5901	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p144	3.041	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p121	1.596	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería T16	0.58	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p600	1.578	1/2"	21	150	-0.26	1.11	87.3
Tubería p119	5.559	1/2"	21	150	-0.34	1.41	135.7
Tubería p126	2.814	1/2"	21	150	0.38	1.61	174.73
Tubería T21	1.98	1/2"	21	150	0.4	1.67	184.98

e. Diámetros y pérdida de carga en tuberías del Sector N°5

ID Tubería	Longitud	Diám. Nominal	Diám. Nominal	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	(m)	(Pulg.)	(mm)		LPS	m/s	m/km
Tubería p400	3.383	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p395	1.652	3"	90	150	7.13	1.37	21.29
Tubería p394	1.731	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p393	11.44	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p399	13.06	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p398	5.54	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p396	10.77	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería T54	1.148	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería T53	10.69	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería T52	2.34	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p6	9.51	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p14	1.54	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería p5	5.004	3"	90	150	7.13	1.37	21.3
Tubería T36	3.72	2"	63	150	0.15	0.06	0.09
Tubería p212	0.6665	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p211	0.6665	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p210	0.4878	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p213	0.5967	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p215	0.2165	2"	63	150	2.95	1.16	23.6
Tubería p216	1.579	2"	63	150	2.95	1.16	23.59
Tubería p214	0.1519	2"	63	150	2.95	1.16	23.58
Tubería p217	2.139	2"	63	150	3.1	1.22	25.86
Tubería p218	2	2"	63	150	3.18	1.25	27.03
Tubería T37	0.89	2"	63	150	3.84	1.5	38.33

«continuación»

Tubería p220	0.858	2"	63	150	3.84	1.5	38.33
Tubería p221	0.2798	2"	63	150	3.84	1.5	38.34
Tubería p219	3.747	2"	63	150	3.95	1.55	40.53
Tubería p206	8.127	1 1/2"	50	150	2.53	1.58	54.99
Tubería p208	5.143	1 1/2"	50	150	2.62	1.63	58.37
Tubería p207	0.2788	1 1/2"	50	150	2.62	1.63	58.37
Tubería p209	5.4	1 1/2"	50	150	2.78	1.74	65.5
Tubería p136	2.401	1 1/4"	40	150	0.13	0.13	0.68
Tubería p137	1.147	1 1/4"	40	150	0.13	0.13	0.68
Tubería p135	2.595	1 1/4"	40	150	0.13	0.13	0.68
Tubería p155	5.4	1 1/4"	40	150	0.34	0.33	3.83
Tubería p120	5.687	1 1/4"	40	150	0.34	0.33	3.83
Tubería T6	5	1 1/4"	40	150	0.67	0.65	13.81
Tubería p104	1.246	1 1/4"	40	150	1.18	1.15	39.53
Tubería p103	3.542	1 1/4"	40	150	1.18	1.15	39.53
Tubería p200	4.367	1 1/4"	40	150	1.28	1.24	45.55
Tubería p201	6.296	1 1/4"	40	150	1.44	1.4	57.27
Tubería p102	1.409	1 1/4"	40	150	1.52	1.47	62.75
Tubería p203	1.387	1 1/4"	40	150	1.61	1.57	70.22
Tubería p202	4.108	1 1/4"	40	150	1.61	1.57	70.22
Tubería p604	1.128	1 1/4"	40	150	1.62	1.57	70.47
Tubería p101	4.5	1 1/4"	40	150	1.63	1.59	72.01
Tubería p205	7.627	1 1/4"	40	150	1.69	1.65	77.07
Tubería p204	0.9803	1 1/4"	40	150	1.69	1.65	77.07
Tubería p605	1.104	1 1/4"	40	150	1.75	1.7	81.5
Tubería p100	3.357	1 1/4"	40	150	1.75	1.7	81.85
Tubería T38	2.49	1 1/4"	40	150	1.83	1.77	88.46
Tubería p606	1.177	1 1/4"	40	150	1.88	1.83	93.27
Tubería p607	3.511	1 1/4"	40	150	2.01	1.95	105.77
Tubería p198	2.847	1"	32	150	0.09	0.14	1.06
Tubería p147	1.803	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p149	2.876	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p132	0.7663	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p134	1.359	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p146	1.003	1"	32	150	0.13	0.2	2.08
Tubería p148	1.67	1"	32	150	0.17	0.26	3.25
Tubería p133	0.8261	1"	32	150	0.17	0.27	3.5
Tubería p199	2.141	1"	32	150	0.18	0.28	3.84
Tubería p131	4.673	1"	32	150	0.31	0.47	9.92
Tubería p601	1.247	1"	32	150	0.53	0.81	27.07
Tubería T20	1.3	1"	32	150	0.53	0.81	27.07
Tubería p113	0.5855	1"	32	150	0.59	0.91	33.78
Tubería p114	2.809	1"	32	150	0.59	0.91	33.78
Tubería p141	1.162	1"	32	150	0.66	1.01	40.93
Tubería p110	3.466	1"	32	150	0.76	1.17	53.54

«continuación»

