

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“CALIBRACIÓN HIDRÁULICA Y PROGRAMACIÓN DE
RIEGO DEL SISTEMA POR ASPERSIÓN DE LOS JARDINES
DE LA UNALM”**

Presentado por:

Bach. ROSA LISETH LLIQUE GALLARDO

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRICOLA**

**Lima – Perú
2017**

DEDICATORIA

A mi madre Luz Gallardo quien está incondicionalmente conmigo.

A la memoria de mi abuelo César Augusto Gallardo, quién a pesar de no estar con nosotros, siempre estuvo presente su ejemplo.

Gracias

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria la Molina y a los profesores de la Facultad de Ingeniería Agrícola quienes me transmitieron sus conocimientos y valores a lo largo de estos años que me servirán para desempeñarme en el ámbito laboral.

A mi madre Luz Gallardo, mis hermanos Rafael y Juan Carlos y mis primas Mercedes, Yolanda y Adriana por su comprensión, cariño y apoyo en cada paso de mi vida, los quiero.

A mi asesor el Ing. David Ascencios quiero expresar mi sincero agradecimiento porque fue mi maestro y guía en el proceso de elaboración y culminación de esta tesis.

A la Ing. Karem Meza quien me oriento y brindo su tiempo y conocimiento en cada una de las etapas del desarrollo de esta tesis, así como también lo hizo el Ing. Jeisson Lluen.

Al Sr. Máximo y al Sr. César, técnicos de la Unidad de Riego Tecnificado de la UNALM, por su apoyo en la obtención de datos.

A los Ingenieros Miguel Sánchez, José Arapa y Lorenzo Hurtado por sus aportes y recomendaciones para la elaboración de esta tesis.

A mis amigos Alfred, Jorge, Giuliana, Andrea y Rolf por haber estado conmigo en los momentos que los necesite brindándome su tiempo y compañía en la elaboración de esta tesis.

A Karen, Natali y Angelita por su cariño y estímulo.

RESUMEN

La calibración de una red de distribución de agua es necesaria para la detección y localización de fallas que pueden generar pérdidas de agua y energía, el proceso de calibración de un sistema de distribución de agua consiste básicamente en ajustar parámetros que permitan que los resultados brindados por el modelo correspondan con los datos medidos en el sistema; normalmente altera la rugosidad de las tuberías y las demandas del sistema. El presente trabajo muestra la calibración hidráulica del sistema de riego por aspersión de los jardines de la UNALM, la metodología consistió en llevar a cabo la evaluación hidráulica que permitió la determinación de parámetros de funcionamiento del sistema, presión y caudal, para proponer nuevos escenarios; posteriormente se realizó la calibración de la red con la estimación de la rugosidad actual de las tuberías. Debido a que la principal fuente de información fueron las presiones medidas en diferentes puntos de la red, mediante la correlación y diferencias entre las mediciones hechas en el sistema y los resultados simulados con WaterCAD, además del cálculo del RMSE (root mean square error) obtenido de éstas, se determinó el valor del factor «C» de Hazen-Williams. Los resultados obtenidos muestran buenas correlaciones entre las presiones medidas y simuladas para los escenarios, siendo capaz de reflejar con buena precisión la operación del sistema, por otro lado, los valores de 135 y 140 asignados al factor «C» son los que representan la rugosidad actual de las tuberías, posteriormente se realiza la propuesta de programación de riego en base a la velocidad de riego obtenida con las presiones definidas gracias a la calibración. Finalmente, se desarrolla un sistema de consulta SIG que permita monitorear, extraer y presentar los datos obtenidos.

Palabras clave: calibración, simulación hidráulica, riego por aspersión, redes de distribución de agua, programación de riegos.

A B S T R A C T

The calibration of a water distribution network is necessary for the detection and location of faults that can generate water and energy losses, the calibration process of a water distribution system basically consists of adjusting parameters that allow the results provided by the model matches to the data measured in the system; it usually alters pipe roughness and demands of the system.

This work shows the hydraulic calibration of the sprinkler irrigation system for the UNALM gardens, the methodology comprises in carrying out the hydraulic evaluation that allowed the determination of system operating parameters, pressure and flow, in order to propose new scenarios. Subsequently, the calibration of the network was carried out with the estimation of the current pipes roughness. Owing to made the main source of information, the pressures were measured at different points in the network, through the correlation and differences between the measurements in the system and the simulated results with WaterCAD, in addition to the calculation of the obtained RMSE (root mean squar error) of these, the value of factor "C" of Hazen-Williams was determined. The results obtained show good correlations between the measured and simulated pressures for scenarios, these are able to reflect accurately the operation of the system. On the other hand, the assigned values of 135 and 140 to the factor "C" are those that represent the roughness current of the pipes, of towards the proposed irrigation schedule is made based on the obtained irrigation speed with the defined thanks pressures to the calibration. Finally, a GIS consultation system is developed in order to allow monitoring, extraction and showing the obtained data.

Keywords: calibration, simulation hydraulic, sprinkler irrigation, water distribution network, irrigation scheduling.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción.....	1
1.1. Objetivo	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. Revisión de Literatura	3
2.1. Sistema de riego por aspersión en jardinería	3
2.2. Componentes del sistema de riego por aspersión.....	4
2.2.1. La fuente de abastecimiento de agua.....	4
2.2.2. Cabezal de riego (filtrado y bombeo).....	4
2.2.3. Red de distribución	6
2.2.4. Arco de riego.....	6
2.2.5. Emisores	7
2.2.6. Automatización de sistema de riego.....	7
2.3. Necesidades hídricas de los cultivo	8
2.3.1. Evapotranspiración	9
2.4. Programación de riegos.....	10
2.5. Simulación hidráulica con Sistema informático WATERCAD	11
2.5.1. Características del modelo hidráulico	11
2.5.2. Hipótesis simplificadas	12
2.5.3. Ecuaciones fundamentales.....	13
2.6. Conceptos de Presión Estática y Dinámica.....	15
2.6.1. Ecuaciones de comportamiento de los elementos de la red.....	17
2.6.2. Componentes de una red hidráulica en WaterCAD.....	22
2.7. Calibración de redes hidráulicas.....	24
2.7.1. Calibración de redes hidráulicas empleando herramienta Darwin Calibrator del software WaterCAD.....	25
2.8. Sistema de información geográfica (GIS)	27
2.8.1. Función del GIS como sistema de consulta	27
III. Materiales y Métodos.....	28

3.1.	Descripción del área de estudio	28
3.1.1.	Ubicación y extensión.....	28
3.2.	Materiales y equipos	32
3.3.	Metodología de Estudio	33
3.3.1.	Reconocimiento y reconocimiento del sistema.....	33
3.3.2.	Análisis hidráulico del sistema	36
3.3.3.	Planteamiento de la propuesta	38
3.3.4.	Calibración hidráulica del sistema.....	42
3.3.5.	Determinación de los escenarios calibrados	50
3.3.6.	Propuesta de programación de riego	53
3.3.7.	Costo energético.....	55
3.3.8.	Desarrollo de un sistema de consulta SIG.....	57
IV.	Resultados y discusión	59
4.1.	Análisis de datos básicos.....	59
4.1.1.	Fuente de Agua	59
4.1.2.	Análisis de agua	59
4.1.3.	Datos climáticos.....	60
4.1.4.	Oferta de agua	62
4.1.5.	Demanda de agua.....	63
4.1.6.	Balance Hídrico	64
4.2.	Descripción de los Componentes del Sistema de Riego	67
4.2.1.	Sectores de Riego.....	67
4.2.2.	Cabezal de Riego	69
4.2.3.	Red de distribución	72
4.2.4.	Automatización del sistema.....	72
4.3.	Diagnóstico del sistema-Programación Actual.....	73
4.3.1.	Análisis hidráulico para el “Escenario 1” – Programación actual.....	73
4.4.	Planteamiento de la propuesta	77
4.4.1.	Análisis hidráulico para «Escenario 2» -propuesto	77
4.4.2.	Análisis hidráulico para el «Escenario 3» Propuesto.....	81
4.5.	Proceso de calibración y determinación del valor del coeficiente “c” de Hazen y Williams	85
4.5.1.	Calibración «Escenario 1».....	85

4.5.2. Calibración «Escenario 2».....	92
4.5.3. Calibración «Escenario 3».....	98
4.6. Propuesta de programación de riego.....	104
4.6.1. Propuesta de programación de riego para el «Escenario 1».....	104
4.6.2. Propuesta de programación de riego para el «Escenario 2».....	109
4.6.3. Propuesta de programación de riego para el «Escenario 3».....	113
4.7. Costo Energético.....	118
4.7.1. Costo energético para el «Escenario 1»	118
4.7.2. Costo energético para el «Escenario 2»	120
4.7.3. Costo energético para el «Escenario 3»	121
4.7.4. CDT producida y CDT requerida.....	124
4.8. sistema de consulta SIG.....	125
4.8.1. Datos extraídos por válvulas.....	125
4.8.2. Datos extraídos para «Escenario 1»	127
4.8.3. Datos extraídos para «Escenario 2»	128
4.8.4. Datos extraídos para «Escenario 3»	129
4.8.5. Uso de herramienta Definition query	130
V. Conclusiones.....	135
VI. Recomendaciones	136
VII. Referencias bibliográficas	137
VIII. Anexos.....	140

Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1: Tipos de Filtros según tipo de partícula	5
Cuadro 2: Coeficientes del cultivo-forrajes.....	10
Cuadro 3: Comparativo diferentes fórmulas para calcular pérdida de carga para tuberías a presión.....	18
Cuadro 4: Fórmulas de Pérdida de Carga para tubería en presión	18
Cuadro 5: Coeficiente de rugosidad para tuberías nuevas	19
Cuadro 6: Valores de «K» para los accesorios más comunes	20
Cuadro 7: Velocidad vs. Relación de diámetro para el cálculo del coeficiente de contracción súbita.....	21
Cuadro 8: Componentes físicos, no físicos e híbridos de WaterCAD	22
Cuadro 9: Distribución del área con riego tecnificado UNALM	31
Cuadro 10: Rangos en los que se encuentra el valor de ΔH	51
Cuadro 11: Análisis Microbiológico	60
Cuadro 12: Calculo de ETo por Penman-Monteith con uso del software Cropwat.....	61
Cuadro 13: Oferta mensual para áreas verdes (jardines)	62
Cuadro 14: Oferta semanal para áreas verdes (jardines)	62
Cuadro 15: Demanda hídrica de áreas verdes urbanas (jardines).....	63
Cuadro 16: Balance hídrico mensual para áreas con riego en la UNALM	64
Cuadro 17: Balance hídrico mensual para áreas verdes (Jardines).....	65
Cuadro 18: Balance hídrico semanal para áreas verdes (Jardines).....	66
Cuadro 19: Comparación entre presión consigna y presión de llegada para los turnos del «Escenario 1» -Programación actual	73
Cuadro 20: Comparación entre presión de consigna y presión de llegada para los turnos del «Escenario 2»	77
Cuadro 21: Comparación entre presión de consigna y presión de llegada para los turnos del «Escenario 3»	81
Cuadro 22: Comparación entre Hmedida y Hsimulada para «Escenario 1» según los diferentes valores de «C»	85
Cuadro 23: Valores de RMSE para «Escenario 1».....	88
Cuadro 24: Rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» – «Escenario 1».....	89

Cuadro 25: Comparación entre Hmedida y Hsimulada para «Escenario 2» según los diferentes valores de «C»	92
Cuadro 26: Valores de RMSE para «Escenario 2»	93
Cuadro 27: Rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» –	95
Cuadro 28: Comparación entre Hmedida y Hsimulada para «Escenario 3» según los diferentes valores de «C»	98
Cuadro 29: Valores de RMSE para «Escenario 3»	99
Cuadro 30: Rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» – «Escenario 3».	101
Cuadro 31: Programación de riego por mes y turno para «Escenario 1»	105
Cuadro 32: Programación de riego por mes y turno para «Escenario 2»	109
Cuadro 33: Programación de riego por mes y turno para «Escenario 3»	114
Cuadro 34: Costo energético mensual (s./) «Escenario 1»	119
Cuadro 35: Costo energético mensual (s./) «Escenario 2»	121
Cuadro 36: Costo energético mensual (s./) «Escenario 3»	122
Cuadro 37: Costo anual de sobrepresiones para los diferentes escenarios.....	124

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Ecuación de continuidad para el nudo genérico i.....	13
Figura 2: Representación gráfica de la energía entre dos puntos.....	15
Figura 3: Representación gráfica de la Presión Estática	15
Figura 4: Representación gráfica de la Presión Dinámica	16
Figura 5: Presiones Dinámicas en Sistemas con Bombeo	17
Figura 6: Pérdida en una contracción súbita.....	21
Figura 7: Ubicación de la UNALM.....	29
Figura 8: Ubicación del Área de estudio-distribución de las áreas de jardines, campus de la UNALM.....	30
Figura 9: Diagrama de flujo de la metodología seguida	33
Figura 10: Esquema de sistema de riego por aspersión para las áreas de jardines, campus de la UNALM.....	35
Figura 11: Parámetros hidráulicos, singularidades y margen de seguridad	37
Figura 12: Representación gráfica de las sobrepresiones	38
Figura 13: Agrupación de válvulas por turno para «Escenario 2».....	40
Figura 14: Agrupación de válvulas por turno para «Escenario 3».....	41
Figura 15: Diagrama de flujo de la metodología seguida al realizar la calibración.....	42
Figura 16: Esquema de presión medida y presión simulada empleadas.....	47
Figura 17: Representación gráfica de barras para los rangos en los que se encuentra el valor de ΔH	52
Figura 18: Representación máx., mín. y prom. de ETo (mm/día)	61
Figura 19: Balance hídrico mensual para áreas con riego en la UNALM.....	64
Figura 20: Balance hídrico mensual para áreas verdes (jardines).....	65
Figura 21: Balance hídrico semanal para áreas verdes (jardines).....	66
Figura 22: Equipo de bombeo Hidrostral, modelo B08M-H-8	69
Figura 23: Filtro de mallas FILTOMAT M100 6800 ^a	70
Figura 24: Válvula sostenedora y válvula de alivio	71
Figura 25: Medidor tipo Woltman de 6”	71

Figura 26: CDT requerida y eficiencia por turno para el «Escenario 1» vs curvas características de la bomba.....	75
Figura 27: CDT (m) y eficiencia por turno para «Escenario 2» vs curvas características de la bomba.....	79
Figura 28: CDT (m) y eficiencia por turno para «Escenario 3» vs curvas características de la bomba.....	83
Figura 29: Representación gráfica de RMSE para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 1»	88
Figura 30: Representación gráfica de RMSE para el factor «C» por tipo de emisor– «Escenario 1»	88
Figura 31: Representación gráfica rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 1»	89
Figura 32: Correlación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 1».....	91
Figura 33: Representación gráfica de RMSE para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 2»	94
Figura 34: Representación gráfica de RMSE para el factor «C» por tipo de emisor – «Escenario 2»	94
Figura 35: Representación gráfica rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 2»	95
Figura 36: Correlación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 2».....	97
Figura 37: Representación gráfica de RMSE para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 3»	100
Figura 38: Representación gráfica de RMSE para el factor «C» por tipo de emisor empleados – «Escenario 3».....	100
Figura 39: Representación gráfica rangos de ΔH para los diferentes valores de «C» – «Escenario 3»	101
Figura 40: Correlación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 3».....	103
Figura 41: Costo energético mensual para los diferentes escenarios.....	123
Figura 42: Representación gráfica CDT producida y CDT requerida para los diferentes escenarios.....	124

Índice de anexos

	Página
Anexo 1: Curva característica bomba Hidrostral B08M-H de Ø 145.....	140
Anexo 2: Determinación de la velocidad de aplicación y caudal por válvula según catálogo.....	141
Anexo 3: Cálculos hidráulicos «Escenario 1».....	145
Anexo 4: Cálculos hidráulicos «Escenario 2».....	148
Anexo 5: Cálculos hidráulicos «Escenario 3».....	151
Anexo 6: Volúmenes de agua asignados a la UNALM para fines de riego.....	154
Anexo 7: Pasos para simulación hidráulica utilizando software WaterCAD v8i	155
Anexo 8: Proceso seguido para la comparación entre la presión consigna y la presión de llegada a cada válvula.....	163
Anexo 9: Representación gráfica de la presión medida por válvula	164
Anexo 10: Representación gráfica de la presión simulada por válvula.....	165
Anexo 11: Representación gráfica de $H_{simulada\ i} - H_{medida\ i}$ por válvula (ΔH).....	166
Anexo 12: Representación gráfica del caudal determinado por válvula	167
Anexo 13: Pasos para calibrar utilizando la herramienta Darwin calibrator en WaterCAD v8i	168
Anexo 14: Comparación gráfica de las presiones obtenidas con los diferentes valores del factor «C»	174
Anexo 15: Representación gráfica del tiempo de riego calculado por turno	175
Anexo 16: Parámetros de operación para los turnos del «Escenario 1» -Programación actual.....	176
Anexo 17: Parámetros de operación para los turnos del «Escenario 2».....	181
Anexo 18: Parámetros de operación para los turnos del «Escenario 3».....	184
Anexo 19: Datos monitoreados para «Escenario 1»	187
Anexo 20: Datos Monitoreados para «Escenario 2».....	191
Anexo 21: Datos Monitoreados para «Escenario 3».....	193
Anexo 22: Datos procesados de campo empleados para la calibración del «Escenario 1».....	195
Anexo 23: Datos procesados de campo empleados para la calibración del «Escenario 2».....	197

Anexo 24: Datos Procesados de campo empleados para la calibración del «Escenario 3».....	198
Anexo 25: Especificaciones de operación de los diferentes emisores instalados en los jardines de la UNALM.....	200
Anexo 26: Perdida de carga para la válvula Serie 200-PGA Angulo 5.1cm.....	210
Anexo 27: Ficha técnica bomba-Curva característica de bomba instalada en cabezal de riego	211
Anexo 28: Recibo de tarifa de agua con fines agrarios de la UNALM.....	212
Anexo 29: Recibo de energía eléctrica de la UNALM.....	213
Anexo 30: Funcionamiento en campo de los diferentes emisores instalados en los jardines de la UNALM.....	214
Anexo 31: Acumulación de arcilla en tuberías de la red del sistema de riego	216
Anexo 32: Distribución de Turnos para «Escenario 1»	217
Anexo 33: Distribución de Turnos para «Escenario 2»	218
Anexo 34: Distribución de Turnos para «Escenario 3»	219

I. INTRODUCCIÓN

La ineficiencia en las redes de distribución de agua está entre las principales causas que generan pérdida de energía y agua, estas pérdidas tienen un costo económico que puede ser reducido con la detección y localización de fallas en las redes de distribución de agua; sin embargo, dichas acciones requieren un modelo bien calibrado para generar resultados confiables. El proceso de calibración de un sistema de distribución de agua consiste básicamente en ajustar parámetros que permitan que los resultados brindados por el modelo correspondan con los parámetros medidos en el sistema. El proceso de calibración altera las demandas del sistema, la rugosidad de las tuberías, y modifica las características de funcionamiento de la bomba hasta alcanzar la concordancia satisfactoria entre datos medidos y modelados. La presión y las mediciones de flujo son la principal fuente de información para calibrar un modelo hidráulico. (Sanz et al. 2015) En este sentido, es importante realizar la calibración de los sistemas de distribución de agua una vez que hayan sido ejecutados y requieren eficiencia en su operación y mantenimiento.

En la actualidad la tendencia de las investigaciones para la simulación y calibración de modelos de sistemas de distribución de agua, se realiza con modelos matemáticos automáticos implementados en softwares como WaterCAD, Epanet entre otros, que poseen rapidez de cálculo, capaces de minimizar las diferencias entre los valores medidos en el sistema y los simulados.

Por otro lado, en las últimas décadas se ha hecho necesario determinar las técnicas más adecuadas para el uso eficiente del recurso hídrico, debido a su escasez, uso desmedido e incremento de la demanda por parte de los usuarios. Es en este ámbito que el riego de áreas verdes urbanas debe ser llevado a cabo en la forma más eficiente posible, evitando un consumo excesivo de agua, pues el principal objetivo es la conservación de la vegetación y su mantenimiento en condiciones estéticas aceptables. (Rodríguez et al. 2012)

El presente trabajo tuvo por objetivo realizar la calibración hidráulica y la propuesta de programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM el cual está conformado por 103 válvulas y 37 turnos de riego. Para lograr eficiencia en el riego se debe realizar la evaluación hidráulica de la operación del sistema a modo de determinar los parámetros de funcionamiento, como presión y caudal, proponiendo nuevos escenarios en base a la actual operación del sistema. La medición de presiones en diferentes puntos de la red, permitió obtener como parámetro calibrado la rugosidad en los diferentes escenarios planteados. Posteriormente se realizó la propuesta de programación de riego en base a la velocidad de riego obtenida con las presiones definidas gracias a la calibración.

Finalmente se desarrolla un sistema de consulta SIG que permita monitorear, extraer y presentar los datos de presión, caudal, tipo de emisor, Ø válvula, Ø tubería.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo general

- Realizar la calibración hidráulica y programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM, teniendo como base la actual operación del sistema.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar hidráulicamente el sistema de riego por aspersión de la UNALM.
- Realizar la calibración del sistema empleando el software WaterCAD, teniendo como base la simulación hidráulica y la realización de pruebas de campo (medición de presiones y caudales).
- Realizar una nueva programación de riego, mediante la definición de nuevos turnos de riego.
- Construir un sistema de consulta SIG, para monitorear y facilitar la toma adecuada de decisiones sobre las áreas de jardines de la UNALM.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN JARDINERÍA

El sistema de riego por aspersión es un método de riego que simula el aporte de agua que realizan las lluvias sobre el terreno, el agua va en conducción forzada a través de tuberías hasta el aspersor y desde éste por el aire, logrando la aplicación de una lámina que sea capaz de infiltrarse sin producir escorrentía.

La aplicación si el sistema está bien diseñado es muy uniforme, alcanzando eficiencias de aplicación entre 65-85 por ciento. (Castañón 2000)

Por otro lado, el desarrollo y mantenimiento de zonas verdes en los núcleos urbanos conlleva a la necesidad de disponer de un sistema de riego eficaz, es así que el riego de jardines ha evolucionado en las últimas décadas debido fundamentalmente al desarrollo de nuevos materiales y componentes, y a la aparición de modernos equipos que permiten un manejo más cómodo y eficiente. En la actualidad el riego por aspersión es uno de los más empleados, en él es necesario que el agua de riego esté dotada de una energía determinada para que esta circule por las tuberías a presión, de forma que los emisores de agua funcionen correctamente, y apliquen a las plantas del jardín el agua necesaria uniforme y eficientemente.

De esta forma cuando se plantea el diseño de riego del jardín es muy importante tener en cuenta el caudal y la presión de entrada, así como las pérdidas de carga. De modo que pueda considerarse, de ser necesaria, la instalación de un sistema de bombeo. (Rodríguez *et al.* 2012)

2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Una instalación de riego por aspersión está constituida básicamente por los siguientes componentes:

2.2.1. La fuente de abastecimiento de agua

Es un punto de alimentación de agua, que puede ser un río, un canal, un pozo o cualquier otro punto cuya dotación de agua se almacena en reservorios, donde el agua pueda ser aspirada por un grupo de bombeo, que le suministrará la presión necesaria para un eficaz funcionamiento del sistema de riego, y sus dimensiones dependen de la superficie a regar. Su función es la de abastecer de agua en forma permanente al sistema (Castañon 2000)

Existen varios tipos de reservorios siendo los más comunes aquellos recubiertos con una membrana impermeable; para el cual se utiliza geomembrana de polietileno, PVC o combinación de ambas resistentes a la acción de los rayos ultravioleta.

2.2.2. Cabezal de riego (filtrado y bombeo)

Es el conjunto de elementos que permite el tratamiento del agua de riego, su filtrado y medición, el control de la presión y la aplicación de fertilizantes. (ADRA PERU 2009)

a. Sistema de bombeo

Actualmente, la manera habitual de suministrar presión al agua de riego es mediante un sistema de bombeo. Las bombas son los mecanismos que se encargan de suministrar a la instalación de riego el caudal de agua necesario a la presión adecuada. (Rodríguez *et al.* 2012)

b. Sistema de filtrado

El equipo de filtrado es el componente principal del cabezal ya que, tras su paso por él, el agua quedara limpia de todos los sólidos y partículas en suspensión capaces de producir obturaciones en los emisores.

Cuando el agua pasó por un depósito al aire libre, en ella se desarrollan algas, a veces de un tamaño tan reducido que pasan por los filtros, favoreciendo además el desarrollo de

bacterias en tuberías y emisores. Además, todas las aguas, tienen un cierto contenido en sales que en determinadas condiciones (cambios de pH, evaporación, etc.) pueden precipitar obturando los emisores, e igual puede ocurrir con los fertilizantes añadidos al agua de riego. (Pizarro 1996)

Cuando los emisores se tapan afectan a las plantas ubicadas cerca de donde ocurre el problema reciben muy poca agua y fertilizantes, por lo tanto, presentan problemas de crecimiento y producción. (ADRA PERU 2009)

Cuadro 1: Tipos de Filtros según tipo de partícula

Tipo de partícula	Hidrociclón Separador	Filtro de Grava	Filtro de Malla y Anillos
Arena	X		X
Limo y Arcilla		X	X
Orgánico		X	X

FUENTE: Adaptado de ADRA PERU 2009.

c. Equipo de fertirrigación

La fertirrigación consiste en la aplicación de abonos disueltos en el agua de riego. Los fertilizantes y demás productos químicos se incorporan a la red de riego a través del equipo de fertirriego, se disuelven en el agua en el interior de un depósito o tanque desde donde son aspirados. (Rodríguez *et al.* 2012)

d. Elementos de control y medición

Permiten controlar y medir los caudales circulantes y las presiones alcanzadas, así como proteger los distintos elementos que componen dicha instalación.

Entre ellos encontramos: válvulas de paso, reguladoras de presión, retención (check), hidráulicas, eléctricas, volumétricas; medidor de agua (hidrómetro), manómetros, purgadores y ventosas, etc. Su operación directa o indirecta (mediante programadores) regula el comportamiento del flujo y la presión en la red. (ADRA PERU 2009)

2.2.3. Red de distribución

Es la red de tuberías que parte del cabezal de riego. Estas tuberías suelen nombrarse según su categoría, siendo la primaria la que parte de la toma de riego o del cabezal, la secundaria la que reparte agua hasta los sectores de riego, terciaria es la tubería que alimenta directamente a los laterales o ramales de aspersión y finalmente en éstos últimos se conectan los emisores de riego. (Pizarro 1996)

Dichas tuberías suelen estar fabricadas en materiales plásticos, fundamentalmente policloruro de vinilo (PVC), polietileno (PE) por tratarse de materiales ligeros de fácil manejo, con poca rugosidad interior y con poca alteración ante fertilizantes y otras sustancias químicas. La elección de uno u otro material dependerá entre otros factores, del diámetro de la tubería y de si ésta va ir o no enterrada. (Rodríguez *et al.* 2012)

- **Clase:** está relacionado únicamente con la sollicitación debida a la “presión interna” en régimen permanente o en reposo. Las sollicitaciones por “Golpe de Ariete” y por “Cargas externas”, deberán también ser consideradas e implicarán la verificación de la “clase” seleccionada.