Tubería p111	1.081	1"	32	150	0.76	1.17	53.53
Tubería p112	0.5855	1"	32	150	0.76	1.17	53.53
Tubería p109	1.218	1"	32	150	0.76	1.17	53.54
Tubería T19	0.82	1"	32	150	0.83	1.27	62.29
Tubería p602	1.543	1"	32	150	0.91	1.4	74.49
Tubería p107	4.439	1"	32	150	0.93	1.43	77.39
Tubería p108	1.578	1"	32	150	0.93	1.43	77.39
Tubería T18	0.79	1"	32	150	0.96	1.47	81.92
Tubería T35	3.45	1"	32	150	1.09	1.68	103.99
Tubería p106	3.809	1"	32	150	1.1	1.69	105.23
Tubería p105	1.246	1"	32	150	1.1	1.69	105.23
Tubería p603	3.574	1"	32	150	1.18	1.81	119.29
Tubería p116	8.591	1/2"	21	150	0.09	0.39	12.39
Tubería T57	0.33	1/2"	21	150	0.09	0.39	12.39
Tubería p130	2.795	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p145	0.7467	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p125	2.769	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p127	0.7242	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p152	3.926	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p153	3.101	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p150	0.7743	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p151	2.828	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p122	0.7677	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p123	0.7775	1/2"	21	150	0.13	0.56	24.18
Tubería p128	0.7938	1/2"	21	150	0.25	1.06	80.09
Tubería p115	3.109	1/2"	21	150	0.26	1.09	84.86
Tubería p129	0.5901	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p144	3.041	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p121	1.596	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería T16	0.58	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p600	1.578	1/2"	21	150	0.26	1.11	87.3
Tubería p119	5.559	1/2"	21	150	0.34	1.41	135.7
Tubería p126	2.814	1/2"	21	150	0.38	1.61	174.73
Tubería T21	1.98	1/2"	21	150	0.4	1.67	184.98

f. Diámetros y pérdida de carga en tuberías del Sector N°6

ID Tubería	Longitud	Diám. Nominal	Diám. Nominal	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	(m)	(Pulg.)	(mm)		LPS	m/s	m/km
Tubería T104	0.43	1"	32	150	0.32	0.49	10.71
Tubería T103	1.62	1"	32	150	0.32	0.49	10.71
Tubería T68	8.9	1"	32	150	0.32	0.49	10.71
Tubería T22	5.78	1"	32	150	0.32	0.49	10.71
Tubería T58	9.16	1/2"	21	150	0.03	0.13	1.56

«continuación»

Tubería T78	4.37	1/2"	21	150	0.03	0.13	1.56
Tubería T77	0.48	1/2"	21	150	0.06	0.25	5.61
Tubería T66	0.32	1/2"	21	150	0.07	0.29	7.47
Tubería T72	11.42	1/2"	21	150	0.08	0.34	9.57
Tubería T100	9.93	1/2"	21	150	0.08	0.34	9.57
Tubería T75	10.85	1/2"	21	150	0.08	0.34	9.57
Tubería 0.017	3.74	1/2"	21	150	0.08	0.34	9.57
Tubería T73	1.72	1/2"	21	150	0.08	0.34	9.57
Tubería T74	1.65	1/2"	21	150	0.08	0.34	9.57
Tubería p335	1.5	1/2"	21	150	0.11	0.46	17.25
Tubería T60	4.28	1/2"	21	150	0.11	0.46	17.25
Tubería p336	1.336	1/2"	21	150	0.11	0.46	17.25
Tubería T56	1.165	1/2"	21	150	0.11	0.46	17.25
Tubería T55	8.77	1/2"	21	150	0.11	0.46	17.25
Tubería p334	1.448	1/2"	21	150	0.11	0.46	17.25
Tubería T65	3.22	1/2"	21	150	0.11	0.46	17.25
Tubería T59	0.58	1/2"	21	150	0.16	0.67	34.53
Tubería T51	0.76	1/2"	21	150	0.21	0.88	57.14
Tubería p331	0.71	1/2"	21	150	0.24	1.01	73.17
Tubería T102	6.33	1/2"	21	150	0.24	1.01	73.17
Tubería T64	5.93	1/2"	21	150	0.24	1.01	73.17
Tubería p332	0.73	1/2"	21	150	0.24	1.01	73.17
Tubería T99	3.22	1/2"	21	150	0.24	1.01	73.17

g. Diámetros y pérdida de carga en tuberías del Sector N°7

Tubería	Longitud	Diám. Nominal	Diám. Nominal	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.
	(m)	(Pulg.)	(mm)		LPS	m/s	m/km
Tubería T68	8.9	1"	32	150	0.02	0.03	0.05
Tubería T22	5.78	1"	32	150	0.02	0.03	0.05
Tubería T103	1.62	1"	32	150	0.02	0.03	0.05
Tubería T105	10.34	1/2"	21	150	0.009	0.02	0.04
Tubería T98	5.66	1/2"	21	150	0.009	0.02	0.04
Tubería T80	10.95	1/2"	21	150	0.009	0.02	0.04
Tubería T83	11.39	1/2"	21	150	0.009	0.02	0.04
Tubería T81	1.57	1/2"	21	150	0.009	0.02	0.04
Tubería T79	4.39	1/2"	21	150	0.009	0.02	0.04
Tubería T96	9.71	1/2"	21	150	0.009	0.02	0.04
Tubería T82	1.69	1/2"	21	150	0.009	0.02	0.04
Tubería T91	1.61	1/2"	21	150	0.01	0.04	0.16
Tubería T92	1.32	1/2"	21	150	0.01	0.04	0.16
Tubería T89	5.06	1/2"	21	150	0.01	0.04	0.16
Tubería T90	1.7	1/2"	21	150	0.01	0.04	0.16
Tubería T97	2.19	1/2"	21	150	0.01	0.04	0.16
Tubería T94	1.04	1/2"	21	150	0.01	0.04	0.16
Tubería T93	8	1/2"	21	150	0.01	0.04	0.16

«continuación»

Tubería T86	0.76	1/2"	21	150	0.015	0.06	0.34
Tubería T85	6.43	1/2"	21	150	0.015	0.06	0.34
Tubería T87	0.76	1/2"	21	150	0.015	0.06	0.34
Tubería T101	2.91	1/2"	21	150	0.015	0.06	0.34
Tubería T88	6.56	1/2"	21	150	0.015	0.06	0.34

Anexo 8: Cuadro de parámetros hidráulicos de difusores por sector

SECTOR 1						
DIFUSOR	SERIE VAN	ANGULO DE GIRO	CAUDAL (l/min)	CAUDAL (l/s)	CAUDAL ACUMULADO (l/s)	PRESION (m.c.a)
1	8VAN	180	4.5	0.075	0.08	23.87
2	4VAN	270	2.8	0.047	0.12	23.77
3	10VAN	270	7.9	0.132	0.25	23.77
4	8VAN	270	5.9	0.098	0.35	23.59
5	6VAN	270	4.2	0.070	0.42	23.59
6	10VAN	270	7.9	0.132	0.55	23.4
7	10VAN	270	7.9	0.132	0.69	23.41
8	10VAN	270	7.9	0.132	0.82	23.46
9	10VAN	270	7.9	0.132	0.95	23.46
10	10VAN	270	7.9	0.132	1.08	23.3
11	10VAN	270	7.9	0.132	1.21	23.12
12	10VAN	270	7.9	0.132	1.34	23.06
13	6VAN	270	4.2	0.070	1.41	23.11
14	18VAN	90	5	0.083	1.50	23.74
15	18VAN	90	5	0.083	1.58	23.68
16	18VAN	90	5	0.083	1.66	20.71
17	18VAN	180	10.1	0.168	1.83	20.76
18	10VAN	180	5.5	0.092	1.92	21.16
19	10VAN	270	7.9	0.132	2.06	21.05
20	10VAN	270	7.9	0.132	2.19	21.05
21	10VAN	180	5.5	0.092	2.28	21.42
22	15VAN	90	3.5	0.058	2.34	21.63
23	6VAN	270	4.2	0.070	2.41	21.85
24	8VAN	180	4.5	0.075	2.48	22.04
25	10VAN	270	7.9	0.132	2.61	22.27
26	10VAN	90	2.8	0.047	2.66	22.52
27	10VAN	90	2.8	0.047	2.71	23.02
28	10VAN	90	2.8	0.047	2.75	23.28
29	15VAN	180	7	0.117	2.87	23.51
30	18VAN	180	10.1	0.168	3.04	23.75
31	18VAN	180	10.1	0.168	3.21	24.21
32	15VAN	360	14	0.233	3.44	24.33
33	18VAN	90	5	0.083	3.52	24.55
34	18VAN	180	10.1	0.168	3.69	24.59
35	15VAN	180	7	0.117	3.81	24.42
36	10VAN	270	7.9	0.132	3.94	24.16
37	10VAN	270	7.9	0.132	4.07	24.16
38	10VAN	270	7.9	0.132	4.20	24.09
39	18VAN	270	15.1	0.252	4.46	23.99
40	10VAN	270	7.9	0.132	4.59	23.96
41	10VAN	270	7.9	0.132	4.72	23.83
42	10VAN	270	7.9	0.132	4.85	23.36
43	18VAN	270	15.1	0.252	5.10	23.31

Tolerancia de presiones:

$$\Delta P \leq 20\% P_{nom}.$$

$P_{nom} = 21m$

$P_{m\acute{a}x} = 24.60m$

$P_{m\acute{i}n} = 20.71m$

Entonces: $3.89 \leq 4.2 \dots Ok$

SECTOR 2						
DIFUSOR	SERIE VAN	ANGULO DE GIRO	CAUDAL (l/min)	CAUDAL (l/s)	CAUDAL ACUMULADO (l/s)	PRESION (m.c.a)
1	18VAN	180	10.1	0.168	0.168	24.92
2	18VAN	90	5	0.083	0.252	24.78
3	18VAN	180	10.1	0.168	0.420	24.03
4	18VAN	180	10.1	0.168	0.588	23.83
5	18VAN	270	15.1	0.252	0.840	23.81
6	18VAN	180	10.1	0.168	1.008	24.1
7	18VAN	90	5	0.083	1.092	24.38
8	18VAN	270	15.1	0.252	1.343	24.55
9	15VAN	180	7	0.117	1.460	24.73
10	15VAN	90	3.5	0.058	1.518	24.94
11	15VAN	180	7	0.117	1.635	25.16
12	15VAN	360	14	0.233	1.868	25.19
13	8VAN	180	4.5	0.075	1.943	25.43
14	8VAN	270	5.9	0.098	2.042	25.51
15	18VAN	180	10.1	0.168	2.210	25.68
16	15VAN	360	14	0.233	2.443	25.6
17	15VAN	360	14	0.233	2.677	25.57
18	18VAN	90	5	0.083	2.760	25.89
19	18VAN	180	10.1	0.168	2.928	26.07
20	18VAN	180	10.1	0.168	3.097	26.27
21	18VAN	90	5	0.083	3.180	26.49
22	18VAN	180	10.1	0.168	3.348	26.41
23	18VAN	90	5	0.083	3.432	26.24
24	18VAN	180	10.1	0.168	3.600	25.5
25	15VAN	360	14	0.233	3.833	25.16
26	18VAN	180	10.1	0.168	4.002	25.1
27	12VAN	270	2.25	0.038	4.039	23.38
28	10VAN	270	7.9	0.132	4.171	23.37
29	10VAN	270	7.9	0.132	4.303	23.35
30	10VAN	270	7.9	0.132	4.434	23.33
31	10VAN	270	7.9	0.132	4.566	23.03
32	15VAN	270	10.5	0.175	4.741	23.02

«continuación»

33	10VAN	270	7.9	0.132	4.873	23.35
34	10VAN	270	7.9	0.132	5.004	23.29
35	10VAN	270	7.9	0.132	5.136	23.1
36	10VAN	270	7.9	0.132	5.268	23.17
37	10VAN	270	7.9	0.132	5.399	23.27
38	10VAN	270	7.9	0.132	5.531	25.01
39	12VAN	270	6.76	0.113	5.644	25.02
40	10VAN	270	7.9	0.132	5.775	25.3
41	10VAN	270	7.9	0.132	5.907	25.76
42	12VAN	270	6.56	0.109	6.016	25.77
43	10VAN	270	6.76	0.113	6.129	25.8
44	18VAN	180	10.1	0.168	6.297	25.82
45	10VAN	270	7.9	0.132	6.429	25.76
46	15VAN	270	3.5	0.058	6.487	25.61
47	10VAN	270	7.9	0.132	6.619	25.59
48	10VAN	270	7.9	0.132	6.751	25.53
49	10VAN	270	7.9	0.132	6.882	25.53

Tolerancia de presiones:

$$\Delta P \leq 20\% P_{nom}.$$

$P_{nom} = 21m$

$P_{m\acute{a}x} = 26.49m$

$P_{m\acute{i}n} = 23.02m$

Entonces: $3.47 \leq 4.2 \dots Ok$

SECTOR 3						
DIFUSOR	SERIE VAN	ANGULO DE GIRO	CAUDAL (l/min)	CAUDAL (l/s)	CAUDAL ACUMULADO (l/s)	PRESION (m.c.a)
1	18VAN	90	5	0.083	0.083	25.3
2	18VAN	180	10.1	0.168	0.252	25.37
3	18VAN	180	10.1	0.168	0.420	25.5
4	18VAN	90	5	0.083	0.503	25.64
5	18VAN	180	10.1	0.168	0.672	25.65
6	15VAN	180	7	0.117	0.788	25.58
7	18VAN	180	10.1	0.168	0.957	25.38
8	18VAN	90	5	0.083	1.040	25.19
9	18VAN	180	10.1	0.168	1.208	25.01
10	15VAN	360	14	0.233	1.442	24.68
11	18VAN	90	5	0.083	1.525	24.95
12	18VAN	270	15.1	0.252	1.777	22.23
13	18VAN	90	5	0.083	1.860	22.66
14	18VAN	180	10.1	0.168	2.028	23.55

«continuación»

15	18VAN	180	10.1	0.168	2.197	23.57
16	18VAN	180	10.1	0.168	2.365	23.83
17	18VAN	180	10.1	0.168	2.533	24.19
18	12VAN	90	2.25	0.038	2.571	24.31
19	18VAN	180	10.1	0.168	2.739	24.42
20	15VAN	360	14	0.233	2.973	24.27
21	15VAN	360	14	0.233	3.206	24.19
22	15VAN	360	14	0.233	3.439	24.16
23	18VAN	90	5	0.083	3.523	24.61
24	10VAN	90	2.8	0.047	3.569	24.72
25	6VAN	270	4.2	0.070	3.639	24.83
26	6VAN	90	1.4	0.023	3.663	24.92
27	6VAN	90	1.4	0.023	3.686	25.01
28	12VAN	90	2.25	0.038	3.723	25.26
29	18VAN	180	10.1	0.168	3.892	23.4
30	10VAN	270	7.9	0.132	4.023	23.11
31	10VAN	270	7.9	0.132	4.155	22.87
32	10VAN	270	7.9	0.132	4.287	22.63
33	10VAN	270	7.9	0.132	4.418	22.09
34	15VAN	270	10.5	0.175	4.593	22.08
35	10VAN	270	7.9	0.132	4.725	22.27
36	10VAN	270	7.9	0.132	4.857	22.2
37	10VAN	270	7.9	0.132	4.988	22.07
38	10VAN	270	7.9	0.132	5.120	22.14
39	10VAN	270	7.9	0.132	5.252	22.03
40	10VAN	180	5.5	0.092	5.343	22.04
41	10VAN	270	7.9	0.132	5.475	21.82
42	10VAN	180	10.1	0.168	5.643	21.81
43	10VAN	270	7.9	0.132	5.775	25.13
44	10VAN	270	7.9	0.132	5.907	25.06
45	10VAN	270	7.9	0.132	6.038	25.02
46	18VAN	270	15.1	0.252	6.290	24.79
47	10VAN	90	2.8	0.047	6.337	24.84
48	10VAN	90	2.8	0.047	6.383	24.62
49	12VAN	270	6.76	0.113	6.496	24.33
50	10VAN	270	7.9	0.132	6.628	24.3