Debe cumplirse que la Clase debe ser igual o superior a la Presión de Trabajo. Su valor multiplicado por el “coeficiente de seguridad” (estipulados por normas para los distintos materiales) brinda las presiones de rotura mínima que los materiales deberán superar en los ensayos prefijados por las normas para cada material en particular. (Pérez 1999)

2.2.4. Arco de riego

Son las válvulas que se instalan en el campo para suministrar el agua a las diferentes unidades de riego. Pueden ser simples (tipo esféricas) para operación manual o hidráulicas. En éstas últimas la presión hidráulica acciona un diafragma que corta la presión y el flujo del caudal permitiendo su la apertura o cierre. (ADRA PERU 2009)

Se pueden accionar manualmente o a distancia con mandos hidráulicos y/o eléctricos.

2.2.5. Emisores

- **Difusores:** Tienen un radio entre 0.9 y 5.5 m son usados para espacios pequeños, tienen una alta velocidad de aplicación (40 mm/hr aprox.), y funcionan entre un rango de presión de 1.0 y 2.1 bares. Permite mayor control del área a regar ya que se puede regular el ángulo del chorro de agua.
- **Rotores:** Tienen un mayor alcance que los difusores (5-18 m de radio), cuenta con una velocidad de aplicación baja (10 mm/hr aprox.) y funcionan entre un rango de presión de 1.5 a 4.5 bares. Permite un mayor control del área a regar ya que se puede regular el ángulo del chorro de agua.

(Rain Bird 2015)

Se debe tener en cuenta cual es la fuente de agua y la calidad microbiológica de ésta para tomar medidas y evitar obturaciones, es por ello que se recomienda la instalación de un buen sistema de filtrado primario adecuado a las características del agua para prolongar la vida útil de los emisores (ADRAPERU 2009)

2.2.6. Automatización de sistema de riego

Según Tarjuelo (2012) la automatización es fundamental para poder aplicar el agua en el momento más adecuado según la evolución de las necesidades del cultivo y en la cantidad necesaria, permitiendo alcanzar altos niveles de eficiencia en el uso del agua, energía y los fertilizantes, reduciendo los costes de producción y el consumo de agua; y facilita la gestión de la explotación, pudiendo obtener datos sobre el desarrollo del riego, estadísticos o de control sobre gastos de agua, electricidad y fertilizantes.

En la automatización se transfieren tareas de producción a un conjunto de elementos tecnológicos. Las tareas se traducen en acciones de manera precisa y repetitiva con mínima mano de obra o intervención del hombre; controlando la ejecución y llevando registro de estas.

a. Componentes

- Parte Operativa, equipos en campo. Ejecutan acciones y reciben información. Válvulas, motores, inyectoros.
- Parte de Mando (Controlador), permite dar las instrucciones en una interface entre el sistema y el operador. Es la relación directa con el campo.

b. Opciones de comando

- Hidráulico
- Eléctrico
- Hidráulico – Eléctrico
- Unidad Transmisora Remota (RTU): (1) Cable, (2) Radio

c. Ventajas de la automatización en sistemas de riego:

- Incrementa la eficiencia de uso del agua en la zona.
- Mejorar la productividad, incremento de la producción y calidad.
- Flexibiliza en el uso del sistema.
- Optimización y ahorro en uso de mano de obra.
- Permite manejo más técnico (Fertirriego).
- Disminuye errores de operación.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal.
- Incremento de la seguridad.
- Posibilita economía de energía.
- Aumenta vida útil del sistema.

2.3. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVO

La necesidad de agua de un cultivo, se refiere a la cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por la evaporación y transpiración (evapotranspiración). Entonces, la necesidad de riego representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. Adicionalmente el requerimiento de agua de riego debe incluir agua adicional para el lavado de sales, para compensar la falta de uniformidad o eficiencia en la aplicación de agua.

Sin embargo, del agua absorbida por las plantas una gran parte se consume en la evapotranspiración, ya que solo una mínima parte (del 0.1 al 1 por ciento) se incorpora a los tejidos de la planta siendo retenida y utilizada en los procesos de crecimiento y en la realización de la fotosíntesis. Por lo tanto, desde un punto de vista práctico se considera las necesidades hídricas del cultivo iguales a las necesidades de evapotranspiración. (Fuentes 2003)

2.3.1. Evapotranspiración

Es la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo en donde se asienta el cultivo. (Fuentes 2003)

Según los métodos publicados por la FAO en «Evapotranspiración del cultivo», para calcular la evapotranspiración de un cultivo cualquiera se valora antes la evapotranspiración de un cultivo de referencia, relacionándose ambos mediante un coeficiente obtenido experimentalmente.

$$ET (\text{cultivo})=ET_o \times K_c$$

ET (cultivo)	Evapotranspiración de un cultivo determinado, (mm/día)
ET _o	Evapotranspiración del cultivo de referencia, (mm/día)
K _c	Coficiente de cultivo, variable con el propio cultivo y su período vegetativo

En el Cuadro 2 se observan los diferentes coeficientes de cultivos, entre ellos el césped.

Cuadro 2: Coeficientes del cultivo-forrajes

Cultivo	$K_{c\text{ in}^1}$	$K_{c\text{ med}}$	$K_{c\text{ fin}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)	
j. Forrajes					
Alfalfa (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,40	0,95 ¹³	0,90	0,7
	- períodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,20 ¹⁴	1,15 ¹⁴	0,7
	- para semilla	0,40	0,50	0,50	0,7
Bermuda (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,55	1,00 ¹³	0,85	0,35
	- cultivo para semilla (primavera)	0,35	0,90	0,65	0,4
Trébol heno, Bersim	- efecto promedio de los cortes	0,40	0,90 ¹³	0,85	0,6
	- períodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	0,6
Rye Grass (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,95	1,05	1,00	0,3
Pasto del Sudán (anual)	- efecto promedio de los cortes	0,50	0,90 ¹⁴	0,85	1,2
	- período individual de corte	0,50 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	1,2
Pastos de Pastoreo	- pastos de rotación	0,40	0,85-1,05	0,85	0,15-0,30
	- pastoreo extensivo	0,30	0,75	0,75	0,10
Pastos (césped, turfgrass)	- época fría ¹⁵	0,90	0,95	0,95	0,10
	- época caliente ¹⁵	0,80	0,85	0,85	0,10

FUENTE: Tomado de FAO 2006:112.

2.4. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

La programación del riego tiene por finalidad el ahorro de agua y de energía sin reducir la producción, tratando de dar respuestas a las siguientes preguntas: ¿Cuándo se debe regar?, se refiere a la frecuencia o al intervalo de tiempo entre riego y riego (días u horas); ¿Cuánta cantidad de agua se debe aplicar en cada riego?, se refiere a la cantidad de agua que se aplica en cada riego (m³/h); ¿Cuánto tiempo se debe aplicar el agua en cada riego?, se refiere a la duración del riego (horas o minutos); y finalmente ¿Cómo regar?, se refiere a la forma o al método como se aplica el agua de riego.

Para resolver estas interrogantes, antes planteadas, será necesario tener en cuenta los siguientes elementos: profundidad de raíces de los cultivos, capacidad de retención de humedad del suelo, la evapotranspiración de los cultivos, la precipitación, las características fisiológicas del cultivo, déficit del agua y a la calidad del agua, características del clima, disponibilidad de recursos para invertir en el sistema de riego, disponibilidad de agua, etc. (Fuentes 2003)

2.5. SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON SISTEMA INFORMÁTICO WATERCAD

WaterCAD v8i es un *Software* comercial para el análisis de sistemas de distribución de fluidos, es de fácil uso para la modelación hidráulica y calidad de agua, permite analizar, diseñar y optimizar los sistemas de distribución de agua. (Bentley 2014)

2.5.1. Características del modelo hidráulico

- Permite realizar diferentes tipos de simulaciones como: en estado estático, en periodo extendido, calidad de agua (edad, trazado y constituyente), análisis contra incendio, optimización (costos de energía), análisis de vulnerabilidad, etc.
- Posee herramientas de cálculo avanzadas para decisiones del mundo real.
 - *Darwin Designer*, optimización de diseño de sistemas basado en algoritmos genéticos y criterios económicos y restricciones hidráulicas.
 - *Darwin Calibrator*, calibración hidráulica de redes basada en algoritmos genéticos y según correlación estadística con datos de campo.
 - *Darwin Scheduler*, optimización energética para programación de ciclos de bombes basado en algoritmos genéticos
 - *Fire Flow Analysis*, cumple con las regulaciones de caudales de incendio.
 - *Criticality Analysis*, determina la segmentación de la red según válvulas de aislamiento.
 - *Skelebrator*, permite la simplificación inteligente de redes.
 - *SCADAConnect*, conexión en tiempo real del modelo hidráulico con sistemas SCADA
- No existe límite en el tamaño de la red que se desea analizar.
- Calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning.
- Modela el funcionamiento de las bombas tanto a velocidad de giro constante como a velocidad de giro variables, así como la asignación de curvas de definición de la bomba (altura, eficiencia).
- Calcula la energía consumida y el coste de bombeo de las estaciones.

- Permite el uso de elementos especiales como válvulas de diferentes tipos, incluyendo válvulas reductoras de presión (PRV), válvula sostenedora de presión (PSV), válvula quebradora de presión (PBV), válvula de control de flujo (FCV), válvula de uso general (GPV).
- Permite el modelado de tanques (volumen finito) y reservorios (volumen infinito).
- Puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente con el nivel de agua en el tanque y controles de tiempo o utilizar un complejo sistema de regulación temporal hasta el uso de reglas basadas en controles lógicos.
- Permite el uso de escenarios y alternativas (topológicas, físicas, de demanda, operacionales, costo, calidad de agua, etc.) ilimitadas.
- Permite la gestión integral de escenarios de gran alcance para combinar una variedad de alternativas en el sistema y a continuación, ver y comparar los resultados.
- Permite integración con sistemas de información geográfica (GIS), intercambio de datos con otros sistemas de información, dispositivos electrónicos y/o otros programas de gestión. (Bentley 2014)

2.5.2. Hipótesis simplificadas

Cuando las variaciones de caudal y presión son pequeñas, podemos despreciarlas sin conducir a demasiados errores, considerando el sistema como permanente. (García 2006)

De este modo, las hipótesis simplificadas serán las siguientes:

a. Hipótesis referentes al flujo

- Flujo unidimensional en el sentido del eje de la conducción.
- Invariabilidad temporal de las variables relacionadas con el flujo.
- Distribución uniforme de velocidad y presión en secciones transversales.

b. Hipótesis referentes al fluido

- Incompresible
- Homogéneo
- Newtoniano

c. **Hipótesis referentes a las conducciones.** Homogeneidad y constancia en:

- Material
- Sección transversal
- Espesor

2.5.3. Ecuaciones fundamentales

Se aplican los principios de conservación de masa y energía. De modo que las ecuaciones planteadas serán:

a. La ecuación de conservación de masa en nudos

«La suma algebraica de los caudales másicos (o volumétricos, debido a que, el fluido es incompresible) que confluyen en el nudo debe ser cero».

Lo que queda representado en la Figura 1, en la que se ha adoptado como criterio de signos el positivo si el caudal se dirige del nudo i al j , si se trata de caudales que circulan por líneas de la red, siendo también de signo positivo aquellos caudales que salen de la red a través del nudo i , es decir, los consumos. (García 2006)

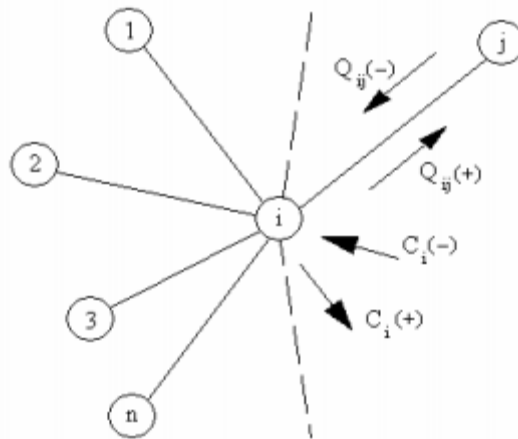


Figura 1: Ecuación de continuidad para el nudo genérico i

FUENTE: Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas. (García 2006)

Entonces se tendrá:

$$\sum_{j=1}^{n_i} Q_{ij} = C_i$$

- Q_{ij} Caudal que circula en la línea que une el nudo i al nudo j
- n_i Número total de líneas que convergen en el nudo i
- C_i Caudal de alimentación o consumo en el nudo i

En lo que respecta a la conservación de energía: la diferencia de energía entre dos puntos es la misma sin importar el camino tomado, se aplica:

b. La ecuación de Bernoulli

«La energía por unidad de peso del fluido en la sección aguas arriba (E_1), más la energía por unidad de peso cedida al mismo a través de elementos activos, tales como bombas (h_b) en el trayecto de 1 a 2 es igual a la energía por unidad de peso en la sección aguas abajo (E_2) más las pérdidas de energía (perdidas por fricción y perdidas menores) por unidad de peso entre las secciones 1 y 2 (h_{1-2})». (García 2006)

$$E_1 + h_b = E_2 + h_{1-2} \dots \dots (1)$$

La energía por unidad de peso en una determinada sección consta de tres componentes:

$$E = \frac{p}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2g} \dots \dots (2)$$

Entonces se tendrá reemplazando (2) en (1)

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_b = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{1-2}$$

- P/γ Altura de presión, p es presión y γ es el peso específico del fluido
- Z Cota geométrica o elevación
- $v^2/2g$ Altura cinética, v es velocidad y g es la aceleración gravitacional
- h_{1-2} Pérdida por fricción entre el punto 1 y 2

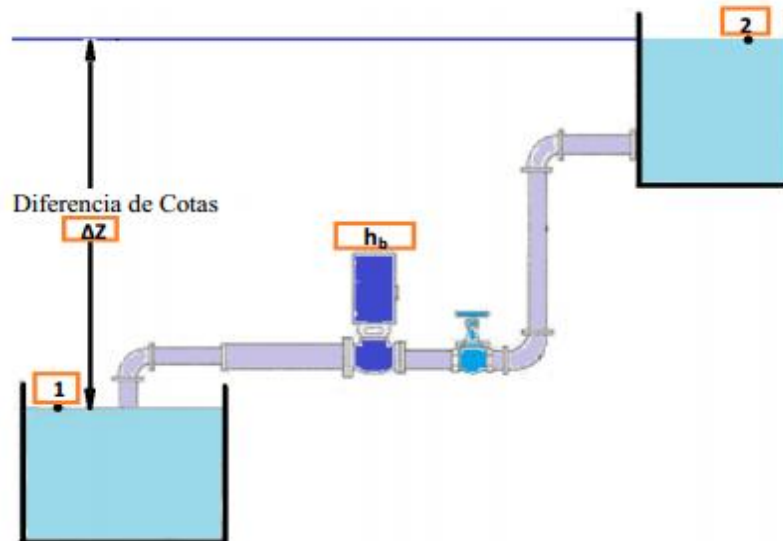


Figura 2: Representación gráfica de la energía entre dos puntos

FUENTE: Análisis hidráulico – Energético mediante simulación y optimización de diversos escenarios de operación del sistema de riego en los jardines de la UNALM. Lluen (2014)

2.6. CONCEPTOS DE PRESIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA

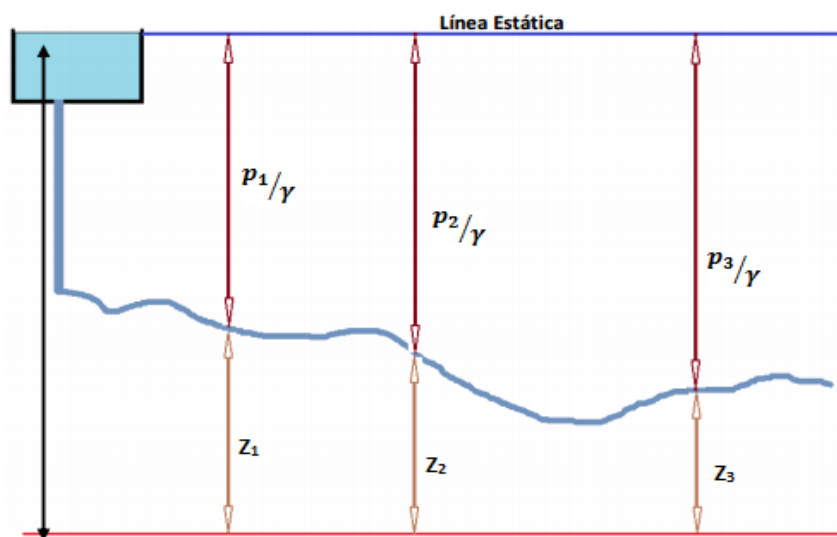


Figura 3: Representación gráfica de la Presión Estática

FUENTE: Análisis hidráulico – Energético mediante simulación y optimización de diversos escenarios de operación del sistema de riego en los jardines de la UNALM. Lluen (2014)

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} = cte$$

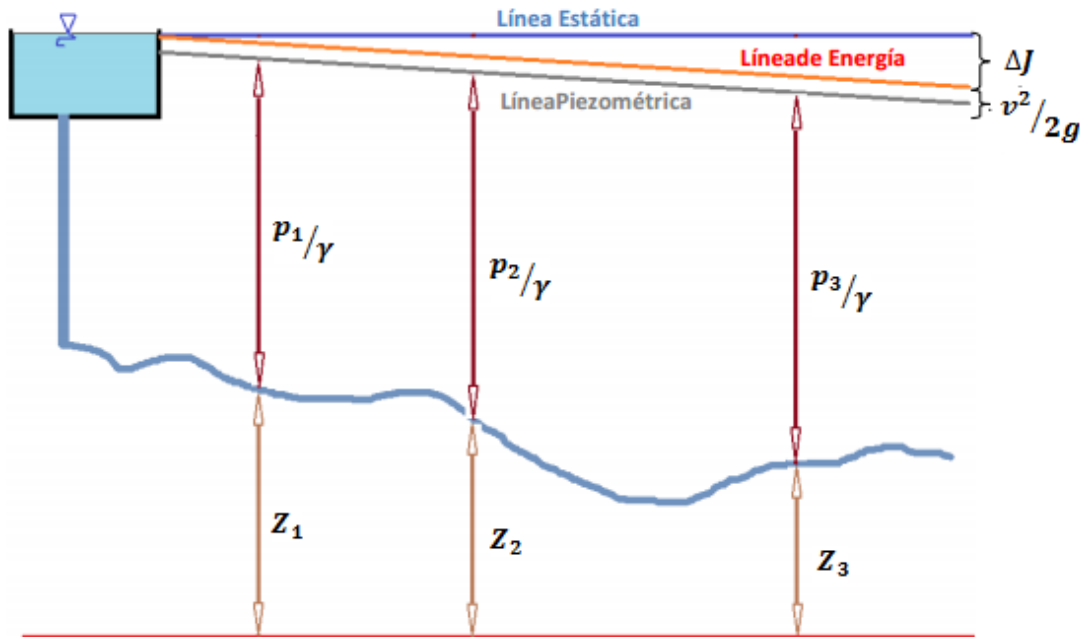


Figura 4: Representación gráfica de la Presión Dinámica

FUENTE: Análisis hidráulico – Energético mediante simulación y optimización de diversos escenarios de operación del sistema de riego en los jardines de la UNALM. Lluen (2014)

Se puede observar en la Figura 3 que, si bien las sumas de los « Z_i » y los « p_i/γ » dan valores constantes, en cada punto pueden resultar individualmente muy distintos. Evidentemente la presión a la que estará sometida la tubería, denominada *presión estática* por ser la correspondiente al líquido en reposo, será distinta en el recorrido.

Por otro lado, en condiciones dinámicas, como se observa en la Figura 4, las energías de velocidad o *cinética* y las pérdidas por frotamiento, surgirán a expensas de las energías totales disponibles. Como los términos « Z_i » son inamovibles, en consecuencia, los mencionados valores se descontarán inevitablemente de los términos de presión « p_i/γ ». Por lo tanto, la condición estática es más exigente para la sollicitación de la tubería que la presión dinámica. (Pérez 2007)

En la Figura 4 se representan las líneas de energía y piezométricas para el caso de una demanda de caudal Q , la que obviamente es variable durante las horas del día y con mayor pendiente a medida que crece Q (las energías cinética y las pérdidas crecen con el cuadrado de Q a expensas de las presiones).

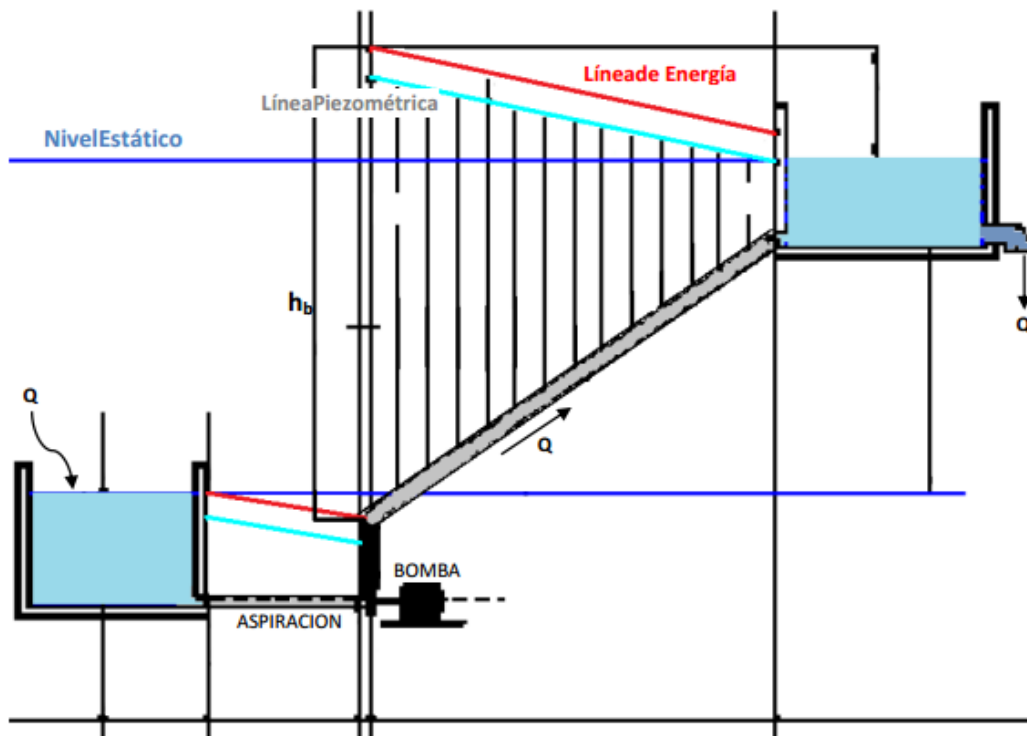


Figura 5: Presiones Dinámicas en Sistemas con Bombeo

FUENTE: Criterios de diseño, cálculo y selección de tuberías en base al criterio de las prestaciones equivalentes. Pérez (2007)

En el esquema de la Figura 5 se puede apreciar claramente como la presión dinámica, es decir cuando escurre un caudal Q impulsado por la bomba, muestra una línea de energía superior al nivel estático impuesto por la cisterna de llegada cuando cesa el bombeo. Es evidente que, en el caso de las impulsiones, la condición dinámica es la que impone el dimensionado de los espesores de las tuberías. (Pérez 2007)

2.6.1. Ecuaciones de comportamiento de los elementos de la red

Son aquellas que establecen una relación entre la diferencia de alturas piezométrica entre los extremos del elemento y el caudal circulante. (García 2006)

a. Pérdida de carga en tuberías

La pérdida de carga o altura piezométrica en una tubería debida a la fricción por el paso del agua, puede calcularse con WaterCAD utilizando las siguientes formulas:

Cuadro 3: Comparativo diferentes fórmulas para calcular pérdida de carga para tuberías a presión

Darcy-Weisbach	Chezy-Manning	Hazen-Williams
Todos los fluidos	Agua solamente	Agua solamente
Difícil obtener el factor de fricción (f)	Fácil de obtener el coeficiente de rugosidad de Manning (n)	Fácil de obtener el factor Hazen-Williams (C)
Para todos los regímenes	Para flujo turbulento (canales y tuberías de gran diámetro)	Para flujo laminar

FUENTE: Elaborado con base en ICG 2015.

La ecuación básica de estas tres fórmulas es:

$$h_L = AQ^B$$

h_L	Pérdida de carga
Q	Caudal
A	Coficiente de resistencia
B	Exponente de caudal

Los valores de los parámetros A y B se encuentran representados en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Fórmulas de Pérdida de Carga para tubería en presión

Fórmula	Coficiente de Resistencia (A)	Exponente de Caudal (B)
Hazen-Williams	$10.674 C^{-1.852} d^{4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0827 f(\epsilon, d, Q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$10.294 n^2 d^{-5.33} L$	2

Donde:

C: coeficiente de Rugosidad de Hazen-Williams
 ϵ : coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach
 f : factor de fricción (Depende de ϵ , d, Q)
n: coeficiente de rugosidad de Manning
d: diámetro de la tubería (m)
L: longitud de la tubería (m)
Q: caudal (m³/seg)

FUENTE: Tomado de García 2006:19.

Los coeficientes de rugosidad que aparecen en las tres fórmulas se encuentran clasificados según el tipo de tuberías en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Coeficiente de rugosidad para tuberías nuevas

Material	C Hazen-Williams (universal)	ϵ Darcy-Weisbach (mm)	n Manning (universal)
Fundición	130-140	0.26	0.012-0.015
Hormigón	120-140	0.3-3	0.12-0.017
Hierro galvanizado	120	0.15	0.015-0.017
Polyethylene, PE, PEH	140	0.0015	0.011-0.015
Polyvinyl chloride, PVC, CPVC	150	0.0015	0.011-0.015
Acero	140-150	0.045	0.015-0.017
Cerámica	110	0.3	0.013-0.015

FUENTE: Tomado de García 2006:19.

b. Pérdidas localizadas en tuberías

Cuando se tiene la conducción, por distintos motivos suelen aparecer dispositivos, presentándose en puntos fijos del conducto por cambios de forma, dimensiones de la sección recta, dirección del flujo o por presencia de controles. En estos casos ocurre una alteración al flujo normal, debido al efecto de separación o turbulencias inducidas en el movimiento al presentarse obstáculos o cambios bruscos en la tubería, produciendo mezcla de las partículas y fricción entre ellas.