Tolerancia de presiones:

$$\Delta P \leq 20\% P_{nom.}$$

$P_{nom} = 21m$

$P_{m\acute{a}x} = 25.64m$

$P_{m\acute{i}n} = 22.63m$

Entonces: $3.41 \leq 4.2 \dots Ok$

SECTOR 4						
DIFUSOR	SERIE VAN	ANGULO DE GIRO	CAUDAL (l/min)	CAUDAL (l/s)	CAUDAL ACUMULADO (l/s)	PRESION (m.c.a)
1	18VAN	180	10.1	0.168	0.168	24.28
2	18VAN	180	10.1	0.168	0.337	23.94
3	18VAN	360	20.1	0.335	0.672	23.07
4	18VAN	180	10.1	0.168	0.840	23.56
5	10VAN	180	5.5	0.092	0.932	23.45
6	10VAN	180	5.5	0.092	1.023	23.65
7	10VAN	180	5.5	0.092	1.115	23.65
8	18VAN	180	10.1	0.168	1.283	23.86
9	18VAN	180	10.1	0.168	1.452	24.22
10	18VAN	90	5	0.083	1.535	24.61
11	18VAN	180	10.1	0.168	1.703	25.27
12	18VAN	360	20.1	0.335	2.038	25.2
13	18VAN	360	20.1	0.335	2.373	25.18
14	18VAN	90	5	0.083	2.457	25.72
15	18VAN	180	10.1	0.168	2.625	26.03
16	18VAN	180	10.1	0.168	2.793	26.39
17	12VAN	360	9.02	0.150	2.944	26.49
18	12VAN	180	4.51	0.075	3.019	26.55
19	15VAN	180	7	0.117	3.136	26.45
20	12VAN	180	4.51	0.075	3.211	26.15
21	15VAN	180	7	0.117	3.327	25.88
22	15VAN	180	7	0.117	3.444	25.55
23	18VAN	360	20.1	0.335	3.779	25.44
24	18VAN	90	5	0.083	3.862	25.27
25	18VAN	180	10.1	0.168	4.031	24.74
26	10VAN	270	7.9	0.132	4.162	26
27	10VAN	270	7.9	0.132	4.294	25.89
28	10VAN	270	7.9	0.132	4.426	25.8
29	10VAN	270	7.9	0.132	4.557	25.72
30	10VAN	270	7.9	0.132	4.689	25.67
31	15VAN	270	10.5	0.175	4.864	25.67
32	10VAN	270	7.9	0.132	4.996	25.24
33	10VAN	270	7.9	0.132	5.127	25.17
34	10VAN	270	7.9	0.132	5.259	25.03
35	10VAN	270	7.9	0.132	5.391	25.09
36	10VAN	270	7.9	0.132	5.522	24.67
37	18VAN	270	15.1	0.252	5.774	24.62
38	10VAN	270	7.9	0.132	5.906	24.85
39	10VAN	270	7.9	0.132	6.037	24.85
40	10VAN	270	7.9	0.132	6.169	23.3
41	10VAN	270	7.9	0.132	6.301	23.23

«continuación»

42	18VAN	180	10.1	0.168	6.469	23.18
43	10VAN	270	7.9	0.132	6.601	23.13
44	10VAN	270	7.9	0.132	6.732	23.09
45	10VAN	270	7.9	0.132	6.864	22.67
46	10VAN	270	7.9	0.132	6.996	22.38
47	10VAN	270	7.9	0.132	7.127	22.38

Tolerancia de presiones:

$$\Delta P \leq 20\% P_{nom}.$$

$P_{nom} = 21m$

$P_{m\acute{a}x} = 26.55m$

$P_{m\acute{i}n} = 22.38m$

Entonces: $4.17 \leq 4.2 \dots Ok$

SECTOR 5						
NODO	SERIE VAN	ANGULO DE GIRO	CAUDAL (l/min)	CAUDAL (l/s)	CAUDAL ACUMULADO (l/s)	PRESION (m.c.a)
1	18VAN	90	5	0.083	0.083	26.54
2	15VAN	180	7	0.117	0.200	26.44
3	15VAN	180	7	0.117	0.317	26.19
4	12VAN	360	9.02	0.150	0.467	25.91
5	15VAN	180	7	0.117	0.584	25.89
6	18VAN	90	5	0.083	0.667	25.63
7	15VAN	180	7	0.117	0.784	25.41
8	18VAN	180	10.1	0.168	0.952	24.97
9	18VAN	180	10.1	0.168	1.120	24.56
10	12VAN	360	9.02	0.150	1.271	24.51
11	18VAN	180	10.1	0.168	1.439	24.48
12	18VAN	180	10.1	0.168	1.607	23.35
13	18VAN	180	10.1	0.168	1.776	22.92
14	18VAN	90	5	0.083	1.859	22.86
15	18VAN	180	10.1	0.168	2.027	23.83
16	18VAN	90	5	0.083	2.111	24.22
17	18VAN	180	10.1	0.168	2.279	24.65
18	18VAN	180	10.1	0.168	2.447	24.75
19	18VAN	360	20.1	0.335	2.782	24.69
20	18VAN	270	15.1	0.252	3.034	25.17
21	15VAN	180	7	0.117	3.151	25.36
22	15VAN	180	7	0.117	3.267	25.57
23	15VAN	180	7	0.117	3.384	25.92
24	15VAN	180	7	0.117	3.501	26.18
25	18VAN	180	10.1	0.168	3.669	26.34
26	12VAN	270	6.76	0.113	3.782	25.8

«continuación»

27	10VAN	270	7.9	0.132	3.913	25.8
28	10VAN	270	7.9	0.132	4.045	25.65
29	10VAN	270	7.9	0.132	4.177	25.52
30	10VAN	270	7.9	0.132	4.308	25.49
31	12VAN	270	6.76	0.113	4.421	25.49
32	10VAN	270	7.9	0.132	4.553	24.81
33	10VAN	270	7.9	0.132	4.684	24.81
34	10VAN	270	7.9	0.132	4.816	25.12
35	10VAN	270	7.9	0.132	4.948	25.06
36	10VAN	270	7.9	0.132	5.079	24.93
37	10VAN	270	7.9	0.132	5.211	25
38	10VAN	270	7.9	0.132	5.343	24.75
39	10VAN	270	7.9	0.132	5.474	24.75
40	12VAN	270	6.76	0.113	5.587	23.25
41	10VAN	270	7.9	0.132	5.719	23.24
42	10VAN	270	7.9	0.132	5.850	23.61
43	10VAN	270	7.9	0.132	5.982	23.61
44	10VAN	270	7.9	0.132	6.114	23.84
45	10VAN	270	7.9	0.132	6.245	23.84
46	10VAN	270	7.9	0.132	6.377	23.94
47	10VAN	270	7.9	0.132	6.509	23.94

Tolerancia de presiones:

$$\Delta P \leq 20\% P_{nom}.$$

$$P_{nom} = 21m$$

$$P_{m\acute{a}x} = 26.44m$$

$$P_{m\acute{i}n} = 22.86m$$

$$\text{Entonces: } 3.58 \leq 4.2 \dots \text{Ok}$$

Anexo 9: Presupuesto detallado

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO	PRESUP. PARCIAL		SUBTOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
				C.UNIT.	C.PARCIAL		
I	SUMINISTRO DE TUBERÍAS Y EQUIPOS DE RIEGO						18,867.2
1	Red de tuberías y accesorios					3,662.5	
1.01	Tubería PVC SP 1/2" CL-10	UND.	55	4	220		
1.02	Tubería PVC SP 1" CL-10	UND.	61	5.5	335.5		
1.03	Tubería PVC SP 1 1/4" CL-10	UND.	35	11.5	402.5		
1.04	Tubería PVC SP 1 1/2" CL-10	UND.	31	12.5	387.5		
1.05	Tubería PVC SP 2" CL-10	UND.	26	17.5	455		
1.06	Tubería PVC UF 75 mm CL-10	UND.	12	45	540		
1.07	Tubería PVC UF 90 mm CL-10	UND.	13	65	845		
1.09	Codo PVC SP 90° 1/2"	UND.	14	1	14		
1.10	Codo PVC SP 90° 1"	UND.	14	1	14		
1.11	Codo PVC SP 90° 1 1/4"	UND.	6	5	30		
1.12	Codo PVC 90° 2"	UND.	2	2	4		
1.13	Codo PVC 90° de 90mm	UND.	1	8	8		
1.14	Codo PVC 45° 1/2"	UND.	14	1	14		
1.15	Codo PVC 45° 1"	UND.	13	1	13		
1.16	Codo PVC 45° 1 1/4"	UND.	7	1.5	10.5		
1.17	Codo PVC 45° 1 1/2"	UND.	20	2	40		
1.18	Codo PVC 45° 2"	UND.	18	2	36		
1.19	Codo PVC 45° de 75mm	UND.	6	6	36		
1.20	Tee PVC 1/2"	UND.	17	0.5	8.5		
1.21	Tee PVC 1"	UND.	26	1	26		
1.22	Tee PVC 1 1/2"	UND.	5	3.5	17.5		
1.23	Tee PVC 2"	UND.	5	5.5	27.5		
1.24	Tee PVC 1 1/4"	UND.	13	3	39		
1.25	Tee PVC 2" salida a 1"	UND.	2	6	12		
1.26	Tee PVC 1 " salida a 1/2"	UND.	15	1.5	22.5		
1.27	Tee PVC 1 1/4" salida a 1/2"	UND.	6	3.5	21		
1.28	Tee PVC 1 1/2" salida a 1 1/4"	UND.	1	4	4		
1.29	Reducción PVC 2" a 1 1/4"	UND.	2	2	4		
1.30	Reducción PVC 1" a 1/2"	UND.	15	1.5	22.5		
1.31	Reducción PVC 2" a 1 1/2"	UND.	2	2	4		
1.32	Reducción PVC 1 1/4" a 1 "	UND.	7	2	14		
1.33	Reducción PVC 1 1/2" a 1 1/4"	UND.	1	2	2		
1.34	Reducción PVC 1 1/2" a 1/2"	UND.	1	1.5	1.5		
1.35	Reducción PVC 1 1/4" a 1/2"	UND.	6	1.5	9		
1.36	Reducción PVC 2" a 1"	UND.	2	2	4		

«continuación»

1.37	Reducción PVC 1 1/2" a 1"	UND.	3	1.5	4.5	
1.38	Reducción 75mm a 2"	UND.	3	3.5	10.5	
1.39	Reducción 75mm a 1 1/2"	UND.	1	3.5	3.5	
2	Sistema de riego por aspersión					4,952
2.01	Difusores Rain Bird c/ cuerpo 1800PRS 1/2" incl./Boquilla	UND.	237	13	3081	
2.02	Tee PVC 1/2" mixta c/salida rosca hembra	UND.	38	1	38	
2.03	Tee PVC 1" mixta c/salida rosca hembra	UND.	25	1.5	37.5	
2.04	Tee PVC 1 1/4" mixta c/salida rosca hembra	UND.	20	3.5	70	
2.05	Tee PVC 1 1/2" mixta c/salida rosca hembra	UND.	19	4	76	
2.06	Tee PVC 2" mixta c/salida rosca hembra	UND.	28	6	168	
2.07	Tee PVC 75mm mixta c/salida rosca hembra	UND.	3	8	24	
2.08	Codo 90° PVC 1/2" mixta c/salida rosca hembra	UND.	54	1.5	81	
2.09	Codo 90° PVC 1" mixta c/salida rosca hembra	UND.	32	2.5	80	
2.10	Codo 90° PVC 1 1/4" mixta c/salida rosca hembra	UND.	14	5	70	
2.11	Codo 90° PVC 1 1/2" mixta c/salida Roscada Hembra	UND.	3	5.5	16.5	
2.12	Codo 90° PVC 2" mixta c/salida Roscada Hembra	UND.	1	7.5	7.5	
2.13	Reducción Bushing PVC roscada de 1" x1/2"	UND.	61	1.5	91.5	
2.14	Reducción Bushing PVC roscada de 1 1/2" x1/2"	UND.	20	2	40	
2.15	Reducción Bushing PVC roscada de 1 1/4" x1/2"	UND.	34	2	68	
2.16	Reducción Bushing PVC roscada de 2" x1/2"	UND.	29	5	145	
2.17	Reducción Bushing PVC roscada de 75mm x1/2"	UND.	3	8	24	
2.18	Conector tipo codo PE rosca macho c/ espiga de 1/2"	UND.	474	1	474	
2.19	Manguera Vinil Rain Bird 1/2" x 50mts x rollo	UND.	3	120	360	
3	Sistema de riego por goteo					1,861.7
3.01	Conector inicial p/tubo PVC de PE 16mm c/empaque bilabial	UND.	13	0.5	6.5	
3.02	Conector inicial p/tubo PVC de PE 10mm c/empaque bilabial	UND.	4	0.5	2	
3.03	Mini válvula PE 16mm dentada	UND.	13	5	65	
3.04	Mini válvula PE 10mm dentada	UND.	4	3.5	14	
3.05	Unión PE 16mm x 16mm dentada	UND.	40	0.5	20	
3.06	Unión PE 10mm x 10mm dentada	UND.	30	0.5	15	
3.07	Conector tipo codo PE dentado 16mm	UND.	45	0.5	22.5	

«continuación»