Existen varios tipos de accesorios que producen estas pérdidas, las pérdidas causadas por estos son denominadas localizadas, debido a que la pérdida de carga hidráulica, que su existencia produce, se forma únicamente en las inmediaciones de los mismos. (García 2006)

En términos generales, las pérdidas locales se evalúan experimentalmente para cada accesorio, son función directa de la energía cinética de la conducción, con la expresión:

$$h = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{O bien} \quad h = \left(\frac{8K}{\pi^2 g D^4} \right) Q^2$$

g	Aceleración de la gravedad
D	Diámetro del elemento
Q	Caudal circulante
v	Velocidad del flujo
K	Coefficiente de pérdidas menores

En el Cuadro 6 se listan los valores de K para algunos de los accesorios más comunes. Estos valores son sólo aproximados, ya que K depende de la geometría del accesorio, de Re y, en ocasiones, de las condiciones de flujo.

Cuadro 6: Valores de «K» para los accesorios más comunes

<i>ACCESORIO</i>	<i>COEF. PÉRDIDAS</i>
Válvula de Globo, todo abierta	10.0
Válvula de Ángulo, todo abierta	5.0
Válv. Retenc. Clapeta, todo abierta	2.5
Válvula Compuerta, todo abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio mediano	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo de retorno (180°)	2.2
Té Estándar – flujo recto	0.6
Té Estándar – flujo desviado	1.8
<i>ACCESORIO</i>	<i>COEF. PÉRDIDAS</i>
Entrada brusca	0.5
Salida brusca	1.0

FUENTE: Tomado de García 2006:21.

Adicionalmente se tiene las pérdidas en una contracción súbita. El flujo a través de una contracción súbita usualmente involucra la formación de una vena contracta en el tubo pequeño, aguas abajo del cambio de sección. La pérdida total de energía en una contracción súbita se debe a dos pérdidas menores separadamente. Éstas son causadas por:

- La convergencia de las líneas de corriente del tubo aguas arriba a la sección de la vena contracta.
- La divergencia de las líneas de corriente de la sección de la vena contracta al tubo aguas abajo.

El proceso de convertir carga de presión en carga de velocidad es bastante eficaz, de ahí que la pérdida de carga de la sección (1) hasta la vena contracta (sección de mayor contracción en el chorro) sea pequeña comparada con la pérdida de la sección de la vena contracta hasta la sección (2), donde una carga de velocidad se vuelve a convertir en carga de presión. Por esto una estimación satisfactoria de la pérdida total h_L , puede establecerse considerando únicamente la pérdida debida a la expansión de las líneas de corriente.

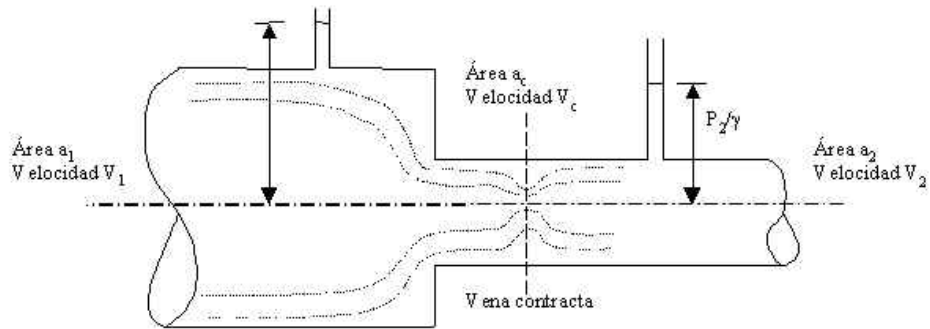


Figura 6: Pérdida en una contracción súbita

FUENTE: Diseño para construcción de un banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga en un sistema de tuberías. Parra &Velasco (2014)

Para la determinación del coeficiente de resistencia se emplea el Cuadro 7.

Cuadro 7: Velocidad vs. Relación de diámetro para el cálculo del coeficiente de contracción súbita

		<i>Velocidad v_1</i>									
		0.6m/s	1.2m/s	1.8m/s	2.4m/s	3m/s	4.5m/s	6m/s	9m/s	12m/s	
D_2/D_1		2pies/s	4pies/s	6pies/s	8pies/s	10pies/s	15pies/s	20pies/s	30pies/s	40pies/s	
1.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11	
1.4	0.07	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.2	
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27	
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29	
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.37	0.35	0.33	0.30	
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.4	0.38	0.38	0.37	0.34	0.31	
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.40	0.39	0.36	0.33	
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.42	0.41	0.37	0.34	
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.44	0.42	0.38	0.35	
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.45	0.43	0.40	0.36	
∞	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.45	0.44	0.41	0.38	

FUENTE: Tomado de Parra &Velasco 2014:34.

2.6.2. Componentes de una red hidráulica en WaterCAD

En general, los programas dirigidos al cálculo de redes, necesitan la definición de ciertos componentes, con el objetivo de obtener un modelo de la red lo más próximo a la realidad. WaterCAD necesita de la definición de los siguientes componentes:

Cuadro 8: Componentes físicos, no físicos e híbridos de WaterCAD

Componentes físicos			Componentes no físicos
Nodos (Elementos puntuales)	Conexiones (Elementos lineales)	Híbridos (Elementos híbridos)	
Nudos de caudal Tanques Reservorios Uniones	Tuberías	Bombas Válvulas Tienen convención de nodos, pero se comportan como conexiones	Curvas de comportamiento Curvas de modulación o patrones Leyes de control

FUENTE: Elaborado con base en ICG 2015.

El comportamiento de estos elementos se rige por las ecuaciones de conservación de masa y conservación de la energía, en nodos y conexiones respectivamente, así como por la relación entre la diferencia de alturas piezométricas de los extremos de los elementos lineales e híbridos y su caudal circulante. Estas expresiones relacionan las incógnitas que buscamos (caudales y presiones) con los parámetros y resto de variables que definen la red. Del conjunto de relaciones anteriores se obtiene dos sistemas de ecuaciones no lineales, uno aplicando la ecuación de continuidad en nodos, y otro basado en las pérdidas de carga de los elementos de la red, para reducir las ecuaciones generales a sistemas más simples. WaterCAD emplea el método de la gradiente hidráulica, propuesto en 1987 por Todini y Pilati.

El *software* emplea técnicas de optimización, las cuales garantizan la existencia y unicidad de la solución minimizando la función objetivo, condiciones indispensables para que se produzca la convergencia posteriormente al utilizar las técnicas del método de Newton-Raphson.

El problema es finalmente conducido a una solución algebraica mediante el proceso iterativo conocido como algoritmo de factorización incompleta de Choleski / gradiente conjugado modificado, cuyas siglas en inglés corresponden a ICF/MCG (*incomplete Choleski factorization / modified conjugate gradient*), con el objeto de mejorar la velocidad de convergencia y uso de memoria. (Gutiérrez 2011)

Finalmente, para el análisis hidráulico de redes de distribución se debe formular primeramente el problema, estableciendo las ecuaciones que representan con mayor fidelidad el sistema, con el fin de obtener los valores de alturas piezométricas en los nudos y los caudales que circulan por las tuberías a partir de las características de componentes de la red. De modo que tenemos:

a. Característica de las conducciones

- Longitud
- Diámetro
- Rugosidad

b. Características de componentes especiales

- Niveles de depósitos
- Curvas características de los grupos de bombeo
- Consigna de válvulas
- Consumos en los nudos
- Altura piezométrica de referencia (Suma de altura de presión y cota)

c. Incógnitas

- Caudales circulantes por tuberías
- Alturas piezométrica en los nudos

(García 2006)

2.7. CALIBRACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS

Entre las principales causas que generan pérdida de energía y agua está la ineficiencia en las redes de distribución de agua (SDA), estas pérdidas tienen un costo económico que las empresas de servicio de agua pueden reducir. La detección y localización de fallas en los SDA son acciones que pueden realizarse para reducir pérdidas, siendo necesario un modelo bien calibrado para generar resultados confiables. (Sanz et al. 2015)

El alto grado de incertidumbre en las redes reales, junto con el bajo número de mediciones disponibles hace del problema de calibración un desafío. Shamir y Howard (1977) afirman que la calibración "consiste en determinar las características físicas y operativas de un sistema existente y determinar la data de entrada en un modelo informático que dará resultados realistas". La calibración del modelo consiste en ajustar los parámetros de la red para reducir el error en las medidas pronosticadas; normalmente, el proceso altera las demandas del sistema, la rugosidad de las tuberías, y modifica las características de funcionamiento de la bomba hasta alcanzar la concordancia satisfactoria entre datos medidos y modelados.

La presión y las mediciones de flujo son la principal fuente de información para calibrar un modelo hidráulico. (Sanz *et al.* 2015)

Por lo tanto, la calibración se realiza a manera de permitir:

- Correcta toma de decisiones
- Obtención de modelos precisos que reproduzcan el mundo real.
- Confianza en los resultados obtenidos

La información de campo debe cumplir:

- Ser precisa: presiones, elevaciones, gradientes: (± 0.5 a 1 m), por lo que de ser necesario debe calibrarse los instrumentos con los que se realizan las mediciones en campo.
- Los datos deben ser recolectados en: periodos de alta demanda, periodos sin interrupción de servicio.
- Debe observarse los parámetros operativos, reportar incidencias y considerar las fronteras de carga conocida (tanques, válvulas reductoras de presión, bombas).

El parámetro a calibrar en una red de distribución de agua puede:

- Rugosidad
- Demanda
- Estado

La selección de uno o varios parámetros para el proceso de calibración, depende de la observación del funcionamiento del sistema y los errores que en él se puedan encontrar. (ICG 2015)

2.7.1. Calibración de redes hidráulicas empleando herramienta Darwin Calibrator del software WaterCAD

El problema de la calibración de los SDA es un asunto complejo debido a los parámetros que deben ser estimados y la no linealidad de las ecuaciones de flujo, Savic y Walters (1995).

En los últimos años, la tendencia de las investigaciones para la calibración de modelos de SDA de elevada complejidad se dirige al desarrollo de modelos matemáticos automáticos capaces de comparar los valores medidos en el sistema y los simulados por los modelos, y realizar ajustes de tal forma que el modelo reproduzca el mundo real. (Walski 2001).

La herramienta *Darwin Calibrator* permite calibrar un modelo de manera manual o automatizada, pues el sistema implementado en WaterCAD presenta modelos matemáticos de optimización implementados en algoritmos genéticos (GA) y aplicados a la calibración de los SDA, que no se limitan a determinar las rugosidades de las tuberías a partir de ajustar las cargas piezométricas y caudales en el sistema, sino que también determinan las magnitudes de las fugas de agua y las demandas reales en los sistemas de distribución de agua.

Los Algoritmos Genéticos (GA) inventados por John Holland a mediados de los años 70 e inspirados en el proceso de evolución biológica, utilizan el principio de selección natural para resolver problemas de optimización y se basan en seleccionar aleatoriamente una población inicial que se evalúa en la función objetivo del problema a resolver, luego se seleccionan a los individuos con mayor capacidad de adaptación que se realiza en

dependencia del valor de cada uno en la función objetivo, éstos se cruzan entre sí y se forman nuevos individuos que a su vez son descendientes de los primeros y también se evalúan en la función objetivo, de esta manera se establece la competencia entre los individuos para seleccionar los más capaces. (Bosch *et al.* 2014)

Darwin Calibrator permite la obtención de diversos escenarios de calibración para poder encontrar la mejor solución posible a un sistema dado, y exportar el escenario calibrado para su uso en un sistema de agua existente. (Bentley 2014)

Esta herramienta nos permite realizar el ajuste en: la rugosidad de las tuberías, el multiplicador de mandas y el estado de las tuberías. Los criterios de agrupación se pueden definir:

- Por antigüedad y/o material de tuberías
- Por zonas de mantenimiento o uso de suelo

Datos necesarios, se requiere:

- Obtener datos de campo, como presiones y caudales para ser ingresados
- Definición de escenarios y observaciones
- Ajustes de demanda: Condiciones especiales de demanda y flujos extraordinarios.

Consideraciones básicas:

- Tipos de calibración: Manual, Optimizada y análisis de sensibilidad
- Rangos e incrementos
- Crear escenario de calibración

Comparación de resultados:

- Modelado vs. Observaciones
- Análisis estadístico: Diferencias de Cuadrados, Valor absoluto, diferencia máxima.
- Determinación de parámetro: *Fitness*, mientras más cercano a “0” mejor calibrado el modelo.

Interpretación de soluciones:

- Grupos de demanda: Selecciona un multiplicador para cada grupo.

- Grupos de Rugosidad: Selecciona la rugosidad ajustada.
- Grupos de estado: Selecciona abierto o cerrado.

(ICG 2015)

2.8. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS)

Un sistema de información geográfica (SIG) es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial y despliegue de todo tipo de información geográfica referenciada (ESRI, 2009)

Las ventajas de un SIG son diversas, entre las que cabe mencionar:

- Facilidad de búsqueda y extracción de información
- Facilidades para la actualización y edición
- Posibilidad de modificar rápidamente las formas de presentación
- La capacidad de captura de datos de distintas fuentes y formatos
- La posibilidad de efectuar el análisis de los datos geográficos y de obtener modelos en base a las reacciones espaciales. (Vargas 1988)

2.8.1. Función del GIS como sistema de consulta

Los sistemas de información geográfica o SIG permiten formar y mantener bases de datos geográficos, extraerlos y presentarlos selectivamente, explorar las relaciones entre conjuntos de datos espaciales y predecir eventos en función a modelos, contribuyendo a la toma de decisiones mejores y más oportunas. (Vargas 1988)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación y extensión

a. Ubicación Política

- Departamento: Lima
- Provincia: Lima
- Distrito: La Molina, Universidad Nacional Agraria La Molina

b. Ubicación Geográfica

El trabajo de investigación se desarrolló en las áreas verdes urbanas (jardines) de la UNALM, ubicada en una Latitud Sur de $12^{\circ}04'48.81''$ a $12^{\circ}05'15.84''$ y Longitud Oeste de $76^{\circ}56'13.90''$ a $76^{\circ}56'39.90''$ sobre el Meridiano de Greenwich, con altitud de 245 msnm.

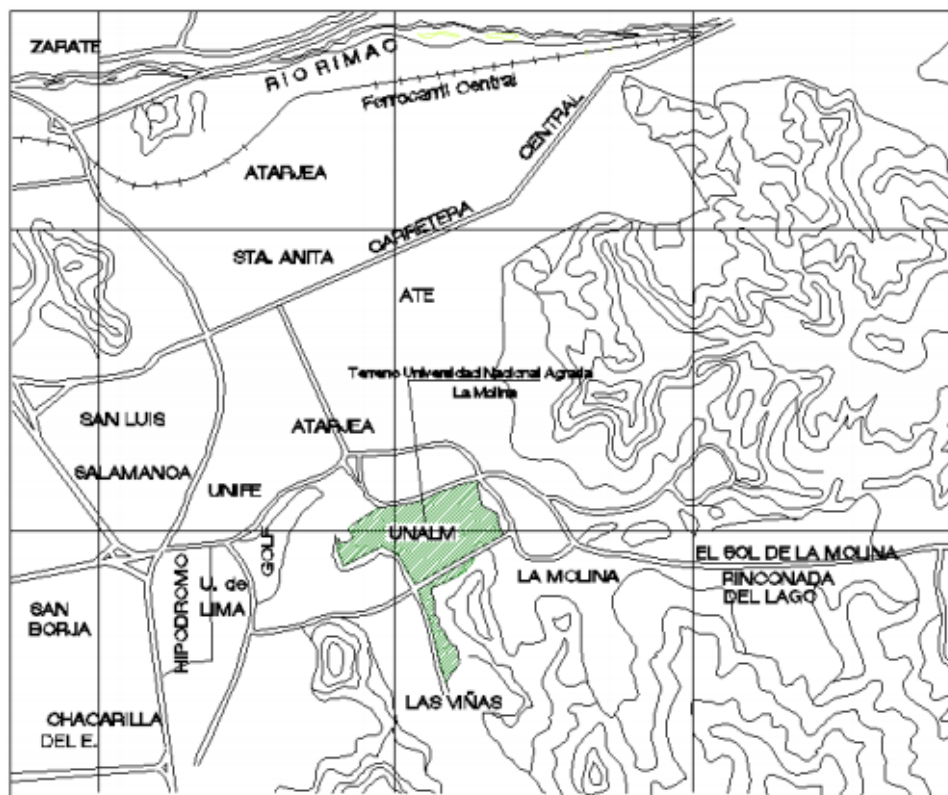


Figura 7: Ubicación de la UNALM

FUENTE: Análisis hidráulico – Energético mediante simulación y optimización de diversos escenarios de operación del sistema de riego en los jardines de la UNALM. Lluen (2014)



Figura 8: Ubicación del Área de estudio-distribución de las áreas de jardines, campus de la UNALM.

c. Vías de acceso

Las principales vías de acceso son dos:

- Av. La Molina por la puerta principal de la UNALM.
- Av. Raúl Ferrero por la puerta N°5 de la UNALM.

d. Extensión

La extensión del área de riego tecnificado es de 18.85 has, de las cuales 17.51 has están conformadas por áreas verdes urbanas (jardines), tecnificadas con sistema de riego por aspersión, las que están a cargo de la oficina de Servicios Generales y Proyección Social, y 1.34 ha de área agrícola compuesta por los Programas de Cereales y Maíz, tecnificadas con sistema de riego por goteo.

Cuadro 9: Distribución del área con riego tecnificado UNALM

Usuarios Principal	Usuarios	Cultivos	Área (Has)
Of. de Servicios Generales y Proyección Social	Of. de servicios Generales y Proyección Social	Césped americano (Jardines)	15.21
		Especies arbóreas (Jardín Botánico)	2.30
	Programa de cereales	Cereales	0.84
	Programa de maíz	Maíz	0.50
TOTAL			18.85

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Los equipos y materiales considerados para el desarrollo del presente estudio son:

Equipo sistema de riego

- Sistema de distribución de agua para riego por aspersión de los jardines de la UNALM (fuente de agua, red de tuberías, emisores, válvulas, bomba, filtro, válvula volumétrica, sistema de automatización)

Equipo de cómputo

- Computadora
- Software de dibujo *AutoCAD 2015*
- Software de simulación hidráulica *Epanet 2.0* y *WaterCAD v8i*
- Software para procesamiento de información geográfica *ArcGIS 10.2.2*
- Software para el cálculo de requerimientos de agua de cultivos *CROPWAT 8.0*

Materiales

- Plano topográfico y del sistema de riego por aspersión.
- Datos climáticos, datos de cultivos, calidad de agua.
- Recibo de energía eléctrica y agua
- Tesis, libros, manuales y catálogos
- Materiales de oficinas
- Manómetro manual
- Kit de herramientas
- Casaca Impermeable y botas.

3.3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados, se realizó la siguiente metodología.

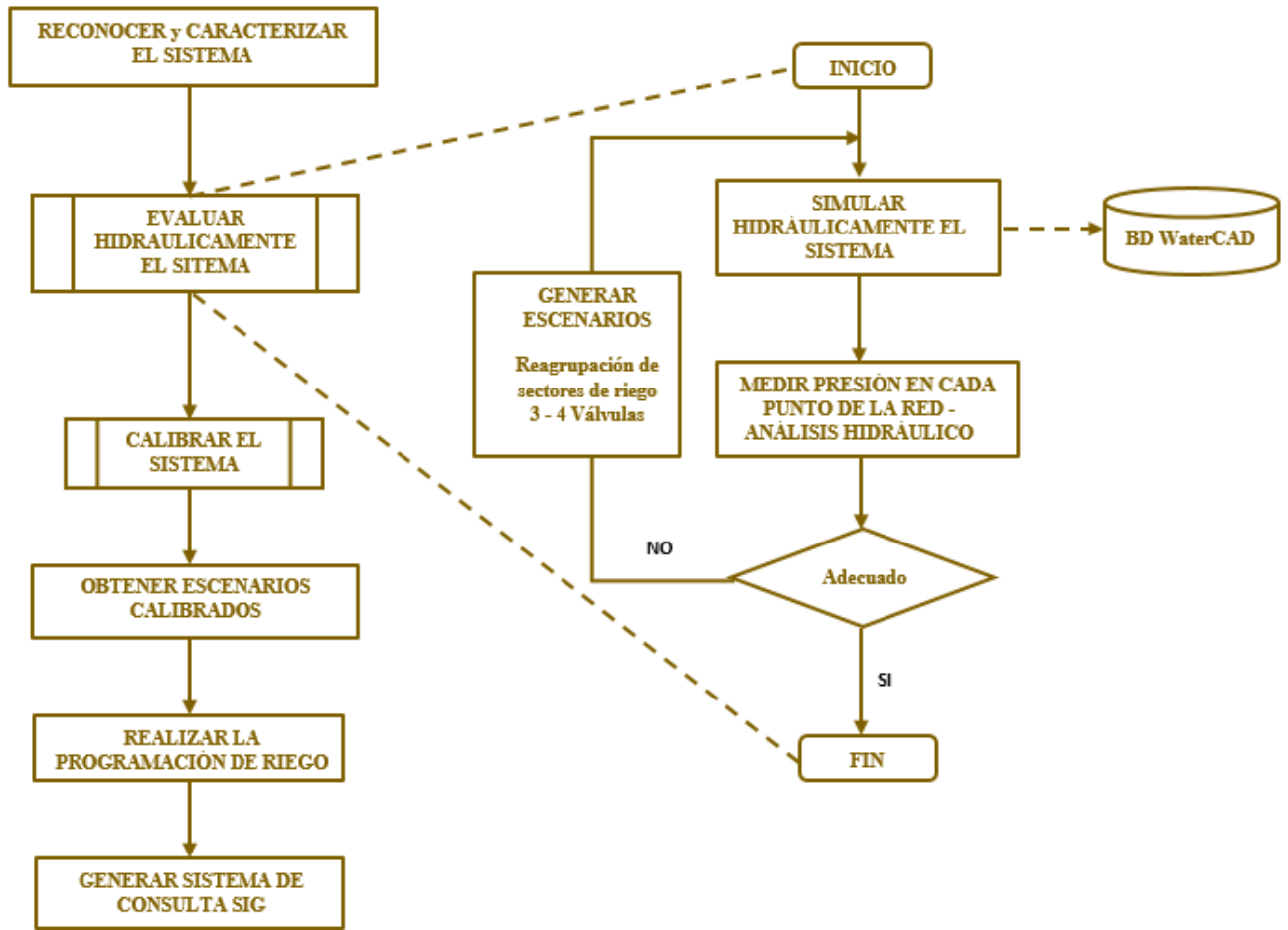


Figura 9: Diagrama de flujo de la metodología seguida

3.3.1. Reconocimiento y reconocimiento del sistema

Para el desarrollo del proyecto propuesto fueron necesario los siguientes datos básicos:

- Planos del sistema de riego para obtener información de distribución de tuberías, distribución de emisores, ubicación de válvulas y reservorios.
- Plano a curvas de nivel del área correspondiente a jardines, para la definición de cotas de los diferentes elementos del sistema, válvulas, bomba, reservorio.
- Datos de caudal (l/s), presión (m.c.a) y velocidad de aplicación (mm/hr) de los diferentes emisores instalados en campo. (Productos de riego paisajístico, catálogo 2015, Rain Bird)
- Datos de la instalación y funcionamiento del sistema de riego (cabezal de riego, diámetros y clase de tuberías, horas de trabajo)

- Datos climáticos, cantidad y calidad de agua, características hídricas del suelo.
- Balance hídrico para conocer las posibles restricciones de dotación de agua que podamos tener y determinar la capacidad del reservorio en base a los turnos de riego de la UNALM.
- Fuente de energía, costo de energía eléctrica.
- Registró de los sectores o turnos de riego de la actual programación (39 turnos de riego), en donde se consideró tanto el área de jardines como el área agrícola (Programas de Cereales y Maíz). Permitiendo el monitoreo de caudales y presiones de los turnos correspondientes a jardines (37 turnos)

Una vez llevado a cabo el reconocimiento del sistema se realizó el diagnóstico del actual funcionamiento del sistema mediante la simulación hidráulica, obteniendo datos de presiones y caudales con los cuales se verifica el funcionamiento del sistema de acuerdo a los requerimientos de caudal y presión por turno, y la necesidad de ser calibrado para obtener un modelo acorde a la realidad.

Por otro lado, se podría mejorar el funcionamiento del sistema mediante la adecuada operación de los equipos instalados tanto en cabezal de riego, válvulas y bomba; como en campo, emisores, por lo que se realizó el planteamiento de dos escenarios.

En la Figura 10 se observan los elementos que conforman el sistema de distribución de agua para riego por aspersión de los jardines de la UNALM

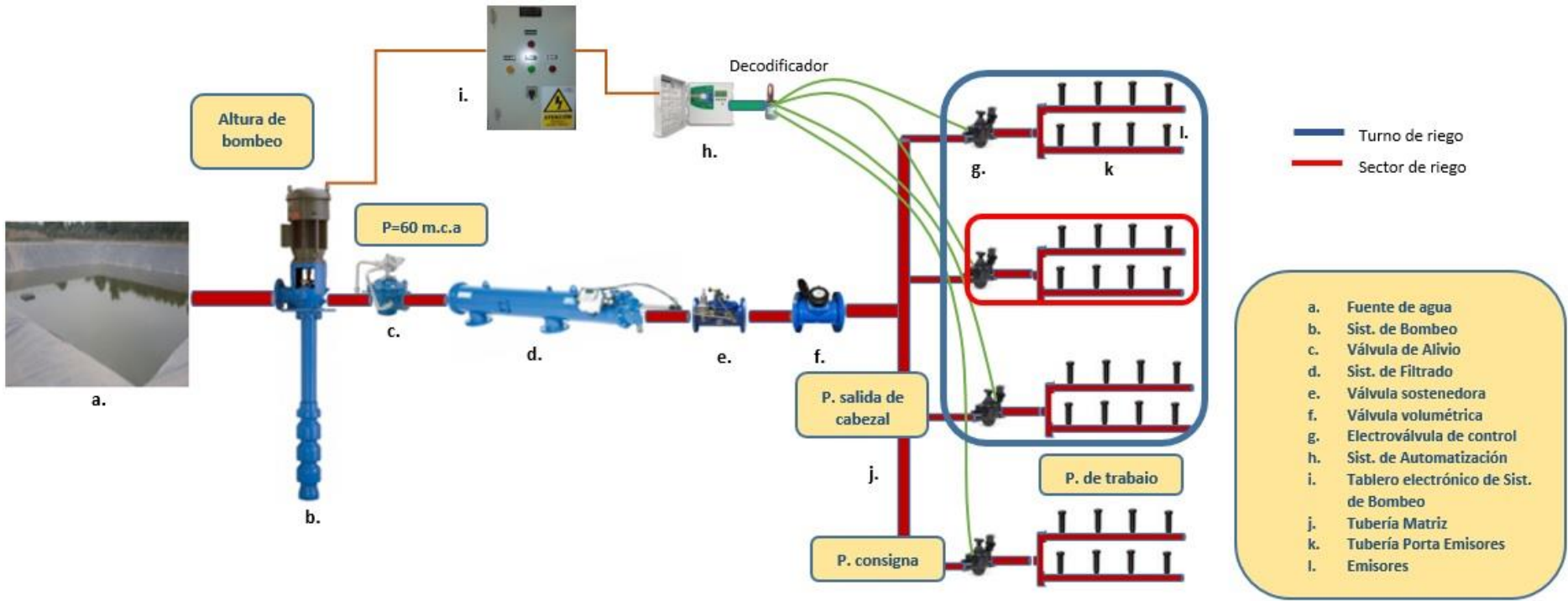


Figura 10: Esquema de sistema de riego por aspersion para las áreas de jardines, campus de la UNALM

3.3.2. Análisis hidráulico del sistema

Una vez obtenidos los datos necesarios, a partir del reconocimiento del sistema, se procedió a realizar la simulación hidráulica de la programación actual «Escenario 1», mediante el software *WaterCAD v8i*, dicha simulación permitió obtener las presiones en cada una de las válvulas (nodos).