3.08	Conector tipo codo PE dentado 10mm	UND.	24	0.5	12		
3.09	Final de línea PE 16mm	UND.	13	0.5	6.5		
3.10	Final de línea PE 10mm	UND.	4	0.5	2		
3.11	Manguera con gotero integrado Hidrogol 16mm 40mil/0.40m/1.2 lph, rollo de 100m	ROLLO	6	260	1560		
3.12	Goteros botón 4.2 l/s autocompensantes Katif	UND.	16	0.7	11.2		
3.13	Microtubo PE de 10mm	MTS.	25	5	125		
4	Automatización					1,356	
4.01	Programador Rainbird ESP-RZX	UND.	2	260	520		
4.02	Cable eléctrico NYY 1x 2.5mm ²	MTS.	160	3.9	624		
4.03	Empalmes eléctricos	UND.	10	5	50		
4.04	Pegamento OATEY 1/4 glm verde	UND.	3	42	126		
4.05	Cinta teflón 3/4 x rollo	UND.	30	1.2	36		
5	Sistema de Bombeo y filtrado					6,520	
5.01	Electrobomba centrífuga Pedrollo 10Hp modelo 32/200 incl./tab.	UND.	1	4860	4860		
5.02	Electrobomba centrífuga Pedrollo 1Hp modelo Cp620 incl./tab.	UND.	1	930	930		
5.03	Manómetro de glicerina + agua 2.5bares	UND.	4	50	200		
5.04	Filtro de anillas 3" de 120mesh	UND.	1	500	500		
5.05	Filtro de anillas 1" de 120mesh	UND.	1	30	30		
6	Sistema de fertilizante					515	
6.01	Inyector Venturi de 1/2"	UND.	1	65	65		
6.02	Tanque de PE de 300 L.	UND.	1	450	450		
INVERSIÓN TOTAL DE TUBERÍAS Y EQUIPOS DE RIEGO				S/.	18,867.2	18,867.2	18,867.2
II	OTROS						
	Transporte de fletes de equipo	GLB	1	1,000	1,000	2,000	2,000
	Capacitación y asistencia técnica	GLB	1	1,000	1,000		
INVERSIÓN TOTAL OTROS				S/.	2,000	2,000	2,000
INVERSIÓN TOTAL DE TUBERÍAS, EQUIPOS Y OTROS (COSTO DIRECTO)				S/.	20,867.2	20,867.2	20,867.2
UTILIDAD (10%)							2,086.72
GASTOS GENERALES (10%)							2,086.72
IMPREVISTOS (5%)							1,043.36
SUBTOTAL							26,084
IGV (18%)							4,695.12
COSTO TOTAL DE TUBERÍAS, EQUIPOS DE RIEGO Y OTROS, INCL. IGV (S/.)							30,779.12
COSTO TOTAL DE TUBERÍAS, EQUIPOS DE RIEGO Y OTROS, INCL. IGV (\$)							9,160.45

Tipo de cambio \$1=3.36 soles

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO	PRESUP. PARCIAL		SUBTOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
				C.UNIT	C. PARCIAL		
I	INSTALACIÓN DE MANO DE OBRA DEL SISTEMA DE RIEGO (1 OP. y 3 AYUDANTES)						17,623.51
1.00	OBRAS PRELIMINARES					1,246.8	
1.01	Cartel de Obra	UND	1	250	250		
1.02	Trazo, nivelación y replanteo	ML	1,246	0.80	996.8		
2.00	MOVIMIENTO DE TIERRA					11,557.7	
2.01	Excavación de zanja	M3	253.8	22.67	5,753.6		
2.02	Relleno con material propio zarandeado (cama de apoyo)	M3	76.14	31.33	2,385.5		
2.03	Relleno de zanja con material propio	M3	177.66	16	2,842.6		
2.04	Eliminación de material excedente manual d=30m.	M3	45	12.8	576		
3.00	RED DE TUBERÍAS MATRICES					412.23	
3.01	Tendido e instalación de tuberías de PVC UF Diám. 75mm y 90mm	ML	151	2.73	412.23		
4.00	ARCO DE RIEGO (VÁLVULAS Y ACCESORIOS)					238.5	
4.01	Instalación de electroválvulas y accesorios de arco de riego de 1"	ML	4	26.5	106.00		
4.02	Instalación de electroválvulas y accesorios de arco de riego de 2"	ML	5	26.5	132.50		
5.00	LÍNEA DE RIEGO POR ASPERSIÓN					3,348	
5.01	Tendido e instalación de tuberías secundarias (Diám. 1/2", 1", 1 1/4", 1 1/2" y 2")	ML	1,095.00	2.30	2,518.50		
5.02	Instalación de rociadores de riego	UND	237.00	3.50	829.50		
6.00	LÍNEA DE RIEGO GOTEO					148.81	
6.01	Tendido e instalación de líneas de goteo de 16mm	ML	672.00	0.21	141.12		
6.02	Tendido e instalación de líneas de goteo de 10mm	ML	21.40	0.21	4.49		
6.03	Instalación de microtubo de 10mm con goteros Katif	ML	15.20	0.21	3.19		
7.00	CABEZAL DE RIEGO Y AUTOMATIZACIÓN					360.00	
7.01	Instalación de electrobombas y tableros eléctrico	UND	1	200	200		
7.02	Instalación de equipo de filtrado y fertilización	UND	1	80	80		
7.03	Instalación de equipo de automatización	UND	1	80	80		
8.00	PRUEBA HIDRÁULICA					311.50	
8.01	Prueba hidráulica todo sistema	ML	1,246	0.25	311.5		
INVERSIÓN TOTAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO				S/.	17,623.51	17,623.51	17,623.51
INVERSIÓN TOTAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO (COSTO DIRECTO)				S/.	17,623.51	17,623.51	17,623.51

«continuación»

IGV (18%)	3,172.23
COSTO TOTAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO (INCL. IGV) S/.	20,795.74
COSTO TOTAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO (INCL. IGV) \$	6,189.21

Tipo de cambio \$1=3.36 soles

COSTO TOTAL DE TUBERÍAS, EQUIPOS DE RIEGO Y OTROS, INCL. IGV (\$/.)	9,160.45
COSTO TOTAL DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO, INCL. IGV (\$/.)	6,189.21
COSTO TOTAL, INCL. IGV (\$/.)	15,349.66

Anexo 10: Planos

Se requiere autorización para incorporar planos del campus universitario de otra institución.

Si desea revisarlos favor de acercarse a la Sala Tesis de la Biblioteca Agrícola Nacional "Orlando Olcese" Universidad Nacional Agraria La Molina, para revisar el ejemplar impreso.