La red ingresada en el software fue la obtenida de los planos realizados en *AutoCAD*, debido a que dicha red había sido simulada anteriormente en *Epanet*, lo que se hizo es exportar la red en un archivo de extensión *inp*. el cual puede ser leído por *WaterCAD*.

a. Simulación hidráulica utilizando software *WaterCAD v8i*

Los pasos seguidos para la simulación de la red de distribución de agua instalada en *WaterCAD* fueron los siguientes:

- i. Configurar el nuevo proyecto, nombre y unidades.
- ii. Configurar el líquido, la ecuación de pérdidas y el tipo de análisis a emplear.
- iii. Crear los escenarios y asignar las alternativas.
- iv. Ingresar información:
 - En nodos: se verifica cotas, se introduce demandas y se asigna patrones.
 - En tuberías: se verifica rugosidad para tuberías de PVC empleó un factor de Hazen-Williams $C = 150$, la longitud y el diámetro.
- v. Ingresar curva característica de la bomba, modelo *B08M-H Ø145 Hidrostal*, instalada en el cabezal de riego.
- vi. Ingresar datos del reservorio, debe ingresarse la elevación.
- vii. Ingresar datos de las válvulas, se trabajó con dos válvulas PRV y PBV, debe ingresarse presiones.
- viii. Verificar la topología el modelo y correr el software para el escenario correspondiente.

Para la simulación de los diferentes escenarios se llevan a cabo los pasos antes mencionados.

La secuencia descrita anteriormente se muestra a detalle en el Anexo 7.

b. Análisis de sobrepresiones

Una vez realizada la simulación y obtenidas las presiones de llegada por válvula, se debe comparar dicha presión con su respectiva presión consigna a fin de determinar la existencia de sobrepresiones.

La presión que debe llegar a cada válvula es la “presión de consigna”, esta presión corresponde: a la presión de trabajo requerida para cada subunidad y la pérdida de carga en el arco de riego, más un margen de seguridad para asegurar dicha presión.

Para determinar las sobrepresiones se realizaron los siguientes pasos:

La presión obtenida a nivel de cada válvula con WaterCAD no considera la pérdida por singularidades ni el margen de seguridad, las cuales se procesaron en un archivo de Excel. Se puede observar dicho proceso en la Figura 11.



Figura 11: Parámetros hidráulicos, singularidades y margen de seguridad

En la Figura 11, se observa la presión de llegada a cada una de las válvulas, sin contar la pérdida por singularidades, ni el margen de seguridad, esta es la presión que debe satisfacer a la presión de consigna, que será igual para todas las válvulas que conformen un mismo turno (tipo de emisor).

En la Figura 12, la barra roja representa la presión consigna, mientras que la barra celeste representa la sobrepresión en cada una de las válvulas.

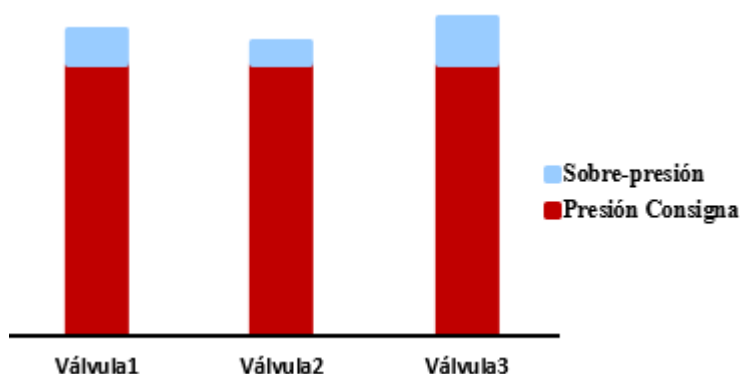


Figura 12: Representación gráfica de las sobrepresiones

En el Anexo 8 se observa el procedimiento seguido para la obtención de las sobrepresiones en cada una de las válvulas por turno y para los diferentes escenarios planteados.

3.3.3. Planteamiento de la propuesta

Se realizó la construcción de los nuevos escenarios, considerando la agrupación de válvulas según los siguientes criterios:

- Caudal por válvula y caudal por turno (l/s).
- Tipo de emisor, se agrupan válvulas que manejen el mismo tipo de emisor o con velocidad de aplicación (mm/hr) similar.
- Caudal y eficiencia (rendimiento) del equipo de bombeo.
- Cercanía entre válvulas, permite llevar un control más efectivo en campo del funcionamiento por turnos de riego.
- Programador al que pertenece las válvulas, éstas deben tener estación en el mismo programador (controlador). Pues el sistema de automatización presenta dos controladores, un monocable, que permite utilizar decodificadores de 1, 2 y 4 estaciones, y un programador convencional.

En base a los criterios mencionados anteriormente y buscando obtener mejores rendimientos en el funcionamiento y a la vez alcanzar un manejo y operación eficientes del sistema, se obtuvieron dos propuestas de agrupación: «Escenario 2» y «Escenario 3».

a. Escenario 2

Se planteó una agrupación de 3 válvulas por cada turno de riego como se observa en la Figura 13 con esta propuesta se buscó obtener mejores resultados que en el «Escenario 1», sin modificar completamente la programación actual.

b. Escenario 3

Se planteó una agrupación de 3 a 4 válvulas para rotores 1" y difusores de boquilla regulable, y 4 válvulas para rotores 1/2" y 3/4", como se observa en la Figura 14. Dicha diferenciación se debe a la velocidad de aplicación en difusores (40 mm/hr a 139 mm/hr) es mayor que en rotores (7 mm/hr a 19 mm/hr). Con lo que se esperaba obtener mejores rendimientos en los equipos del cabezal de riego.

Sin embargo, se hace necesaria la diferenciación entre los turnos de 3 y 4 válvulas, estos deben programarse por separado para la automatización del sistema; pues, el programador admite únicamente agrupación de igual número de válvulas. Otra opción sería la adquisición de un programador adicional, de tal manera que este permitiría realizar la agrupación de 3 válvulas con un punto libre.

Figura 13: Agrupación de válvulas por turno para «Escenario 2»

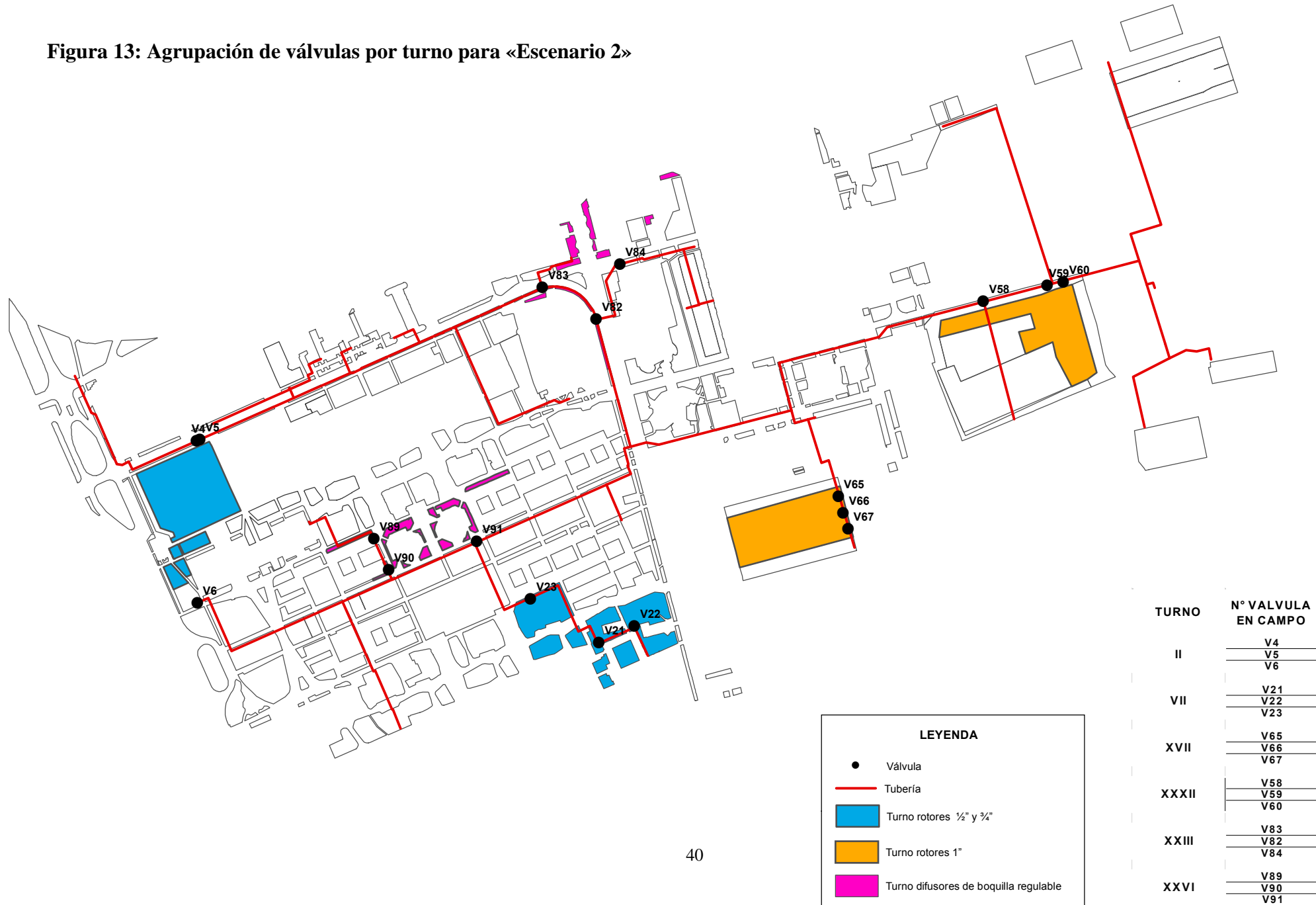
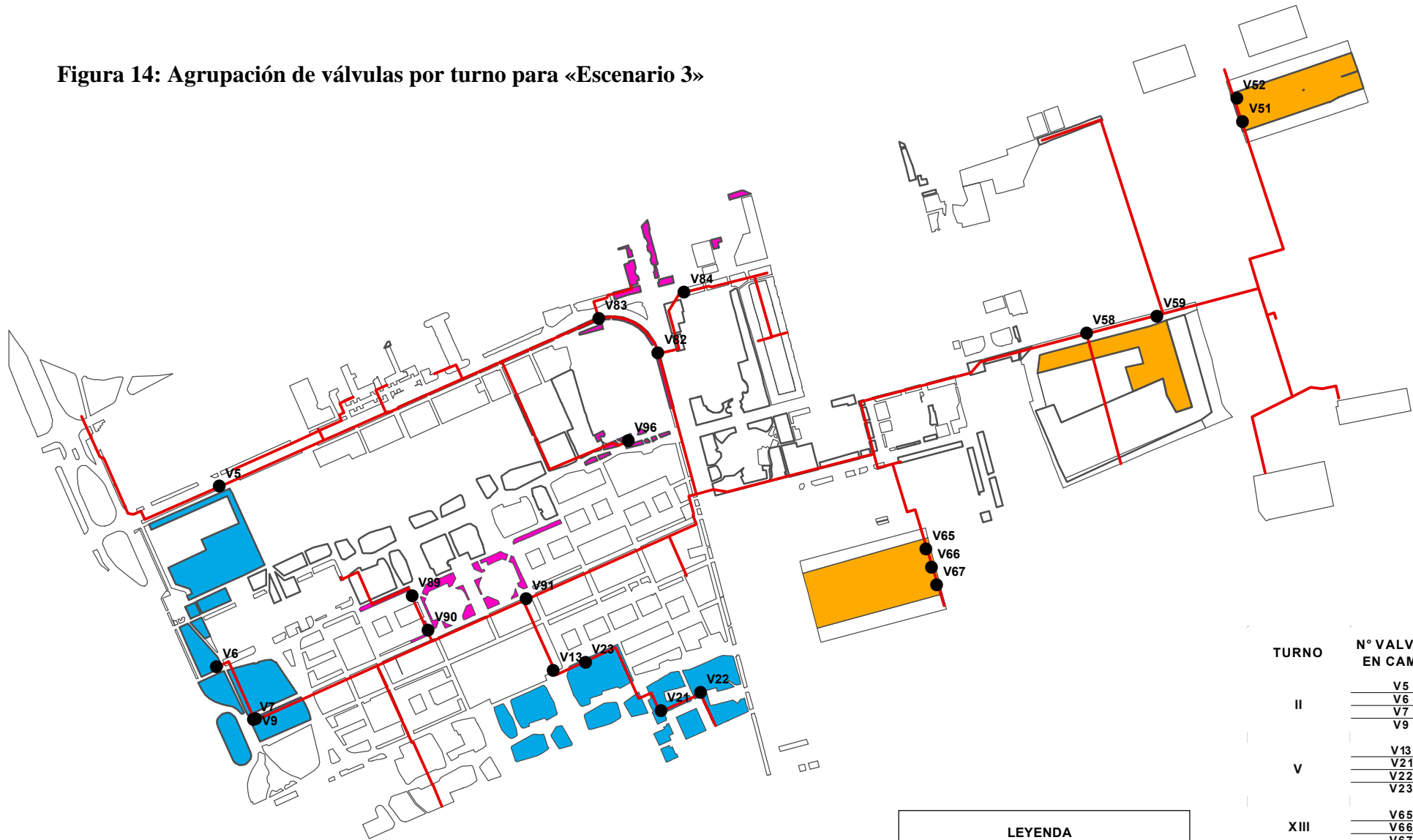


Figura 14: Agrupación de válvulas por turno para «Escenario 3»



LEYENDA

- Válvula
- Tubería
- Turno rotores 1/2" y 3/4"
- Turno rotores 1"
- Turno difusores de boquilla regulable

TURNO	Nº VALVULA EN CAMPO
II	V5
	V6
	V7
	V9
V	V13
	V21
	V22
	V23
XIII	V65
	V66
	V67
XXVI	V51
	V52
	V58
	V59
XXI	V89
	V90
	V91
XXIV	V83
	V82
	V84
	V86
	V96

3.3.4. Calibración hidráulica del sistema

Después de haber realizado la simulación hidráulica con WaterCAD v8i, y habiendo comprobando los requerimientos de presión, de cada uno de los turnos propuestos y la eficiencia de los equipos., para ambos escenarios planteados. Se procedió a realizar la calibración para cada uno de los escenarios, obteniéndose los siguientes escenarios: «Escenario 1 calibrado», «Escenario 2 calibrado» y «Escenario 3 calibrado» los cuales representan a los escenarios: «Escenario 1», «Escenario 2» y «Escenario 3» respectivamente. A continuación, se observa en la Figura 15 la metodología utilizada para realizar el proceso de calibración de la red de distribución de agua.

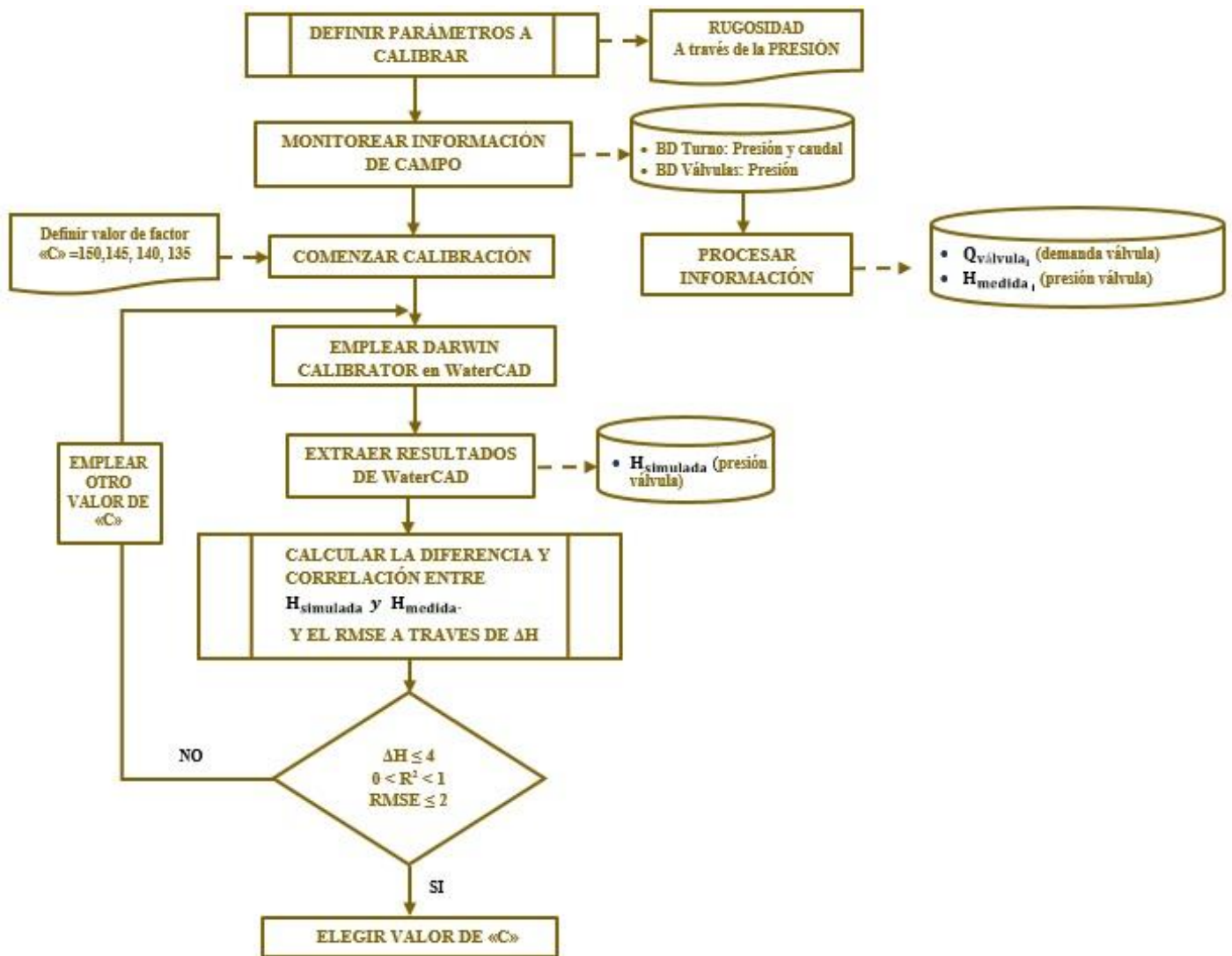


Figura 15: Diagrama de flujo de la metodología seguida al realizar la calibración

a. Determinación de los parámetros a ser calibrados

- De los tres parámetros que en una red de distribución de agua se pueden calibrar (demandas del sistema, la rugosidad de las tuberías y estado de los elementos), se optó por trabajar con la *rugosidad de las tuberías*, por lo siguiente:
 - Al observar el funcionamiento del sistema, el único parámetro posible de ser calibrado es la rugosidad porque guarda relación directa con la pérdida de carga por fricción, pudiéndose medir a través de la presión, además incrementa en relación al tiempo.
 - Se realizó la recopilación de información de campo de presiones (por turno y por válvula) en mayor medida que la obtenida para caudales (solamente por turno), lo que permitió una mayor precisión en cuanto a presiones medidas.
 - Las incrustaciones biológicas se acumulan en las paredes de la tubería dicho proceso genera en las conducciones un incremento de la rugosidad, lo que genera la pérdida de capacidad de carga en los sistemas de distribución de agua.
- Los parámetros como demanda y estado no fueron empleados para la calibración por:
 - Respecto a la demanda no fue posible obtener un registro de caudal por válvula, no se registraron fugas. Sin embargo, se realizó un ajuste de las demandas por válvula de acuerdo al caudal monitoreado por turno.
 - Respecto al estado este hace referencia a la apertura o cierre de determinados elementos (tuberías, válvulas), este parámetro no es necesario emplearlo, pues la calibración se realizó por turno de riego.
- Respecto al uso de la herramienta Darwin Calibrator, es necesario generar grupos de ajuste respecto a los parámetros a calibrar.
 - Rugosidad, se generó un solo grupo de rugosidad, pues el material de toda la red instalada en el sistema es el mismo, PVC.
 - Demanda, no fue necesaria una agrupación por caudales, pues toda la demanda es empleada para una misma actividad el regadío de jardines.

b. Selección de los valores del factor «C» de Hazen – Williams para realizar la calibración

- Los cálculos hidráulicos, se realizaron con software WaterCAD, empleándose para las pérdidas de carga de las tuberías la ecuación de Hazen-Williams, pues es usada principalmente para calibrar por la disponibilidad del factor «C» en relación con la edad de la tubería; el incremento de la rugosidad (mm/año) con respecto a la edad de la tubería (años).
- Tomando en cuenta la edad de la red instalada (2 a 3 años) y el material (PVC), se definieron los valores de «C» iguales a 135, 140, 145, 150.

c. Monitoreo de presiones y caudales. Para la calibración de los escenarios propuestos se realizó:

- Una selección de turnos por escenario, a ser monitoreados en cabezal y campo a manera de obtener la cantidad necesaria de datos que hiciera posible una calibración confiable. En esta etapa la programación actual, si bien, no definió los turnos a monitorear; influyó en la selección para la calibración de cada escenario, pues la realización del trabajo no debía perjudicar la dotación uniforme de agua en toda el área de jardines.
 - Para el «Escenario 2» no hubo mayor dificultad, debido a que éste presenta agrupación de 3 válvulas por turno, al igual que la programación actual. Por ende, en el controlador instalado en el cabezal solo fue necesario trabajar con un programa.
 - Para el «Escenario 3», al estar conformado por turnos de 3 y 4 válvulas, fue necesario trabajar en el controlador con dos programas; uno de ellos para los turnos que contaron con una agrupación de 4 válvulas y otro para de turnos con agrupación de 3 válvulas. Pues un mismo programa controla turnos únicamente de la misma cantidad de válvulas, las mismas que son asignadas a cada turno de manera sucesiva según la numeración, por lo que el monitoreo de algunos turnos debió hacerse de manera manual.

- Monitoreo de presiones y caudales por turno y monitoreo de presiones por válvula en campo.

Por turno:

- Caudal por turno (l/s): los datos obtenidos en el cabezal de riego correspondieron al caudal medido indirectamente en el caudalímetro Tipo Woltman, para obtener dicho dato se mide el tiempo.
- Presión por turno (m.c.a ó bares): se realizaron mediciones en el manómetro después de la bomba y el manómetro después de la válvula sostenedora de presión. A manera de determinar la presión de salida y la pérdida de carga en cabezal

Por válvula:

- En campo se requirió medir en cada válvula, de los turnos seleccionados, la presión (m.c.a ó bares) con un manómetro manual, al realizarse esta medida debe considerarse entre ± 0.5 metro y un metro por error humano.

d. Pasos para procesar los datos de presión y caudal obtenidos en campo que serán usados para la calibración

- Por turno: los datos de caudal y presión serán usados directamente para la calibración. Pues siendo datos medidos en cabezal:
 - La presión de salida del cabezal, es medida en el manómetro después de la válvula sostenedora, se ingresó en WaterCAD para la asignación de presión inicial (m.c.a) de la válvula PRV.
 - El caudal es medido indirectamente (mediante el tiempo) en el caudalímetro tipo Woltman, se ingresó en WaterCAD para la asignación del caudal de descarga de la bomba (l/s).
- Por válvula: para los datos de presión es necesario agrega la pérdida de carga que sufren 1) por el caudal que circula por ellas y 2) por la contracción súbita que ocurre en la tubería al pasar de la matriz o distribuidora a la conexión por válvula. Para determinar correctamente dicha presión, se trabajó como se muestra a continuación:

- i. En WaterCAD se simularon los puntos de entrega de agua a cada válvula o puntos de demanda (nodos), el dato que obtenemos en la simulación en WaterCAD será la presión antes de ingresar a la válvula, se denominó como presión simulada (H_{simulada}) y el dato obtenido en campo (H_{medida}) será la presión después de la válvula, entonces tenemos:

$$H_{\text{medida}_i} = H_{\text{campo}_i} + h_{\text{válvula}_i} + h_{\text{contracción súbita}_i} \dots \dots \dots (a)$$

H_{medida_i}	Representa la presión en el punto de entrega de agua (nodo) a la válvula, es decir la <i>presión antes</i> de ingresar a ésta (m.c.a).
H_{campo_i}	Representa la presión medida en campo, después de la pérdida por caudal que circula válvula y contracción súbita (m.c.a).
$h_{\text{válvula}_i}$	Representa la pérdida de carga por caudal circulante en cada válvula, se obtiene, directamente o por interpolación, se hace uso de la hoja técnica de válvula instalada en campo (m.c.a).
$h_{\text{contracción súbita}_i}$	Representa la pérdida de carga en una contracción súbita, debiéndose esta al tránsito del flujo de un diámetro mayor a uno menor, este se genera al pasar de la red de distribución de 140 mm al punto de entrega de la válvula de 63 mm. Es medida en m.c.a.

En el Anexo 9 y Anexo 10 se presentan el procedimiento seguido para la obtención de las presiones medidas y presiones simuladas en cada válvula respectivamente.

- ii. La red simulada en WaterCAD, para agilizar el trabajo, no se muestra cada uno de los elementos (accesorios) instalados en campo a lo largo del recorrido de la red, por lo tanto:

$$H_{\text{simulada}_i} = H_{\text{WaterCAD}_i} - h_{\text{singularidades red}} \dots \dots \dots (b)$$

H_{simulada_i}	Representa la presión en el punto de entrega de agua (nodo) a la válvula, es decir la <i>presión de llegada</i> a ésta (m.c.a).
-------------------------	---

- $H_{WaterCAD_i}$ Representa la presión en el punto de entrega de agua (nodo) a la válvula en m.c.a, simulada en *WaterCAD*.
- $H_{singularidades\ red}$ Representa las pérdidas localizadas adicionales por accesorios instalados a lo largo del recorrido de la red. Para determinar el valor de h , éste se asume como un 10 por ciento de las pérdidas por fricción en la red (m.c.a).

En la Figura 16 se presenta la gráfica que muestra cómo se realizó la obtención de H_{medida_i} y $H_{simulada_i}$, en ella se puede observar que, H_{campo} es medida después de las pérdidas en la válvula y por contracción súbita; y $H_{WaterCAD}$ es simulada en el punto de la red antes de la válvula.

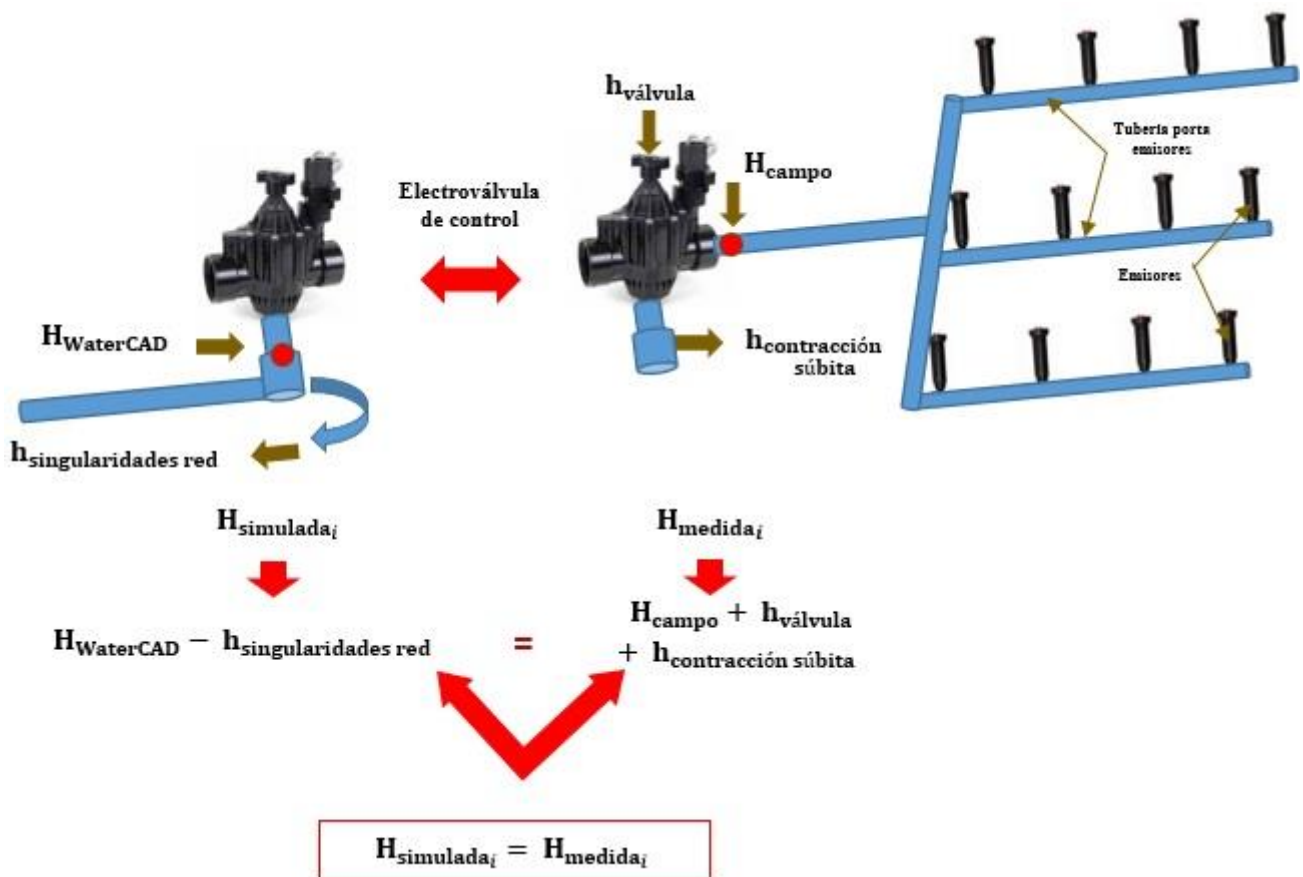


Figura 16: Esquema de presión medida y presión simulada empleadas

iii. Finalmente igualamos (a) y (b), obteniendo:

$$H_{\text{medida}_i} = H_{\text{simulada}_i}$$

H_{medida_i} y H_{simulada_i} representan la misma presión, por lo que deben ser iguales; sin embargo, una se obtiene del dato medido en campo, H_{medida_i} y la otra de la simulación con *software*, H_{simulada_i} , lo que genera una diferencia entre ambas $H_{\text{simulada}_i} - H_{\text{medida}_i}$, con la calibración se busca disminuir dicha diferencia, a manera de obtener un modelo calibrado para cada uno de los escenarios descritos.

El dato *presión por válvula*, se ingresará como *carga piezométrica medida por válvula* en *WaterCAD*, la misma que el software se denomina Gradiente hidráulica, para la calibración, de la siguiente manera: $\text{altura piezométrica}_i = H_{\text{medida}_i} + \text{Cota}_{\text{válvula}_i} \dots \dots \dots$ (c)

En el Anexo 11 se presenta el procedimiento seguido para la obtención de las diferencias entre las presiones medidas y simuladas en cada válvula.

- Caudal por válvula, es necesario acotar que el caudal usado para la calibración será un caudal ajustado, en base al caudal medido por turno en cabezal, de la siguiente manera:
 - i. Se calcula la diferencia entre caudal medido y caudal calculado mediante catálogo, correspondiente a la *presión medida en campo*, pues se sabe que a determinada presión de trabajo de los emisores se tiene un respectivo caudal, es decir a mayor presión de trabajo mayor caudal.

$$\Delta Q_{\text{Turno}_I} = Q_{\text{Medido turno}_I} - Q_{\text{Catálogo turno}_I} \dots \dots \dots$$
 (d)

$\Delta Q_{\text{Turno}_I}$ Representa la diferencia entre el caudal calculado mediante catálogo y el caudal monitoreado en cabezal por turno (l/s).

$Q_{\text{Catálogo turno}_I}$ Es la suma de los caudales obtenidos de catálogo correspondientes a las válvulas de un mismo turno. Según la presión medida por válvula en campo, y tomando dicha presión como presión de trabajo para los emisores (l/s)

$Q_{\text{Medido turno}_I}$ Es el caudal medido indirectamente (mediante el tiempo) en el caudalímetro Tipo Woltman, en el cabezal de riego (l/s).

- ii. Obtenida la diferencia de caudal por turno, se realiza el ajuste por válvula de la siguiente manera:

$$Q_{\text{válvula}_i} = Q_{\text{Cátalogo válvula}_i} + \frac{\Delta Q_{\text{Turno}_I}}{N^{\circ} \text{ válvulas}_{\text{Turno}_I}} \dots \dots \dots (e)$$

$Q_{\text{válvula}_i}$ Es el caudal ajustado por válvula que será empleado para la calibración (l/s).

$Q_{\text{Cátalogo válvula}_i}$ Es el caudal obtenido de catálogo, según la presión medida en válvula en campo, y tomando dicha presión como presión de trabajo para los emisores. Calculado en l/s.

$N^{\circ} \text{ válvulas}_{\text{Turno}_I}$ Es el número de válvulas agrupadas en el turno medido.

En el Anexo 12 se presenta el procedimiento seguido para la obtención de los caudales.

e. Pasos para calibrar utilizando la herramienta *Darwin calibrator* en WaterCAD v8i

Los pasos seguidos para la calibración de una red real instalada de distribución de agua en WaterCAD son los siguientes:

- i. Pasos previos, comprende la creación de escenarios, asignación de alternativas y la configuración del tipo de análisis a emplear.
- ii. Ingresar datos de presión para la válvula «PRV» medidos en cabezal, representa la presión de salida de cabezal.
- iii. Uso de herramienta Darwin Calibrator/Calibración:
 - Se crea un estudio de calibración por turno y se ingresan los datos de campo (presiones) por válvula.
 - Crear grupo de ajuste, debido a que el parámetro a calibrar fue la rugosidad se creó un solo grupo, el cual contiene a todas las tuberías pues son de un mismo material (PVC).
 - Realizar la *Calibración*: puede ser optimizada o manual, para poder manejar el valor del coeficiente «C» se decidió trabajar con una calibración manual.

La calibración de los diferentes escenarios se llevan a cabo los pasos antes mencionados.

La secuencia descrita anteriormente se muestra a detalle en el Anexo 13.

3.3.5. Determinación de los escenarios calibrados

Como se mencionó anteriormente los valores del coeficiente «C» empleados para obtener los escenarios calibrados fueron: 150 (tubería recién instalada), 145, 140 y 135 para los escenarios: «Escenarios 1», «Escenario 2» y «Escenario 3».

Una vez obtenidos los cálculos hidráulicos de los turnos seleccionados por escenario, con los valores mencionados anteriormente, se realiza la selección del modelo calibrado para cada escenario, mediante la recopilación de los resultados obtenidos por escenario.

Al haber trabajado con diferentes valores para el coeficiente de «C», se obtuvieron el «Escenario 1 calibrado», «Escenario 2 calibrado», «Escenario 3 calibrado», mediante los siguientes pasos:

a. Determinación del RMSE o root mean square error (raíz cuadrada del ECM)

Como se describió en la sección 3.3.4. e. *Pasos para calibrar utilizando la herramienta Darwin Calibrator en WaterCAD v8i*, se calibro uno por uno los turnos seleccionados por escenario, de dicha calibración se obtiene la *altura piezométrica simulada* $válvula$ utilizando el factor C correspondiente (150, 145, 140, 135), una vez obtenidos estos valores mediante el *software*, se tendrá:

$$H_{\text{WaterCAD}} = \text{Altura piezométrica simulada}_i - \text{Cota}_{\text{válvula}} \dots \dots (f)$$

$$H_{\text{simulada}_i} = H_{\text{WaterCAD}_i} - h_{\text{singularidades red}} \dots \dots (b)$$

Finalmente se obtendrá:

$$\Delta H = H_{\text{simulada}_i} - H_{\text{medida}_i}$$

En el Anexo 14 se observa el procedimiento seguido para la obtención de la diferencia entre los valores de presión simulada, con los diferentes valores asignados al factor C, y el valor de la presión medida; a su vez, también se observa el error obtenido de estas diferencia en relación con la presión medida.

Una vez obtenidos los datos « $H_{\text{simulada}} - H_{\text{medida}}$ » por válvula mediante Excel, se realizó el cálculo del *RMSE* para cada uno de los valores asignados para el factor «C». Se empleó la siguiente formula:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{\text{simulada}_i} - H_{\text{medida}_i})^2}{n}}$$

H_{medida}	Presión medida en red para válvula i
H_{simulada}	Presión simulada en la red para válvula i
n	número de valores medidos por escenario

Se considera como mejor alternativa un RMSE más cercano a cero, pues estadísticamente es una medida de dispersión. Es la raíz cuadrada del ECM (error medio cuadrático) el cual es un estimador que mide el promedio de los errores al cuadrado, es decir, la diferencia entre lo medido y lo estimado.

b. Definición del rango en que se encuentra ΔH ($H_{\text{simulada}} - H_{\text{medida}}$)

Se fijó rangos entre los cuales se encontraba la diferencia entre H_{simulada} y H_{medida} , los rangos fijados fueron:

Cuadro 10: Rangos en los que se encuentra el valor de ΔH

Rango en el que se encuentra $H_{\text{simulada}} - H_{\text{medida}}$
$0\text{m} \leq \Delta H \leq 2 \text{ m}$
$2 \text{ m} < \Delta H \leq 4 \text{ m}$
$\Delta H > 4 \text{ m}$

Dichos datos permitieron obtener gráficos de barras que representan los porcentajes de cada uno de los rangos con respecto al total de datos medidos para la calibración, según el factor «C» empleado.

En la Figura 17 se observa la variación porcentual de la cantidad de datos medidos para los diferentes rangos propuestos y según los diferentes valores asignados al factor «C».

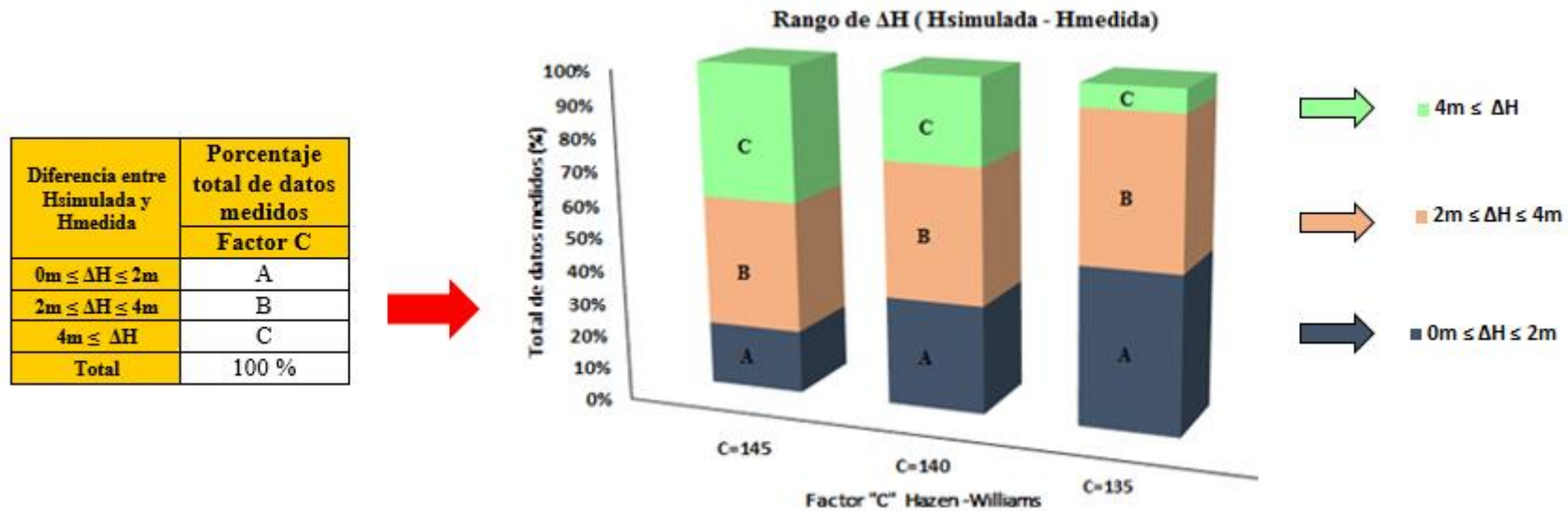


Figura 17: Representación gráfica de barras para los rangos en los que se encuentra el valor de ΔH

Finalmente, la selección del valor para el factor «C», se realizó mediante los resultados obtenidos del *RMSE* y corroborados mediante los gráficos de barras, pues dichos resultados representan las diferentes propuestas con los valores asignados al factor «C», 145, 140 y 135.

c. Gráficas de correlación

Se generaron las gráficas de correlación para cada escenario, sin calibrar y calibrado, de manera que muestren la correlación existente entre $H_{simulada}$ y H_{medida} en cada uno de los casos. La correlación se determinó en función del coeficiente de correlación de Pearson (R) y coeficiente de determinación (R^2), los valores se obtuvieron con los resultados generados para el valor inicial asignado a «C» igual 150 y para el valor asignado a «C» en el escenario calibrado.

3.3.6. Propuesta de programación de riego

Para realizar la programación de riegos se requirió de información meteorológica, así como de las velocidades de aplicación correspondiente según la presión disponible en cada sector de riego.

a. Determinación de la lámina de riego

- i. Para el cálculo de la ET_c se requirió información meteorológica mensual de la estación Alexander Von Humboldt, que permitiera obtener la ET_o mensual, las variables mensuales empleadas fueron: temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), humedad relativa (porcentaje), velocidad del viento (m/s) y horas de sol, estos datos fueron procesados mediante el *software Cropwat*. Se contó con información meteorológica desde el año 2000 hasta el año 2010.

Una vez obtenidos los datos de ET_o mensual por años y contando con el valor de coeficiente de cultivo (K_c=1), se calculó la ET_c mensual mediante la siguiente fórmula:

$$ET(\text{cultivo}) = ET_o \times K_c$$

La lámina de riego se calculó por mes, teniendo los datos de ET_c se obtuvo de la siguiente manera:

$$Lr_{\text{neta}} = ET_c - P_p$$

Sin embargo, la precipitación efectiva registrada en el área de estudio es de 00 mm/día y se tiene una eficiencia de riego se considera en 85 por ciento, entonces la lámina de riego a aplicar será:

$$Lr_{\text{reponer}} = Lr_{\text{Neta}} / 0.85$$

b. Determinación del tiempo de riego

Para la determinación del tiempo de riego, fue necesario contar con datos como velocidad de aplicación (mm/hr) y lámina diaria a reponer.

La velocidad de aplicación fue definida en base a la presión de trabajo obtenida de los escenarios calibrados y calculada mediante un promedio simple según la cantidad y tipo de emisores manejados por válvula.

Entonces se tendrá el tiempo de riego por válvula:

$$Tr_{\text{válvula}_i} = \frac{Lr_{\text{reponer}}}{Va_{\text{válvula}_i}}$$

$Tr_{\text{válvula}_i}$	Tiempo de riego para válvula i, se calcula en horas
Lr_{reponer}	Lámina de riego a reponer, se calcula en mm/día.
$Va_{\text{válvula}_i}$	Velocidad de aplicación promedio para válvula i, calculada en mm/hr.

Se tendrá entonces el tiempo de riego por turno:

$$Tr_{\text{turno}_i} = \text{Máx} (Tr_{\text{válvula}_1}, Tr_{\text{válvula}_2}, \dots, Tr_{\text{válvula}_n})$$

Tr_{turno_i}	Tiempo de riego para Turno i, para su obtención se selecciona el máximo tiempo de riego calculado para las válvulas correspondientes al Turno i, a modo de asegurar la dotación de agua en todos los sectores de riego.
-----------------------	---

Obtenido el tiempo de riego para cada uno de los turnos, se calcula el tiempo total de riego diario. A modo de permitir la programación diaria, semanal y mensual.

En el Anexo 15 se presenta el procedimiento descrito.

3.3.7. Costo energético

Adicionalmente se determinó el costo energético para cada uno de los diferentes escenarios, y así determinar qué escenario es el más conveniente en términos económicos. Además, se podrá determinar qué porcentaje del costo total representa el costo generado por sobrepresiones.

A continuación, se presentan las fórmulas a emplear:

i. Costo de bombeo

$$C_B = P_c \times t \times C_w$$

C_B	Costo de bombeo, en s./.
t	Tiempo de funcionamiento, en horas
C_w	Precio de electricidad por kW-h, es s./ 0.22
P_c	Potencia de bombeo consumida, en Kw. Se calcula por turno de riego.

$$P_c = \frac{Q \times H}{102 \times n_b \times n_m}$$

H	Altura de bomba, en m.c.a., representa la carga dinámica total (CDT).
Q	Caudal, en l/s.
n_b	Rendimiento de la bomba, se calcula mediante la curva característica de la bomba.
n_m	Rendimiento del motor, considerado igual a 90 por ciento.

ii. Costo de potencia

$$C_P = P_{\text{máx}} \times (C_{PG} + C_{PD})$$

C_P	Costo mensual de la potencia, en s./.
$P_{\text{máx}}$	Máxima potencia mensual registrada.
C_{PG}	Costo de la potencia de generación, es dada por la máxima potencia activa registrada mensual en horas de punta. Es de s./ 32.10.
C_{PD}	Costo de la potencia de distribución, es el cargo por potencia por uso de las redes de distribución. Es de s./ 10.46.

Finalmente se tendrá:

$$\text{Tarifa por consumo energético (s./)} = C_B + C_P$$

3.3.8. Desarrollo de un sistema de consulta SIG

Para ingresar la base de datos y obtener el sistema de consulta SIG que facilitará la toma adecuada de decisiones sobre las áreas de jardines de la UNALM, permitiendo monitorear, extraer y presentar los datos de presión, caudal, CDT, tipo de emisor, Ø válvula, Ø tubería para cada uno de los escenarios; se empleará el software ArcGis.

En base al plano en AutoCAD y la Geodatabase obtenida de dicho plano se realizará la digitalización según los diferentes escenarios, obteniendo un archivo shapefile por escenario para luego incorporar la información obtenida mediante la siguiente metodología.

1) Seleccionar la capa (database) en la *Tabla de contenido* para la adición de datos, «Programación E1», luego seleccionar *Open Attribute table*

2) Seleccionar *Table Options > Add field*, se debe crear un campo por cada dato a ingresar (presión, caudal, emisor, etc.)

3) Ingresar el nombre y seleccionar el tipo de dato (numérico o alfabético)

The screenshot shows the ArcGIS interface with three main components: 1) The 'Table of Contents' window on the left, where the 'Programación' layer is selected and the 'Open Attribute Table' button is highlighted. 2) The 'Table' window in the center, where the 'Add Field...' option is selected in the 'Table Options' menu. 3) The 'Add Field' dialog box on the right, where the field name 'Presión' and type 'Double' are entered, and the 'Field Properties' table is visible.

Alias	Presión (m.c.a)
Allow NULL Values	Yes
Default Value	

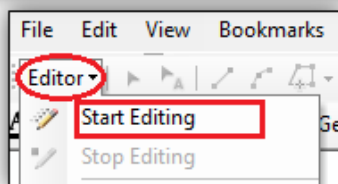
Table

4)

Programación_E1

OBJE	SHAPE	Turno	Área (Ha)	Área (m2)	Perímetro (m)	Presión (m.c)	Caudal (l/s)	CDT	Ø_Válvula	Ø_Ttubería	Emisor
137	Polygon	Turno 1	0.632845	6328.449704	1024.57954	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	Rotores 1/2" y 3/4"
138	Polygon	Turno 2	0.599473	5994.727086	611.198087	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
141	Polygon	Turno 3	0.706507	7065.073873	1319.576809	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>

6)



- 4) Terminar de adicionar todos los campos, cerrar la tabla de atributos (*Attribute table*)
- 5) Seleccionar *Editor* > *Start Editing* en el menú de edición para generar la base de datos.
- 6) Seleccionar *Attribute table* e ingresar los datos, por «Turno» y «Escenario»

TURNO	Nº VALVULA EN CAMPO	Carga dinámica turno	Caudal turno	Presión de llegada a válvula C=135	Presión de trabajo	Tipo y Ø válvula	Ø Tubería	Tipo de emisor
		m	l/s	m.c.a	m.c.a	plg	mm	
I	V1	64.39	17.70	38.13	35.00	Electroválvula 2"	110	Rotores 1/2 y 3/4"
	V2			38.07	35.00	Electroválvula 2"	110	
	V3			40.12	35.00	Electroválvula 2"	140	

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE DATOS BÁSICOS

4.1.1. Fuente de Agua

El funcionamiento del sistema de riego planteado para las áreas verdes de la UNALM tiene como fuente de agua dos reservorios que son abastecidos de manera intercalada, uno cada semana por el canal principal llamado “canal bajo”; situados en el área de Proyección social. La capacidad de cada reservorio fue calculada para satisfacer los requerimientos semanales de agua para los jardines de la UNALM, programa de cereales y maíz haciendo un área total de 18.85 ha y programa de hortalizas con 11.51 ha llamado el “El Huerto”.

El canal bajo conduce 300 l/s (1080 m³/hr)

La capacidad del reservorio que abastece a Jardines y al Huerto es de 9372 m³.

4.1.2. Análisis de agua

a. Análisis físico-químico

El agua empleada en el sistema de riego presenta las siguientes características:

- Un pH de 7.24, por lo que se trata de agua ligeramente neutra.
- La conductividad eléctrica presentó un valor igual a 0.49 dS/m, por lo que la muestra se clasifica como una C2, es decir, es un agua de salinidad moderada.
- La relación de adsorción de Sodio (RAS) dio un resultado de 0.60 que corresponde a un valor bajo en sodio representándose como S1.
- El índice de Saturación de Langelier dio un resultado de -0.235, es decir la concentración de Carbonatos de Calcio se mantiene en la solución y no precipitan, por lo que no habría problemas de obstrucción en los sistemas de riego localizado.

- Presenta una dureza total, medida en concentración de mg CaCO₃/L, igual a 220.45 lo que la clasifica como agua dura.
- Presenta una turbiedad de 103 NTU y los sólidos suspendidos medidos en mg/L son de 110.

b. Análisis microbiológico

Se hizo un análisis microbiológico para determinar los valores de coliformes totales y coliformes fecales presentes en el agua del canal, del cual se obtuvo como resultado:

Cuadro 11: Análisis Microbiológico

Parámetro microbiológico medido	Resultado de muestra	Estándar nacional de calidad de Agua Tipo III
Coliformes Totales (NMP/100ml)	49	50x10 ²
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	6.1	10x10 ²
Echerichia coli (NMP/100ml)	4.0	10x10

Haciendo una comparación entre los resultados obtenidos y los parámetros máximos para el Agua tipo III (agua para riego de vegetales y bebida de animales) se puede decir que no hay problema en la cantidad de coliformes totales y coliformes fecales ya que se encuentran por debajo del permitido.

4.1.3. Datos climáticos

Se contó con información de la estación meteorológica Alexander Von Humboldt, estos datos fueron procesados mediante el *software Cropwat*, obteniéndose la ETo mensual de los años comprendidos entre el 2000 y 2010.

Los resultados se observan en el Cuadro 12, se diferencian tres periodos durante el año, el primero durante los meses de verano entre enero a abril, en él la ETo es mayor; luego disminuye durante los meses de mayo a octubre, meses de invierno, y finalmente los dos últimos meses del año la ETo presenta un incremento. En la Figura 18 se muestran los valores máximos, mínimos y promedios entre los años 2000 y 2010.

Cuadro 12: Calculo de ETo por Penman-Monteith con uso del software Cropwat

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2000	4.11	4.59	4.17	3.80	2.83	1.77	1.43	1.80	2.47	2.96	3.62	3.60
2001	3.65	4.17	4.57	3.80	2.31	1.47	1.42	1.81	2.35	2.87	3.62	3.62
2002	4.02	3.87	4.05	3.13	2.47	1.71	1.36	1.53	2.19	2.66	2.86	3.22
2003	3.29	4.17	4.21	3.77	2.62	2.08	1.85	1.98	2.25	3.12	3.58	3.27
2004	4.37	4.30	4.75	3.83	2.85	1.58	1.84	2.04	2.42	3.04	3.04	3.75
2005	4.33	4.43	4.14	3.99	2.54	1.58	1.74	2.24	2.06	2.89	3.33	3.35
2006	4.17	4.45	4.35	3.97	3.06	1.90	1.73	1.93	2.41	2.87	2.97	2.85
2007	3.59	4.40	3.98	3.70	2.85	1.95	1.55	1.63	1.95	2.73	3.23	3.37
2008	3.55	3.96	4.18	4.10	2.32	1.50	1.90	1.74	2.39	2.60	2.92	3.58
2009	3.78	3.90	3.57	3.77	2.85	1.60	1.57	1.97	2.15	2.84	2.99	2.80
2010	3.72	4.11	4.17	3.72	2.65	1.80	1.68	1.89	2.33	2.83	3.15	3.32
Promedio	3.87	4.21	4.19	3.78	2.67	1.72	1.64	1.87	2.27	2.86	3.21	3.34

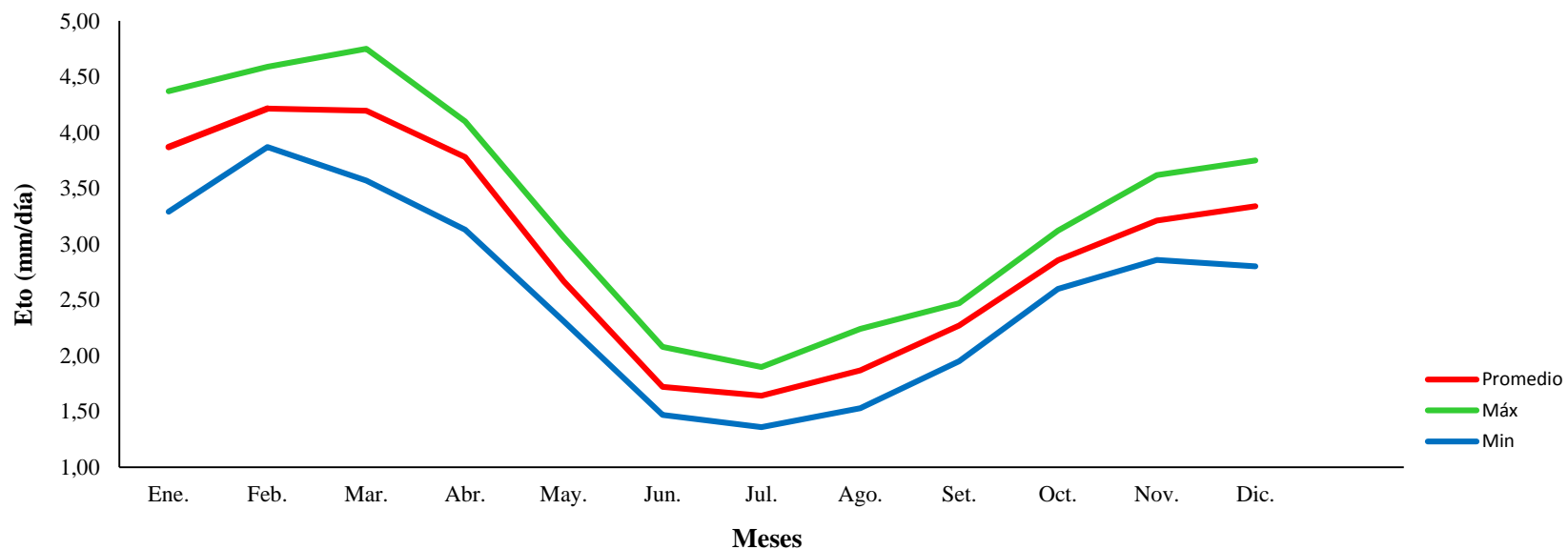


Figura 18: Representación máx., mín. y prom. de ETo (mm/día)

4.1.4. Oferta de agua

En los Cuadro 13 y Cuadro 14, se presentan los resultados obtenidos de la oferta mensual y semanal para las áreas de jardines, dichos resultados se obtuvieron mediante el conocimiento de la dotación mensual total de agua, a la cual se le disminuyo el consumo de las áreas correspondientes a frutales, fundo, ornamentales y huerto, pertenecientes a la facultad de Agronomía.

Cuadro 13: Oferta mensual para áreas verdes (jardines)

OFERTA MENSUAL PARA AREAS VERDES JARDINES													
Descripción	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Demanda mensual Frutales (m3)	29,812	30,460	34,526	28,238	26,166	14,719	12,196	13,579	20,347	25,687	27,054	25,371	288,155
Demanda mensual Fundo (m3)	25,363	25,914	29,373	24,024	22,261	12,522	10,376	11,553	17,310	21,854	23,016	21,585	245,151
Demanda mensual Ornamentales (m3)	3,196	3,189	3,582	3,093	2,276	1,496	1,443	1,624	1,937	2,431	2,619	2,852	29,738
Demanda Mensual Huerto (m3)	12,205	12,470	14,135	11,561	10,712	6,026	4,993	5,559	8,330	10,516	11,076	10,387	117,971
OFERTA MENSUAL TOTAL CANAL ALTO Y BAJO (m3)	104,161	95,060	109,481	96,850	94,705	62,350	64,428	64,428	66,350	89,641	91,350	94,395	1,033,198
Oferta mensual Jardines (m3)	33,586	23,026	27,865	29,935	33,289	27,586	35,421	32,113	18,426	29,153	27,585	34,200	352,184

Cuadro 14: Oferta semanal para áreas verdes (jardines)

OFERTA SEMANAL PARA AREAS VERDES JARDINES												
Descripción	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Demanda semanal Frutales (m3)	6,732	7,615	7,796	6,589	5,908	3,434	2,754	3,066	4,748	5,800	6,313	5,729
Demanda semanal Fundo (m3)	5,727	6,479	6,633	5,606	5,027	2,922	2,343	2,609	4,039	4,935	5,371	4,874
Demanda semanal Ornamentales (m3)	722	797	809	722	514	349	326	367	452	549	611	644
Demanda semanal Huerto (m3)	2,756	3,118	3,192	2,698	2,419	1,406	1,127	1,255	1,944	2,375	2,584	2,346
OFERTA SEMANAL TOTAL CANAL ALTO Y BAJO (m3)	23,520	23,765	24,722	22,598	21,385	14,548	14,548	14,548	15,482	20,242	21,315	21,315
Oferta semanal Jardines (m3)	7,584	5,757	6,292	6,985	7,517	6,437	7,998	7,251	4,299	6,583	6,436	7,722

4.1.5. Demanda de agua

La demanda hídrica para jardines se realiza con ayuda de los datos climáticos (ET_o) y el coeficiente de cultivo con los que se calculó la ET_c y posteriormente la lámina de riego, el resultado se presenta en el Cuadro 15, a continuación:

Cuadro 15: Demanda hídrica de áreas verdes urbanas (jardines)

DEMANDA AREA VERDE JARDINES													
Descripción		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Área jardines	has	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51
Coefficiente del Cultivo (Kc)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Evapotranspiración potencial (ET _o)	mm/día	3.87	4.21	4.19	3.78	2.67	1.72	1.64	1.87	2.27	2.86	3.21	3.34
Evapotranspiración potencial (ET _o)	mm/mes	120.00	117.98	130.03	113.40	82.71	51.65	50.92	57.94	68.10	88.52	96.30	103.51
Evapotranspiración cultivo (ET _c)	mm/día	120.00	117.98	130.03	113.40	82.71	51.65	50.92	57.94	68.10	88.52	96.30	103.51
Precipitación efectiva	mm/día	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Días del mes	días	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
Demanda Neta	mm/mes	120.00	117.98	130.03	113.40	82.71	51.65	50.92	57.94	68.10	88.52	96.30	103.51
Eficiencia de Riego	%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Demanda Bruta	mm/mes	141.17	138.80	152.98	133.41	97.31	60.77	59.91	68.17	80.12	104.14	113.29	121.78
Demanda Bruta	mm/día	4.55	4.96	4.93	4.45	3.14	2.03	1.93	2.20	2.67	3.36	3.78	3.93
Demanda Unitaria	m ³ /Ha-día	45.54	49.57	49.35	44.47	31.39	20.26	19.33	21.99	26.71	33.59	37.76	39.28
Módulo de Riego	lps/ha	0.53	0.57	0.57	0.51	0.36	0.23	0.22	0.25	0.31	0.39	0.44	0.45
Caudal	l/s	9.23	10.05	10.00	9.01	6.36	4.11	3.92	4.46	5.41	6.81	7.65	7.96
Demanda Total de Agua	m ³ /mes	24720	24304	26786	23360	17039	10641	10490	11936	14029	18235	19838	21323
Demanda Total de Agua por semana	m ³ /semana	5582	6076	6049	5451	3848	2483	2369	2695	3273	4118	4629	4815

4.1.6. Balance Hídrico

El balance hídrico se obtiene mediante los resultados de oferta y demanda para las áreas de jardines, se observa que en su mayoría la demanda es cubierta; sin embargo, en los meses de verano se tendrá cierta dificultad para cubrir la demanda, los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 16: Balance hídrico mensual para áreas con riego en la UNALM

BALANCE HIDRICO GLOBAL														
CANAL ALTO Y CANAL BAJO														
Descripción		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Demanda	m3	95,295	96,338	108,403	90,275	78,455	45,404	39,498	44,251	61,953	78,723	83,603	81,518	903,716
Oferta	m3	104,161	95,060	109,481	96,850	94,705	62,350	64,428	64,428	66,350	89,641	91,350	94,395	1,033,198
BALANCE	m3	8,867	-1,278	1,078	6,575	16,250	16,946	24,930	20,177	4,397	10,918	7,747	12,876	129,482
Satisfacción de agua	O/D	1.09	0.99	1.01	1.07	1.21	1.37	1.63	1.46	1.07	1.14	1.09	1.16	1.14

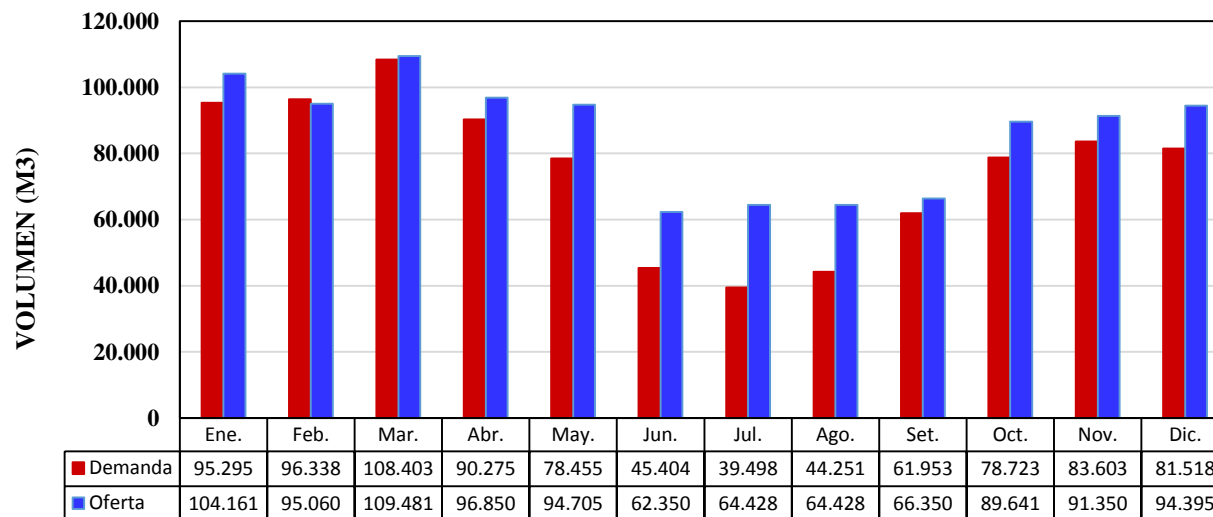


Figura 19: Balance hídrico mensual para áreas con riego en la UNALM

Cuadro 17: Balance hídrico mensual para áreas verdes (Jardines)

BALANCE HIDRICO MENSUAL ÁREAS VERDES JARDINES														
CANAL ALTO Y CANAL BAJO														
Descripción		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Demanda mensual Jardines	m3	24,720	24,304	26,786	23,360	17,039	10,641	10,490	11,936	14,029	18,235	19,838	21,323	222,702
Oferta mensual Jardines	m3	33,586	23,026	27,865	29,935	33,289	27,586	35,421	32,113	18,426	29,153	27,585	34,200	352,184
BALANCE	m3	8,867	-1,278	1,078	6,575	16,250	16,946	24,930	20,177	4,397	10,918	7,747	12,876	129,482
Satisfacción de agua	O/D	1.4	0.9	1.0	1.3	2.0	2.6	3.4	2.7	1.3	1.6	1.4	1.6	1.6

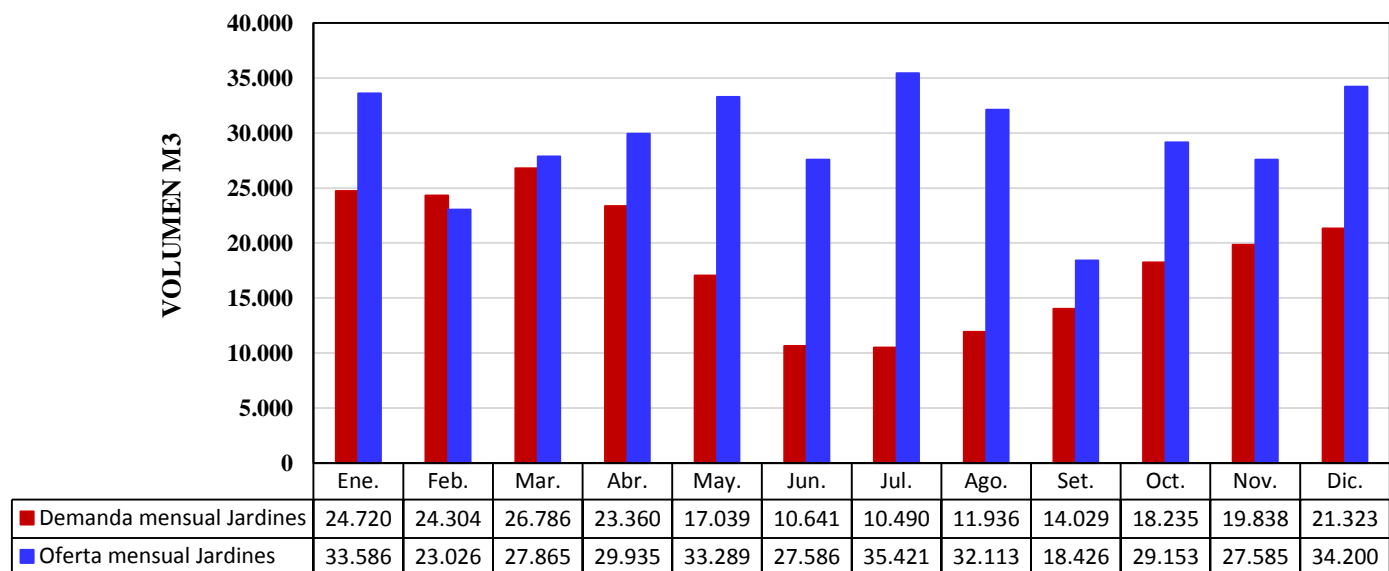


Figura 20: Balance hídrico mensual para áreas verdes (jardines)

Cuadro 18: Balance hídrico semanal para áreas verdes (Jardines)

BALANCE HIDRICO SEMANAL ÁREAS VERDES JARDINES														
CANAL ALTO Y CANAL BAJO														
Descripción		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Demanda semanal Jardines	m3	5,582	6,076	6,049	5,451	3,848	2,483	2,369	2,695	3,273	4,118	4,629	4,815	51,386
Oferta semanal Jardines	m3	7,584	5,757	6,292	6,985	7,517	6,437	7,998	7,251	4,299	6,583	6,436	7,722	80,861
BALANCE	m3	2,002	-319	243	1,534	3,669	3,954	5,629	4,556	1,026	2,465	1,808	2,907	29,475
Satisfacción de agua	O/D	1.4	0.9	1.0	1.3	2.0	2.6	3.4	2.7	1.3	1.6	1.4	1.6	1.6

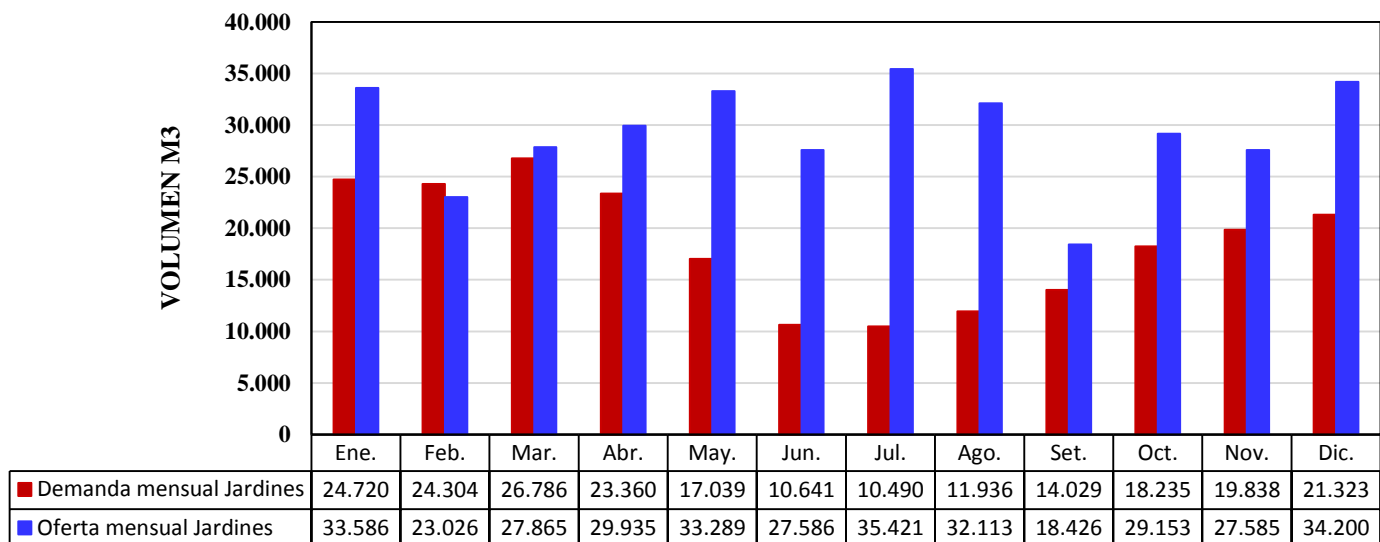


Figura 21: Balance hídrico semanal para áreas verdes (jardines)

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO

4.2.1. Sectores de Riego

El sistema de riego está conformado por 109 sectores de riego (subunidades), cada uno controlado por una electroválvula. Distribuidos de la siguiente manera: 47 corresponden a emisores tipo rotor emergente de ½” y ¾”, 25 a emisores tipo rotor emergente 1”, 32 a difusor emergente de ½” con tobera ajustable, 2 corresponden al Jardín botánico con aspersores de impacto de ¾” y los 3 restantes conforman el único turno de goteo. Es decir 106 válvulas pertenecen al sistema por aspersión distribuidos en el área de jardines de todo el campus (césped americano y jardín botánico), de éstos el área en estudio comprende 104 sectores.

a. Electroválvula (Arco de riego)

Cada uno de los sectores de riego está controlado por una electroválvula, siendo está de la marca Rain Bird Serie PGA, modelo 200-PGA de 1.5”, 2”, 3”. Funciona entre un rango de presión de 1 a 10 bar y caudal entre 9 m³/h a 34 m³/h, al ser electroválvulas, abren y cierran automáticamente mediante la alimentación de un solenoide al recibir la señal de 24 VCA del programador a través de cables enterrados en tubería, que van paralelo con los tubos de conducción del agua.

Adicionalmente a cada válvula se encuentra incorporado una válvula reguladora de presión, en la cual se establece la presión de trabajo del sector dependiendo del tipo de emisor instalado.

b. Emisores empleados

Son los encargados de aplicar agua en forma uniforme a los jardines, en su totalidad son aspersores del tipo emergente (pop-up). Los sistemas se encuentran instalados los siguientes:

b.1. Aspersor rotor emergente de ½”

Aspersor rotor emergente POP-UP de la marca *Rain Bird Serie 3500*, de ½” (1.3 cm) de conexión de entrada con rosca hembra interior NPT. Rotor con ajuste de retorno de círculo completo y círculo parcial de 40° a 360° en un mismo equipo. Su tornillo de ajuste permite mayor precisión

en el ajuste del radio de alcance que puede reducirse hasta 25 por ciento. Los emisores instalados presentan una boquilla número 2.

b.2. Aspersor rotor emergente de 3/4”

Aspersor rotor emergente POP-UP de la marca *Rain Bird* serie 5000 con PRS (regulación de presión), de 3/4” de conexión de entrada con rosca hembra interior NPT. Rotor con ajuste de retorno de círculo completo y círculo parcial de 40° a 360° en un mismo equipo. Su tornillo de ajuste permite mayor precisión en el ajuste del radio de alcance que puede reducirse hasta 25 por ciento. Los emisores instalados presentan las boquillas número 1.5 y 2.5.

b.3. Aspersor rotor emergente de 1”

Aspersor rotor emergente POP-UP de la marca *Rain Bird* serie Falcon, de 1” (2.5 cm) de conexión de entrada con rosca hembra interior NPT o BSP. Presenta además vástago de trinquete, válvula de retención (Seal-A-Matic) y resorte retráctil de acero inoxidable. Los emisores instalados presentan las boquillas número 10, 12 y 14.

b.4. Aspersor difusor emergente de 1/2” con tobera ajustable

Aspersor difusor emergente POP-UP de la marca *Rain Bird* serie VAN (arco variable) de 1/2” (1.3 cm) de conexión de entrada con rosca hembra interior NPT. Fabricado con plástico ABS, con cuerpo y tapa extra gruesos. Funciona con todas las toberas hembras estándares. El diseño de la junta de sellado protege al vástago cuando está en funcionamiento y mantiene los residuos fuera del sellado cuando está retraído.

Una simple vuelta del collar central sin utilizar herramientas especiales aumenta o reduce el ajuste de arco, lo que las hace ideales para regar áreas de formas irregulares. Los emisores instalados presentan las boquillas número 4, 6, 8, 10, 12,15, 18.

Adicionalmente se emplearon las boquillas plásticas MPR de la Serie 15 Strip, esta serie presenta boquillas con nivel de precipitación ajustado, permitiendo una distribución de agua más uniforme y flexibilidad en el diseño. Los emisores instalados presentan las boquillas 15EST y 15SST.

b.5. Aspersor difusor emergente de 1/2" con turbina rotator

Aspersor difusor emergente POP-UP de la marca *Rain Bird* de la serie R-VAN (boquillas rotativas), de 1/2" (1.3 cm) de conexión de entrada con rosca hembra interior NPT.

Por su baja pluviometría, la turbina rotator está diseñada para trabajar junto con rotores. Viene en varios modelos de acuerdo al alcance que se requiera. En sistema de riego estudiado se emplearon los modelos de turbina en sus variedades de arco de 360° (círculo completo), 180 ° (medio círculo) y 90° (cuarto de círculo). Los emisores instalados presentan las boquillas R13-18 y R17-24.

*Los rangos de operación de los emisores instalados en campo son presentados a detalle en el Anexo 16.

4.2.2. Cabezal de Riego

a. Equipo de Bombeo

El riego se presuriza a través de una electrobomba sumergible de turbina vertical es de la marca Hidrostral, modelo B08M-H-8 HMSS-LUBxAGUA, es una unidad de bombeo diseñada para operar en pozos profundos y autolubricada. Opera con un motor FRAME 180M-30HP, presenta 8 etapas, linterna de 6"x16.1/2". Inicialmente el punto de operación se fijó para un caudal de 23 l/s y una altura de 70 m.



Figura 22: Equipo de bombeo Hidrostral, modelo B08M-H-8

b. Equipo de filtración

El equipo de filtrado corresponde a un filtro la Serie FILTOMAT M100 de Amiad es un filtro de mallas automático, ideal para sitios de instalación a distancia, con un mecanismo autolimpiante hidráulico que no requiere alimentación externa para operar.

El modelo instalado es el M100 6800A el mismo que soporta un caudal máximo de 400 m³/h (793 US gpm.), con grados de filtración de 130 micrones, diámetros de entrada/salida de 6" y presión de trabajo mínima/máxima de 2bar-10bar.

El auto lavado se da cuando la presión diferencial alcanza los 0.5 bar, no habiendo interrupción del flujo aguas abajo durante el lavado.



Figura 23: Filtro de mallas FILTOMAT M100 6800^a

c. Aparatos de medición y control

c.1. Válvulas.

- Una válvula mariposa de 6", es de metal y posee conexiones bridadas de 6".
- Una válvula reguladora y sostenedora de presión de 6", es de hierro fundido con conexiones bridadas.
- Dos válvulas de aire doble efecto de 2", La válvula de aire doble efecto tiene la función de permitir el ingreso y salida del aire en el Manifold. Pero esta función se da de dos formas, la primera libera el aire en grandes caudales durante el llenado y vaciado del Manifold, y la segunda libera el aire que se acumula y queda atrapado.
- Así mismo se cuenta con una válvula de alivio de presión marca BERMAD, modelo WW-43Q-BP de 2", está es accionada por diafragma que alivia la presión excesiva del sistema cuando tal presión aumenta por encima de un valor preestablecido.



Figura 24: Válvula sostenedora y válvula de alivio

c.2. Medidor de Caudal.

Un medidor de caudal marca Raphael, tipo Woltman de 6", de Hierro fundido revestido con poliéster con conexiones bridadas, está diseñado para medir altos caudales con una mínima pérdida de carga, su presión máxima de trabajo es de 16 bar y su tipo de registro es en m³.



Figura 25: Medidor tipo Woltman de 6"

c.3. Manómetros:

Un manómetro de glicerina a la entrada y otro a la salida, manómetros de glicerina de 0 – 10 bar

4.2.3. Red de distribución

La tubería primaria o matriz que parte de la toma de riego o del cabezal es de PVC C-10 de 160 mm, que se extiende hasta llegar a la Av. Humboldt; desde ahí parte la tubería secundaria que reparte agua hasta los sectores de riego (electroválvulas) siendo ésta de PVC C-10 de 140 mm; finalmente la tubería terciaria está conformada por tubería PVC de 1" a 90 mm, donde van conectados los aspersores mediante unión flexible, que alimenta directamente a los laterales o ramales de aspersión y finalmente en éstos últimos se conectan los emisores de riego.

4.2.4. Automatización del sistema

Debido a la extensión que comprende el área de jardines, se encuentran instalados para la automatización, un programador monocable, que utiliza decodificadores de 1, 2 y 4 estaciones, encargado de operar 87 válvulas; y un controlador modular convencional adicional, que operará 22 válvulas. Esto es debido a que el total de válvulas excede la capacidad de trabajo del controlador de decodificadores. Ambos programadores están ubicados en la caseta de control y trabajarán de manera alternada.

4.3. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA-PROGRAMACIÓN ACTUAL

4.3.1. Análisis hidráulico para el “Escenario 1” – Programación actual

Se debe tener en cuenta que la presión de salida en la válvula de alivio es de 60 m.c.a y la pérdida de carga en el cabezal se considera 7 metros, mientras el coeficiente de Hazen-Williams empleado fue igual a 150. Además, las presiones de trabajo son de 35 metros para para rotores de ½” y 3/4”, 45 metros para rotores de 1” y 21 metros para difusores de boquilla regulable.

Se muestra el análisis hidráulico para dicho escenario que profundizó el estudio a nivel de cada turno, con el objetivo de determinar las sobrepresiones que ocurren en el sistema de acuerdo a la presión de trabajo establecida para cada tipo de emisor. Se muestra el cuadro de comparación de presiones consigna versus las presiones de llegada a cada una de las válvulas, las cuales fueron calculadas mediante WaterCAD. Se obtuvo los siguientes resultados:

Cuadro 19: Comparación entre presión consigna y presión de llegada para los turnos del «Escenario 1» -Programación actual

TURNO	N° VÁLVULA EN CAMPO	Presión Consigna	P. de llegada a c/válvula	Sobre-presión
		m	m	m
I	V1	41.00	40.69	-0.31
	V2	41.00	40.65	-0.35
	V3	41.00	41.85	0.85
II	V4	41.00	48.86	7.86
	V5	41.00	48.87	7.87
	V41	41.00	49.34	8.34
III	V6	41.00	41.32	0.32
	V7	41.00	41.64	0.64
	V9	41.00	41.73	0.73
IV	V8	41.00	41.46	0.46
	V14	41.00	40.99	-0.01
	V15	41.00	40.85	-0.15
V	V10	41.00	40.40	-0.60
	V12	41.00	40.76	-0.24
	V13	41.00	42.19	1.19
VI	V16	41.00	47.71	6.71
	V17	41.00	47.71	6.71
	V18	41.00	47.58	6.58
VII	V21	41.00	39.32	-1.68
	V22	41.00	38.82	-2.18
	V23	41.00	41.40	0.40
VIII	V24	41.00	47.97	6.97
	V46	41.00	48.02	7.02
	V55			
IX	V25	41.00	47.93	6.93
	V27	41.00	48.48	7.48
	V28	41.00	47.91	6.91
X	V26	41.00	46.16	5.16
	V33	41.00	44.96	3.96
	V42	41.00	45.24	4.24
XI	V29	41.00	38.23	-2.77
	V31	41.00	39.42	-1.58
	V35	41.00	38.40	-2.60
XII	V30	41.00	40.06	-0.94
	V32	41.00	40.73	-0.27
	V36	41.00	40.99	-0.01
XIII	V37	41.00	43.43	2.43
	V39	41.00	43.90	2.90
	V40	41.00	44.32	3.32
XIV	V43	41.00	43.09	2.09
	V44	41.00	44.88	3.88
	V45	41.00	45.64	4.64

Continuación

TURNO	N° VÁLVULA EN CAMPO	Presión	P. de llegada a	Sobre-
		Consigna	c/válvula	presión
		m	m	m
XV	V47	41.00	45.95	4.95
	V48	41.00	44.28	3.28
	V49	41.00	47.82	6.82

XVI	V56	52.00	46.63	-5.37
	V57	52.00	46.65	-5.35
	V70	52.00	47.58	-4.42

XVII	V64	52.00	46.16	-5.84
	V68	52.00	45.94	-6.06

XVIII	V65	52.00	41.30	-10.70
	V66	52.00	41.11	-10.89
	V67	52.00	41.05	-10.95

XIX	V71	52.00	44.44	-7.56
	V72	52.00	44.52	-7.48
	V73	52.00	44.37	-7.63

XX	V74	25.60	26.38	0.78
	V75	25.60	26.44	0.84
	V85	25.60	26.96	1.36

XXI	V76	25.60	19.14	-6.46
	V77	25.60	19.19	-6.41
	V80	25.60	19.59	-6.01

XXII	V78	25.60	14.22	-11.38
	V79	25.60	13.82	-11.78
	V81	25.60	13.87	-11.73

XXIII	V82	25.60	44.41	18.81
	V83	25.60	44.93	19.33
	V84	25.60	44.14	18.54

XXIV	V86	25.60	32.10	6.50
	V88	25.60	32.78	7.18
	V93	25.60	32.51	6.91

XXV	V87	25.60	39.09	13.49
	V89	25.60	39.95	14.35
	V91	25.60	41.43	15.83

XXVI	V92	25.60	45.21	19.61
	V98	25.60	44.99	19.39
	V99	25.60	42.28	16.68

XXVII	V94	25.60	36.27	10.67
	V95	25.60	36.26	10.66
	V90	25.60	37.80	12.20

XXVIII	V96	25.60	43.00	17.40
	V97	25.60	44.39	18.79
	V105	25.60	44.68	19.08

TURNO	N° VÁLVULA EN CAMPO	Presión	P. de llegada a	Sobre-
		Consigna	c/válvula	presión
		m	m	m
XXIX	V100	25.60	47.62	22.02
	V101	25.60	46.83	21.23
	V104	25.60	46.15	20.55

XXX	V103	25.60	50.91	25.31
	V106	25.60	49.03	23.43

XXXI	V51	52.00	44.80	-7.20
	V52	52.00	44.75	-7.25

XXXII	V50	41.00	47.11	6.11
	V53	41.00	47.40	6.40
	V54	41.00	47.38	6.38

XXXIII	V58	52.00	47.20	-4.80
	V59	52.00	46.79	-5.21
	V60	52.00	46.60	-5.40

XXXIV	V61	52.00	45.01	-6.99
	V62	52.00	45.02	-6.98
	V63	52.00	45.00	-7.00

XXXV	V112	52.00	46.96	-5.04
	V115	52.00	47.32	-4.68

XXXVI	V113	52.00	47.36	-4.64
	V114	52.00	46.84	-5.16

XXXVII	V116	52.00	44.86	-7.14
	V69	52.00	44.95	-7.05

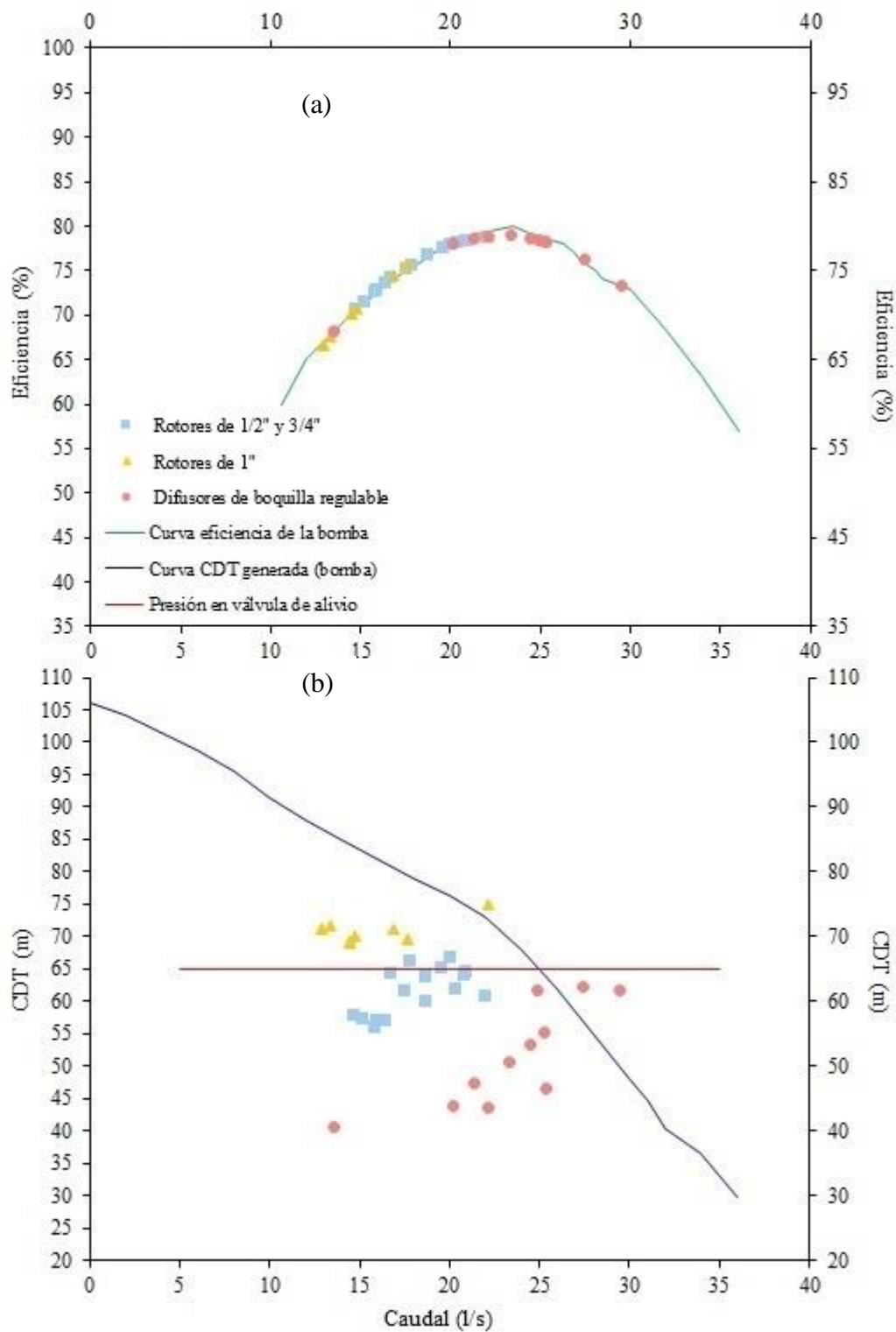


Figura 26: CDT requerida y eficiencia por turno para el «Escenario 1» vs curvas características de la bomba.

(a) Eficiencia por turno

(b) CDT requerida por turno

- Respecto a la presión, la diferencia generada entre la presión de llegada y presión consigna obtenidas para cada válvula, se denomina sobrepresión, ésta debe tener un valor mayor o igual a cero para cumplir con los requerimientos de presión en campo; en el Cuadro 19 esta condición se presenta en las válvulas conformadas por emisores de tipo rotor de ½” y ¾” en un 70 por ciento, mientras en las válvulas que manejan emisores de tipo difusor de boquilla regulable se presenta en un 80 por ciento; sin embargo, en todas las válvulas conformadas por emisores de tipo rotores de 1” se presenta déficit de presión en campo para los actuales parámetros de funcionamiento (presión y caudal). Se tiene que el 57 por ciento del total de las válvulas cumplen con los requerimientos de presión en campo.
- En la Figura 26 se presentan las curvas características de la bomba, la válvula de alivio que presenta una presión fija entre 60 m.c.a a 65 m.c.a y los puntos de operación del sistema, el conjunto de estos elementos muestra que las cargas dinámicas requeridas (CDT requerida) para los puntos de operación del sistema no son satisfechas para todos los turnos de riego, produciendo un déficit de presión en campo; esto ocurre para los turnos compuestos por rotores de 1”; mientras que para los turnos conformados por rotores de ½” y ¾” y turnos de difusores de boquilla regulable en su mayoría se observa sobrepresiones, lo que se verifica en el Cuadro 19.
- Respecto a los caudales, se tiene un promedio de 20 l/s para el «Escenario 1». Siendo, de 19 l/s, 16 l/s y 24 l/s en promedio para los turnos compuestos por rotores de ½” y ¾”, rotores de 1” y difusores de boquilla regulable respectivamente. Sin embargo, como se muestra en la Figura 26 estos varían debido a los diferentes tipos de emisores y boquillas instaladas en campo, para aproximar los caudales por turno hacia la curva característica de la bomba es factible realizar una nueva agrupación de válvulas, proponiendo presiones de trabajo menores para el caso de los emisores que lo requieran.
- Respecto a la eficiencia de la bomba, esta se encuentra entre 65 por ciento y 80 por ciento, la eficiencia de los diferentes turnos sobre la curva de eficiencia de la bomba nos muestra puntos dispersos que al aproximarse al punto de operación de la bomba generarían mayor uniformidad

*Los parámetros de operación actual del sistema, se presentan a detalle en el Anexo17.

4.4. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA

Al llevar a cabo la simulación para el «Escenario 2» y «Escenario 3» se consideró la presión en la válvula de alivio igual a 60 m.c.a y la pérdida de carga en el cabezal igual a 7 metros; mientras el coeficiente de Hazen-Williams empleado fue igual a 150.

Se muestra el análisis hidráulico para los escenarios, que profundizó el estudio a nivel de cada turno, con el objetivo de determinar las sobrepresiones que ocurren en el sistema.

4.4.1. Análisis hidráulico para «Escenario 2» -propuesto

En este escenario se planteó una agrupación de 3 válvulas por cada turno de riego, para el cual se propone adicionalmente presiones de trabajo de 35 metros, 40 metros y 21 metros para rotores de ½” y 3/4”, rotores de 1” y difusores de boquilla regulable respectivamente, con el fin de mejorar los resultados obtenidos en el «Escenario 1» y cumplir con los requerimientos de presión.

Cuadro 20: Comparación entre presión de consigna y presión de llegada para los turnos del «Escenario 2»

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	Presión Consigna	P. de llegada a c/válvula	Sobre-presión
		m	m	m
I	V1	41.00	40.69	-0.31
	V2	41.00	40.64	-0.36
	V3	41.00	41.84	0.84
II	V4	41.00	48.58	7.58
	V5	41.00	48.59	7.59
	V6	41.00	49.45	8.45
III	V7	41.00	42.51	1.51
	V8	41.00	42.51	1.51
	V9	41.00	42.61	1.61
IV	V14	41.00	42.90	1.90
	V15	41.00	43.16	2.16
	V16	41.00	43.12	2.12
V	V10	41.00	40.38	-0.62
	V12	41.00	40.74	-0.26
	V13	41.00	42.17	1.17
VI	V17	41.00	47.23	6.23
	V18	41.00	46.86	5.86
	V27	41.00	47.24	6.24

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	Presión Consigna	P. de llegada a c/válvula	Sobre-presión
		m	m	m
VII	V21	41.00	45.36	-1.69
	V22	41.00	44.87	-2.19
	V23	41.00	47.34	0.39
VIII	V24	41.00	51.28	4.85
	V25	41.00	52.39	6.00
	V26	41.00	52.17	5.78
IX	V28	41.00	53.57	7.27
	V29	41.00	50.03	3.38
	V30	41.00	50.06	3.42
X	V31	41.00	48.68	1.84
	V32	41.00	48.56	1.70
	V33	41.00	52.24	5.72
XI	V36	41.00	45.47	-1.64
	V37	41.00	45.41	-1.73
	V39	41.00	46.13	-1.03
XII	V40	41.00	55.73	9.49
	V41	41.00	52.48	5.93
	V42	41.00	52.59	6.09

Continuación

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	Presión Consigna	P. de llegada a c/válvula	Sobre-presión
		m	m	m
XIII	V35	41.00	43.76	2.76
	V43	41.00	41.73	0.73
	V44	41.00	43.95	2.95

XIV	V47	41.00	45.94	4.94
	V48	41.00	44.26	3.26
	V49	41.00	47.80	6.80

XV	V45	41.00	49.01	8.01
	V46	41.00	48.67	7.67

XVI	V56	46.50	47.20	0.70
	V57	46.50	47.20	0.70
	V70	46.50	47.91	1.41

XVII	V65	46.50	42.78	-3.72
	V66	46.50	42.61	-3.89
	V67	46.50	42.55	-3.95

XVIII	V71	46.50	45.58	-0.92
	V72	46.50	45.71	-0.79
	V73	46.50	45.56	-0.94

XIX	V64	46.50	47.12	0.62
	V68	46.50	46.93	0.43

XX	V74	25.60	18.65	-6.95
	V80	25.60	19.33	-6.27
	V85	25.60	18.68	-6.92

XXI	V75	25.60	20.67	-4.93
	V76	25.60	19.84	-5.76
	V78	25.60	20.37	-5.23

XXII	V77	25.60	24.29	-1.31
	V79	25.60	23.26	-2.34
	V81	25.60	23.30	-2.30

XXIII	V83	25.60	44.51	18.91
	V82	25.60	43.99	18.39
	V84	25.60	43.72	18.12

XXIV	V86	25.60	31.62	6.02
	V87	25.60	31.05	5.45
	V88	25.60	31.75	6.15

XXV	V93	25.60	32.64	7.04
	V94	25.60	31.15	5.55
	V95	25.60	31.14	5.54

XXVI	V89	25.60	42.14	16.54
	V90	25.60	42.25	16.65
	V91	25.60	43.04	17.44

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	Presión Consigna	P. de llegada a c/válvula	Sobre-presión
		m	m	m
XXVII	V96	25.60	44.57	14.58
	V92	25.60	46.94	17.04
	V97	25.60	45.79	15.97

XXVIII	V98	25.60	50.53	20.97
	V99	25.60	49.40	19.77
	V105	25.60	50.77	21.31

XXIX	V100	25.60	51.34	22.00
	V101	25.60	50.62	21.22
	V104	25.60	49.98	20.53

XXX	V103	25.60	54.25	25.31
	V106	25.60	52.44	23.43

XXXI	V50	41.00	51.97	6.11
	V53	41.00	52.29	6.39
	V54	41.00	52.28	6.37

XXXII	V58	46.50	53.30	1.35
	V59	46.50	52.86	0.91
	V60	46.50	52.23	0.29

XXXIII	V61	46.50	51.02	-1.11
	V62	46.50	51.02	-1.11
	V63	46.50	51.01	-1.12

XXXIV	V51	46.50	50.66	-1.34
	V52	46.50	50.62	-1.38

XXXV	V113	46.50	52.34	0.27
	V114	46.50	51.87	-0.22
	V115	46.50	51.97	-0.08

XXXVI	V112	46.50	53.08	1.18
	V69	46.50	50.98	-1.03
	V116	46.50	50.87	-1.15

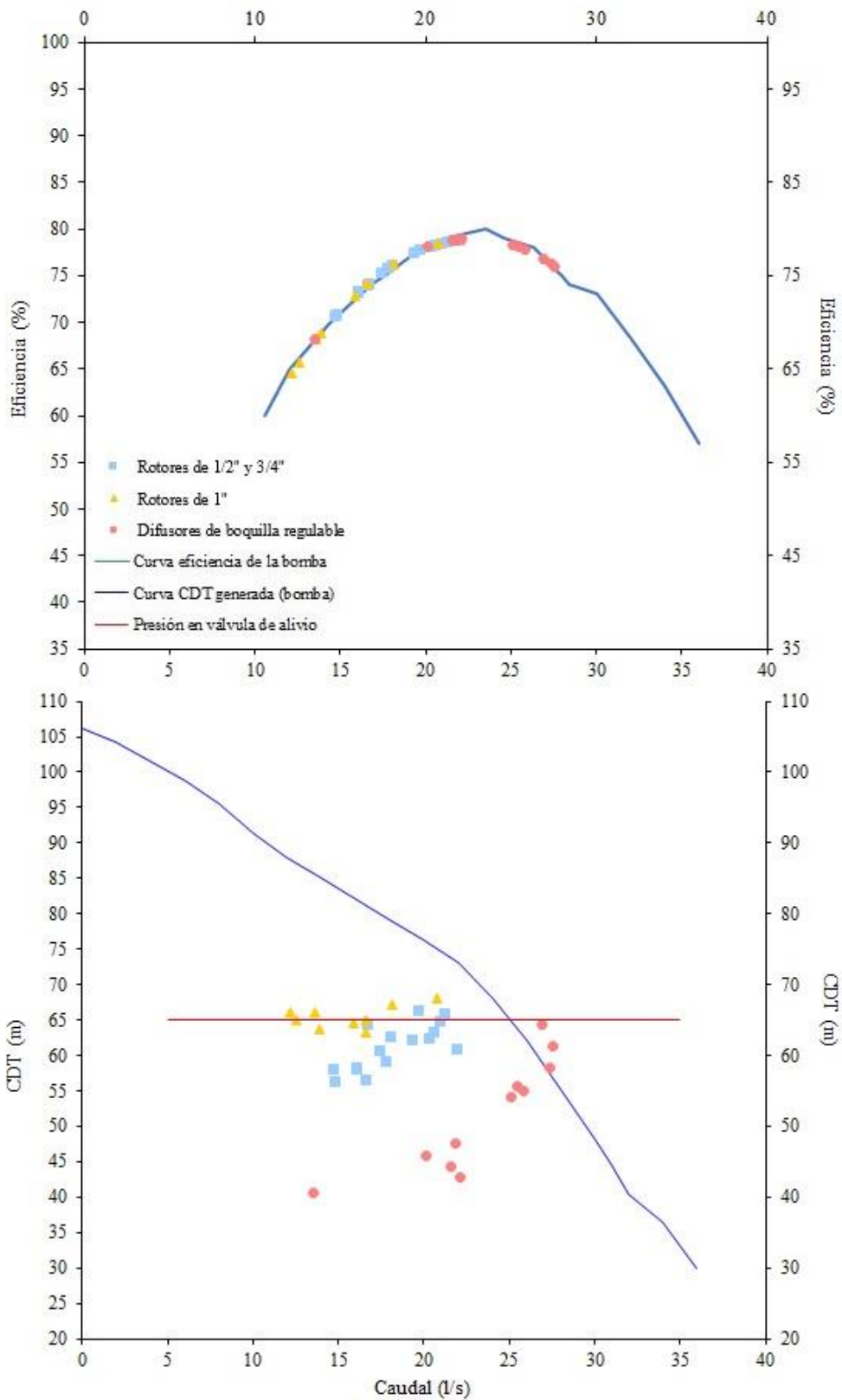


Figura 27: CDT (m) y eficiencia por turno para «Escenario 2» vs curvas características de la bomba.

(a) Eficiencia por turno

(b) CDT requerida por turno

- Respecto a la presión, en el Cuadro 20 se cumplen los requerimientos de presión en los turnos conformados por válvulas con emisores de tipo rotor de ½” y ¾” en un 81 por ciento, mientras en las válvulas que manejan emisores de tipo difusor de boquilla regulable se presenta en un 72 por ciento y en un 40 por ciento en las válvulas conformadas por emisores de tipo rotores de 1”.
- En la Figura 27, a diferencia del «Escenario 1» se observa que indistintamente del tipo de emisor que los turnos manejen, en su mayoría, es decir el 68 por ciento no presentan déficit de presión en campo, esto se debe a la disminución de la presión consigna en el caso de turnos conformados por rotores de 1”. Pero se mantienen altas sobrepresiones en algunos turnos conformados por difusores boquilla regulable, pues en este caso se mantuvo la presión consigna debido a los altos caudales que maneja este tipo de emisor.
- Respecto a los caudales, estos no presentan variación respecto al «Escenario 1», pues se tiene una agrupación de 3 válvulas al igual que el escenario actual. Se tiene un promedio de 20 l/s para el «Escenario 2». Siendo, de 19 l/s, 16 l/s y 24 l/s en promedio para los turnos compuestos por rotores de ½” y ¾”, rotores de 1” y difusores de boquilla regulable respectivamente.
- Respecto a la eficiencia de la bomba, esta se mantiene entre 65 por ciento y 80 por ciento mostrándose similar a la representación del «Escenario 1».

*Los parámetros de operación para el «Escenario 2», se presentan a detalle en el Anexo

17

4.4.2. Análisis hidráulico para el «Escenario 3» Propuesto

En este escenario se planteó una agrupación de 4 válvulas para turnos conformados por rotores de ½” y ¾” con una presión de trabajo de 30 metros, y una agrupación de 3 a 4 válvulas por cada turno conformado por rotores de 1” y difusores de boquilla regulable con una presión de trabajo de 38 a 40 metros y de 18 a 21 metros respectivamente.

Cuadro 21: Comparación entre presión de consigna y presión de llegada para los turnos del «Escenario 3»

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	Presión Consigna	P. de llegada a c/válvula	Sobre-presión
		m	m	m
I	V1	35.50	38.25	2.75
	V2	35.50	38.21	2.71
	V3	35.50	39.15	3.65
	V4	35.50	40.13	4.63
II	V5	35.50	48.83	13.33
	V6	35.50	42.32	6.82
	V7	35.50	42.50	7.00
	V9	35.50	42.56	7.06
III	V8	35.50	39.47	3.97
	V14	35.50	38.83	3.33
	V15	35.50	38.80	3.30
	V16	35.50	39.22	3.72
IV	V10	35.50	40.34	4.84
	V12	35.50	40.68	5.18
	V17	35.50	41.66	6.16
	V18	35.50	42.10	6.60
V	V13	35.50	39.54	4.04
	V21	35.50	37.10	1.60
	V22	35.50	36.65	1.15
	V23	35.50	38.82	3.32
VI	V24	35.50	43.99	8.49
	V25	35.50	44.94	9.44
	V26	35.50	44.80	9.30
	V27	35.50	45.74	10.24
VII	V28	35.50	46.24	10.74
	V29	35.50	39.49	3.99
	V30	35.50	39.51	4.01
	V32	35.50	40.66	5.16
VIII	V31	35.50	44.92	9.42
	V33	35.50	41.26	5.76
	V41	35.50	41.45	5.95
	V42	35.50	41.49	5.99
IX	V36	35.50	39.20	3.70
	V37	35.50	39.02	3.52
	V39	35.50	39.58	4.08
	V40	35.50	39.99	4.49
X	V35	35.50	41.37	5.87
	V44	35.50	40.92	5.42
	V45	35.50	41.43	5.93
	V46	35.50	41.62	6.12
XI	V43	35.50	43.38	7.88
	V47	35.50	42.11	6.61
	V48	35.50	40.96	5.46
	V49	35.50	43.15	7.65
XII	V56	46.50	47.20	0.70
	V57	46.5	47.20	0.70
	V70	46.5	47.91	1.41
XIII	V65	46.5	42.78	-3.72
	V66	46.5	42.61	-3.89
	V67	46.5	42.55	-3.95
XIV	V71	46.5	45.58	-0.92
	V72	46.5	45.71	-0.79
	V73	46.5	45.56	-0.94
XV	V64	46.5	47.12	0.62
	V68	46.5	46.93	0.43
XVI	V74	22.3	30.32	8.02
	V80	22.3	30.82	8.52
	V85	22.3	30.32	8.02
XVII	V75	22.3	30.25	7.95
	V76	22.3	29.44	7.14
	V78	22.3	29.77	7.47
XVIII	V77	25.6	24.28	-1.32
	V79	25.6	23.26	-2.34
	V81	25.6	23.30	-2.30
XIX	V86	25.6	31.62	6.02
	V87	25.6	31.05	5.45
	V88	25.6	31.75	6.15
XX	V93	25.6	32.64	7.04
	V94	25.6	31.15	5.55
	V95	25.6	31.14	5.54
XXI	V89	25.6	42.14	16.54
	V90	25.6	42.25	16.65
	V91	25.6	43.04	17.44
XXII	V92	25.6	46.13	20.53
	V97	25.6	45.59	19.99
	V98	25.6	44.85	19.25

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	Presión Consigna	P. de llegada a c/válvula	Sobre-presión
		m	m	m
XXIII	V99	25.6	46.04	20.44
	V100	25.6	47.22	21.62
	V105	25.6	47.01	21.41

XXIV	V83	25.6	23.38	-2.22
	V82	25.6	23.40	-2.20
	V84	25.6	23.14	-2.46
	V96	25.6	22.48	-3.12

XXV	V101	25.6	34.74	9.14
	V103	25.6	35.26	9.66
	V104	25.6	34.06	8.46
	V106	25.6	35.20	9.60

XXVI	V51	46.5	45.08	-1.42
	V52	46.5	45.03	-1.47
	V58	46.5	47.85	1.35
	V59	46.5	47.41	0.91

XXVII	V60	46.5	46.70	0.20
	V61	46.5	45.28	-1.22
	V62	46.5	45.29	-1.21
	V63	46.5	45.27	-1.23

XXVIII	V113	46.5	46.77	0.27
	V114	46.5	46.28	-0.22
	V115	46.5	46.42	-0.08

XXIX	V112	46.50	47.68	1.18
	V69	46.5	45.47	-1.03
	V116	46.5	45.35	-1.15

XXX	V50	41	47.11	6.11
	V53	41	47.39	6.39
	V54	41	47.37	6.37

XXXI	107	41	48.96	7.96
	108	41	48.97	7.97

XXXII	109	41	47.39	6.39
	110	41	46.59	5.59
	111	41	46.53	5.53

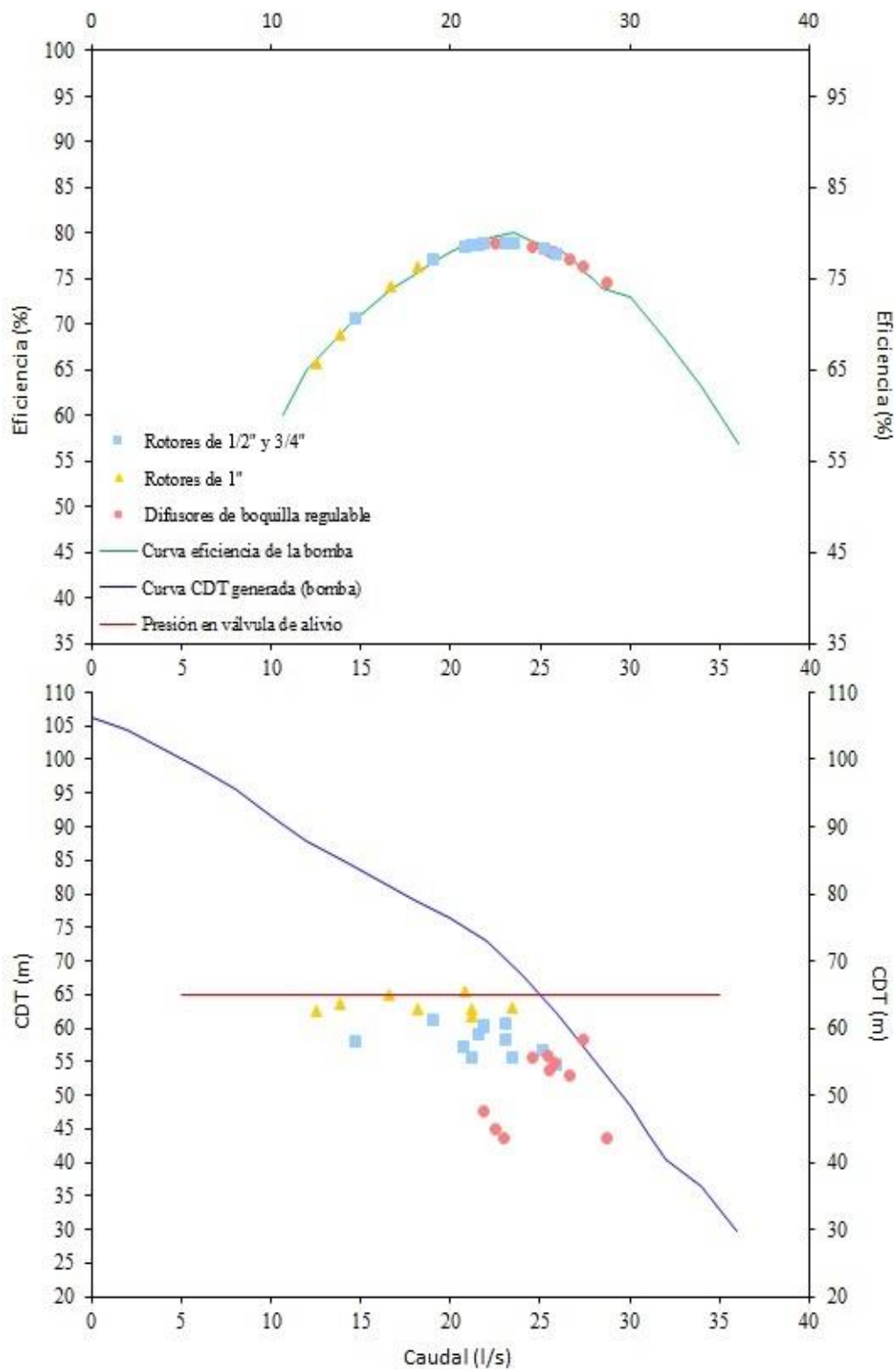


Figura 28: CDT (m) y eficiencia por turno para «Escenario 3» vs curvas características de la bomba.

(a) Eficiencia por turno

(b) CDT requerida por turno

- Respecto a la presión, en el Cuadro 21 se cumplen los requerimientos de presión en las válvulas conformadas por emisores de tipo rotor de ½” y ¾” en un 100 por ciento, mientras en las válvulas que manejan emisores de tipo difusor de boquilla regulable se presenta en un 78 por ciento y en un 88 por ciento en las válvulas conformadas por emisores de tipo rotores de 1”, esto debido a una reagrupación de válvulas y asignación de presiones de trabajo menores.
- En la Figura 28 en comparación con los escenarios anteriores, se tiene una menor carga dinámica total generada (CDT generada) por la bomba, debido al mayor caudal requerido por los turnos con agrupación de 4 válvulas. Por otro lado la carga dinámica total requerida (CDT requerida) para los puntos de operación del sistema, será menor pues se asignaron presiones de trabajo (presión en sector de riego) menores, para lograr satisfacer la presión en campo, como resultado reducen las sobrepresiones.
- Respecto a los caudales, se obtuvo mayor uniformidad acercándose a la curva característica de la bomba, con un promedio de 22 l/s para el «Escenario 3», siendo 22 l/s, 19 l/s y 25 l/s en promedio para los turnos compuestos por rotores de ½” y ¾”, rotores de 1” y difusores de boquilla regulable respectivamente.
- Respecto a la eficiencia de la bomba, esta se encuentra entre 72 por ciento y 80 por ciento, se obtuvo una mayor eficiencia que en los escenarios anteriores debido a que los puntos de operación del sistema se aproximan al punto de operación de la bomba (23l/s y 70m).

*Los parámetros de operación para el «Escenario 3», se presentan a detalle en el Anexo 18

4.5. PROCESO DE CALIBRACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL COEFICIENTE “C” DE HAZEN Y WILLIAMS

Los cuadros presentados a continuación, muestran la diferencia entre la presión medida en red y la simulada, se considera: $H_{medida_i} = H_{simulada_i}$, teniéndose como resultado:

$$\Delta H = H_{medida_i} - H_{simulada_i}$$

Posterior a la obtención de ΔH se muestra los resultados obtenidos mediante el cálculo del RMSE (root mean square error), calculado de las diferencias entre la presión medida en red y la presión simulada, este cálculo se realizó empleando los resultados obtenidos con los distintos valores de coeficiente de Hazen-Williams (150, 145, 140, 135). Por lo tanto, se obtendrá cuatro valores de RMSE para cada escenario. Se selecciona el valor de coeficiente de Hazen-Williams del cual se obtiene valor de RSME más cercano a cero.

4.5.1. Calibración «Escenario 1»

En los siguientes resultados se observan los diferentes valores de ΔH obtenidos con los valores de «C» igual a 150, 145, 140 y 135; obteniéndose mejores resultados con la disminución del coeficiente «C».

Cuadro 22: Comparación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 1» según los diferentes valores de «C»

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)											DATOS CALIBRACIÓN HIDRÁULICA "ESCENARIO 1"				
TURNOS	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO	DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN					DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA Y LA PRESIÓN SIMULADA				Error			
		PRESIÓN MEDIDA (antes de la válvula) m.c.a	PRESIÓN SIMULADA (antes de la válvula)												
			C=150	C=145	C=140	C=135	C=150	C=145	C=140	C=135	C=150	C=145	C=140	C=135	
			m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	
		Hmedida	Hsimulada					$\Delta H = H_{medida} - H_{simulada}$				$\Delta H/H_{medida}$			
CONTROLADOR MONOCABLE											CONTROLADOR MONOCABLE				
Rotores de 1/2" y 3/4"											Rotores de 1/2" y 3/4"				
Turno 1	V1	39.90	43.05	41.57	39.94	38.13	3.15	1.67	0.04	-1.77	8%	4%	0%	-4%	
	V2	40.17	43.00	41.51	39.87	38.07	2.83	1.34	-0.30	-2.10	7%	3%	-1%	-5%	
	V3	41.13	44.66	43.30	41.79	40.12	3.53	2.17	0.66	-1.01	9%	5%	2%	-2%	
Turno 2	V4	47.69	52.89	52.31	51.66	50.94	5.20	4.62	3.97	3.25	11%	10%	8%	7%	
	V5	47.69	52.89	52.31	51.66	50.94	5.20	4.62	3.97	3.25	11%	10%	8%	7%	
	V41	50.20	53.30	52.81	52.27	51.67	3.10	2.62	2.08	1.47	6%	5%	4%	3%	
Turno 3	V6	42.42	47.41	46.33	45.15	43.84	4.99	3.91	2.73	1.42	12%	9%	6%	3%	
	V7	42.11	47.74	46.73	45.59	44.35	5.63	4.62	3.48	2.24	13%	11%	8%	5%	
	V9	42.26	47.83	46.81	45.69	44.46	5.57	4.55	3.43	2.20	13%	11%	8%	5%	

Continuación

TURNOS	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO		DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN				DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA Y LA PRESIÓN SIMULADA			
		PRESIÓN MEDIDA (antes de la válvula)	m.c.a	PRESIÓN SIMULADA (antes de la válvula)				C=150	C=145	C=140	C=135
				C=150	C=145	C=140	C=135				
				m	m	m	m				
Hmedida	Hsimulada				$\Delta H = Hsimulada - Hmedida$						
CONTROLADOR MONOCABLE											
Rotores de 1/2" y 3/4"											
Turno 6	V16	47.00	51.72	51.19	50.58	49.92	4.72	4.18	3.58	2.92	
	V17	47.80	51.74	51.20	50.59	49.93	3.94	3.40	2.79	2.13	
	V18	46.99	51.63	51.10	50.51	49.88	4.64	4.11	3.53	2.89	
Turno 7	V21	40.31	44.44	43.47	42.41	41.22	4.13	3.16	2.10	0.91	
	V22	38.62	43.89	42.91	41.83	40.64	5.27	4.29	3.21	2.01	
	V23	41.74	46.72	45.83	44.85	43.76	4.98	4.09	3.11	2.02	
Turno 9	V25	44.18	48.54	47.95	47.30	46.57	4.36	3.76	3.12	2.39	
	V27	44.59	48.94	48.30	47.60	46.80	4.35	3.71	3.01	2.22	
	V28	45.13	48.39	47.76	47.08	46.32	3.26	2.63	1.95	1.19	
Turno 10	V26	43.06	47.10	46.52	45.89	45.19	4.04	3.47	2.83	2.13	
	V33	41.60	45.40	44.62	43.76	42.81	3.80	3.02	2.17	1.21	
	V42	42.32	45.75	44.98	44.14	43.20	3.44	2.67	1.82	0.89	
Turno 11	V29	41.11	43.48	42.34	41.09	39.69	2.38	1.23	-0.02	-1.42	
	V31	42.72	44.79	43.70	42.49	41.15	2.07	0.98	-0.23	-1.57	
	V35	41.50	43.67	42.54	41.31	39.93	2.17	1.04	-0.19	-1.57	
Turno 12	V30	40.09	44.21	43.19	42.05	40.79	4.12	3.10	1.97	0.70	
	V32	41.52	44.96	43.94	42.80	41.55	3.44	2.42	1.29	0.03	
	V36	42.55	45.29	44.32	43.25	42.08	2.74	1.77	0.70	-0.48	
Turno 13	V37	46.29	49.33	48.52	47.61	46.61	3.04	2.22	1.32	0.32	
	V39	45.97	49.80	48.94	48.01	46.96	3.83	2.97	2.04	0.99	
	V40	45.95	50.25	49.40	48.45	47.40	4.30	3.44	2.50	1.45	
Turno 14	V43	40.58	44.97	44.35	43.65	42.88	4.40	3.77	3.08	2.31	
	V44	42.87	47.00	46.42	45.80	45.10	4.13	3.56	2.93	2.24	
	V45	43.35	47.87	47.36	46.79	46.16	4.52	4.01	3.44	2.81	
Turno 15	V47	44.75	47.58	47.35	47.09	46.80	2.83	2.60	2.34	2.05	
	V48	42.50	45.82	45.44	45.01	44.53	3.32	2.93	2.51	2.03	
	V49	45.79	49.68	49.53	49.36	49.18	3.89	3.73	3.57	3.38	
Rotores de 1"											
Turno 17	V64	47.25	50.81	50.48	50.10	49.70	3.56	3.23	2.85	2.44	
	V68	47.25	50.51	50.16	49.77	49.34	3.26	2.91	2.52	2.09	
Turno 18	V65	48.65	51.61	50.97	50.27	49.49	2.96	2.32	1.62	0.84	
	V66	48.65	51.39	50.74	50.01	49.22	2.74	2.09	1.36	0.57	
	V67	49.72	51.32	50.66	49.95	49.15	1.61	0.95	0.23	-0.57	
Turno 19	V71	48.36	49.89	49.38	48.82	48.19	1.52	1.02	0.46	-0.17	
	V72	47.75	49.92	49.38	48.80	48.15	2.17	1.63	1.04	0.40	
	V73	47.75	49.75	49.22	48.63	47.97	2.00	1.46	0.88	0.22	

Error			
C=150	C=145	C=140	C=135
%	%	%	%
$\Delta H/Hmedida$			
CONTROLADOR MONOCABLE			
Rotores de 1/2" y 3/4"			
10%	9%	8%	6%
8%	7%	6%	4%
10%	9%	8%	6%
10%	8%	5%	2%
14%	11%	8%	5%
12%	10%	7%	5%
10%	9%	7%	5%
10%	8%	7%	5%
7%	6%	4%	3%
9%	8%	7%	5%
9%	7%	5%	3%
8%	6%	4%	2%
6%	3%	0%	-3%
5%	2%	-1%	-4%
5%	3%	0%	-4%
10%	8%	5%	2%
8%	6%	3%	0%
6%	4%	2%	-1%
7%	5%	3%	1%
8%	6%	4%	2%
9%	7%	5%	3%
11%	9%	8%	6%
10%	8%	7%	5%
10%	9%	8%	6%
6%	6%	5%	5%
8%	7%	6%	5%
8%	8%	8%	7%
9%	7%	5%	3%
Rotores de 1"			
8%	7%	6%	5%
7%	6%	5%	4%
6%	5%	3%	2%
6%	4%	3%	1%
3%	2%	0%	-1%
3%	2%	1%	0%
5%	3%	2%	1%
4%	3%	2%	0%

Continuación

TURNOS	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO					DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN				DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA Y LA PRESIÓN SIMULADA			
		PRESIÓN MEDIDA (antes de la válvula)	PRESIÓN SIMULADA (antes de la válvula)				C=150	C=145	C=140	C=135	C=150	C=145	C=140	C=135
			m.c.a	m.c.a	m.c.a	m.c.a								
			Hmedida	Hsimulada										
CONTROLADOR MONOCABLE														
Difusores de boquilla regulable														
Turno 20	V74	20.71	27.90	25.77	23.41	20.82	7.19	5.06	2.70	0.11				
	V75	20.15	27.96	25.83	23.49	20.89	7.81	5.69	3.34	0.75				
	V85	20.63	28.49	26.42	24.12	21.58	7.86	5.78	3.48	0.94				
Turno 21	V76	17.79	23.53	21.94	20.18	18.24	5.74	4.15	2.39	0.45				
	V77	18.49	23.58	21.98	20.23	18.30	5.08	3.49	1.74	-0.20				
	V80	19.76	24.11	22.50	20.73	18.76	4.34	2.73	0.96	-1.01				
Turno 23	V82	44.39	45.63	44.86	44.01	43.07	1.24	0.47	-0.37	-1.32				
	V83	42.98	46.16	45.39	44.53	43.58	3.18	2.41	1.55	0.61				
	V84	42.90	45.28	44.50	43.65	42.69	2.37	1.59	0.75	-0.21				
Turno 26	V92	41.78	43.43	42.42	41.32	40.09	1.65	0.64	-0.46	-1.70				
	V98	41.01	43.57	42.71	41.75	40.68	2.57	1.70	0.74	-0.32				
	V99	38.41	39.92	38.84	37.66	36.35	1.51	0.43	-0.76	-2.06				
Turno 27	V94	31.70	37.96	36.57	35.03	33.31	6.27	4.87	3.33	1.61				
	V95	30.94	37.95	36.56	35.02	33.30	7.01	5.62	4.08	2.36				
	V90	32.62	39.54	38.26	36.84	35.28	6.91	5.64	4.22	2.66				
Turno 28	V96	30.28	36.52	35.70	34.77	33.76	6.24	5.42	4.49	3.48				
	V97	32.53	38.03	37.33	36.56	35.71	5.50	4.81	4.04	3.18				
	V105	32.75	38.36	37.71	37.00	36.22	5.60	4.95	4.25	3.47				
Turno 29	V100	41.43	42.74	42.25	41.70	41.09	1.31	0.81	0.26	-0.34				
	V101	40.12	41.59	41.02	40.38	39.69	1.47	0.89	0.26	-0.44				
	V104	39.73	40.66	40.05	39.37	38.62	0.93	0.32	-0.37	-1.11				
Turno 30	V103	51.69	55.47	55.35	55.21	55.07	3.78	3.66	3.52	3.38				
	V106	49.80	52.88	52.67	52.43	52.15	3.08	2.87	2.63	2.35				
CONTROLADOR CONVENCIONAL														
Turno 33	V58	56.59	58.32	58.23	58.15	58.06	1.73	1.64	1.56	1.46				
	V59	57.02	57.85	57.77	57.69	57.60	0.82	0.75	0.67	0.58				
	V60	55.99	57.64	57.57	57.49	57.41	1.65	1.58	1.51	1.42				
Turno 34	V61	55.92	56.16	55.94	55.70	55.44	0.24	0.02	-0.22	-0.48				
	V62	55.92	56.17	55.95	55.71	55.45	0.25	0.03	-0.21	-0.47				
	V63	55.92	56.15	55.93	55.70	55.43	0.23	0.01	-0.22	-0.50				

Error			
C=150	C=145	C=140	C=135
%	%	%	%
$\Delta H/Hmedida$			
CONTROLADOR MONOCABLE			
Difusores de boquilla regulable			
35%	24%	13%	1%
39%	28%	17%	4%
38%	28%	17%	5%
32%	23%	13%	3%
27%	19%	9%	-1%
22%	14%	5%	-5%
3%	1%	-1%	-3%
7%	6%	4%	1%
6%	4%	2%	0%
4%	2%	-1%	-4%
6%	4%	2%	-1%
4%	1%	-2%	-5%
20%	15%	11%	5%
23%	18%	13%	8%
21%	17%	13%	8%
21%	18%	15%	11%
17%	15%	12%	10%
17%	15%	13%	11%
3%	2%	1%	-1%
4%	2%	1%	-1%
2%	1%	-1%	-3%
7%	7%	7%	7%
6%	6%	5%	5%
CONTROLADOR CONVENCIONAL			
3%	3%	3%	3%
1%	1%	1%	1%
3%	3%	3%	3%
0%	0%	0%	-1%
0%	0%	0%	-1%
0%	0%	0%	-1%

a. Determinación del RMSE

Con los resultados obtenidos para cada valor del coeficiente «C» se realizó el cálculo del RMSE, presentándose los resultados a continuación:

Cuadro 23: Valores de RMSE para «Escenario 1»

Valor de «C»	RMSE según tipo de emisor			RMSE
	Rotores de 1/2" y 3/4"	Rotores de 1"	Difusores de boquilla regulable	
135	1.99	1.11	1.87	1.81
140	2.56	1.37	2.67	2.42
145	3.29	1.71	3.77	3.22
150	4.03	2.06	4.87	4.04

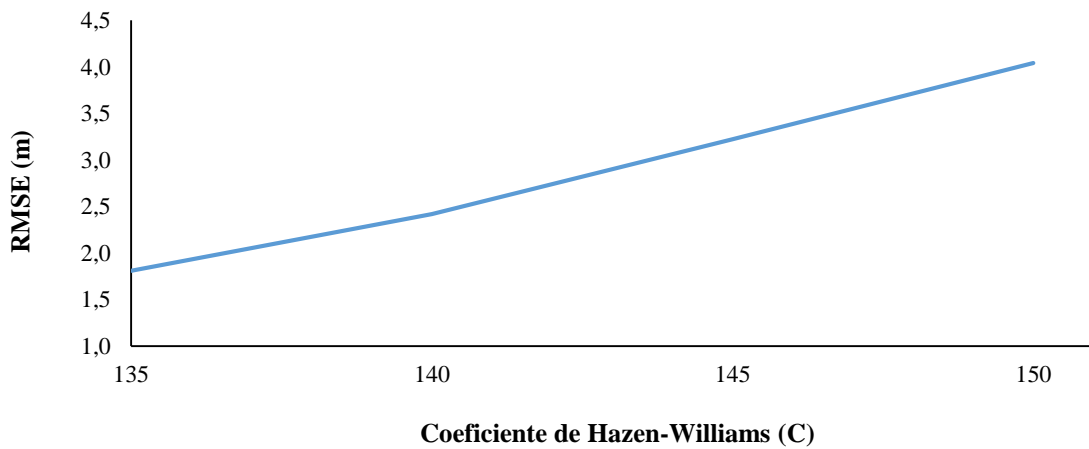


Figura 29: Representación gráfica de RMSE para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 1»

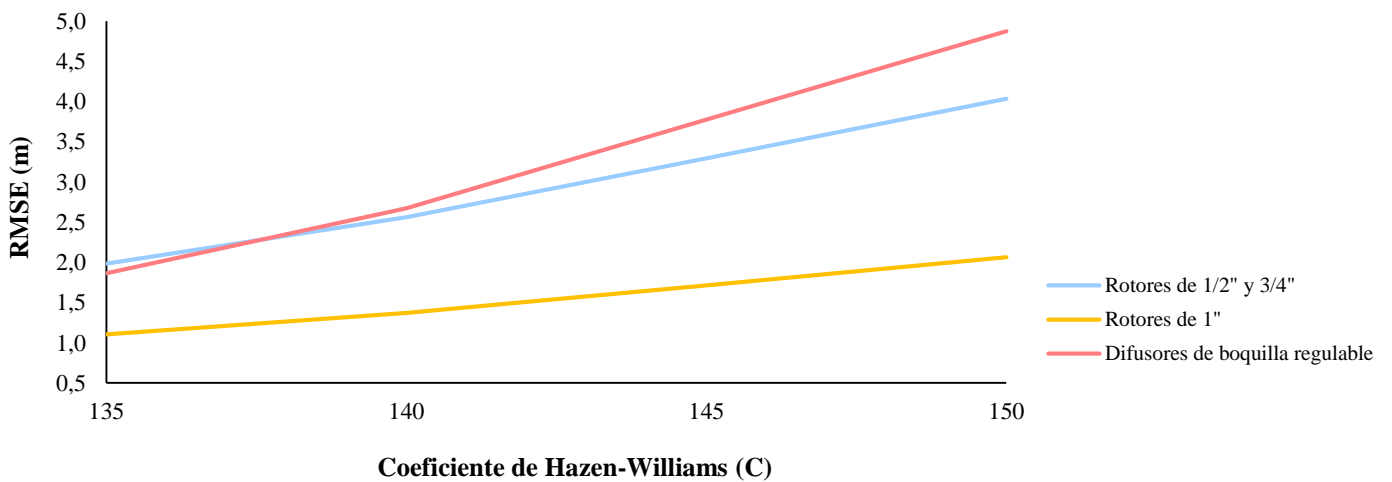


Figura 30: Representación gráfica de RMSE para el factor «C» por tipo de emisor - «Escenario 1»

b. Definición de los rangos para ΔH

Por otro lado, se realizó una comparación porcentual del total de los datos medidos a fin de determinar el rango de valores entre los que se encuentra ΔH ($H_{simulada} - H_{medida}$) para los diferentes valores asignados al factor «C».

Cuadro 24: Rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» – «Escenario 1»

Rango ΔH	% del total de datos medidos "Escenario 1"			
	Valor del factor "C" de Hazen-Williams			
	C=150	C=145	C=140	C=135
$0 \leq \Delta H \leq 2$	19.18%	32.88%	47.95%	60.27%
$2 < \Delta H \leq 4$	39.73%	41.10%	45.21%	39.73%
$4 < \Delta H$	41.10%	26.03%	6.85%	00.00%
Total	100%	100%	100%	100%

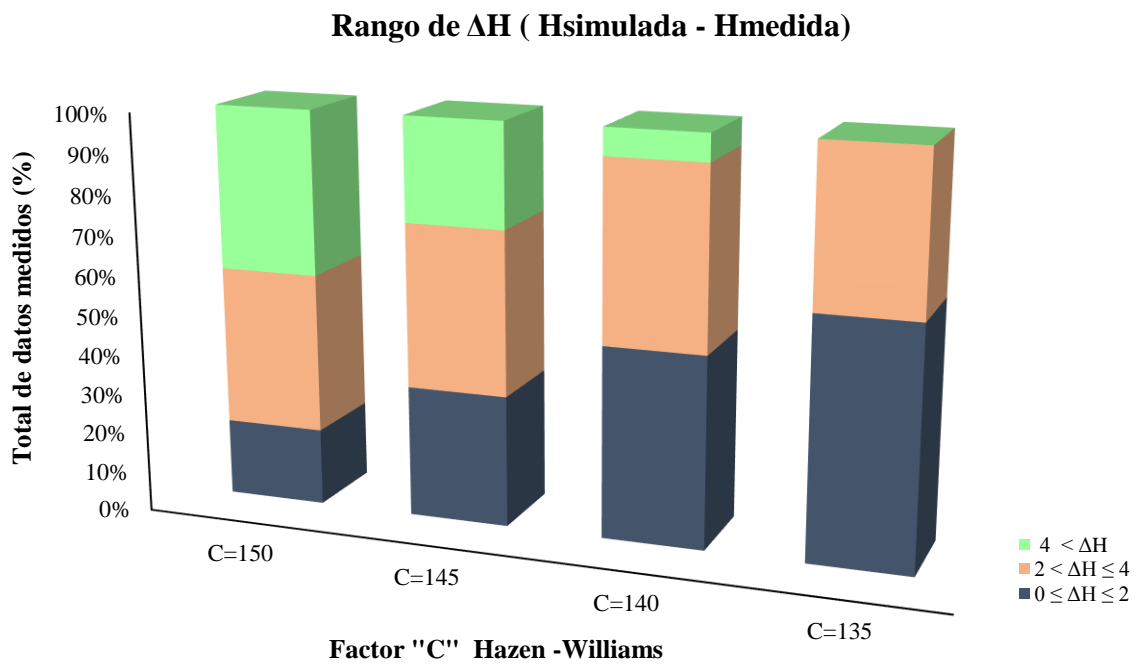


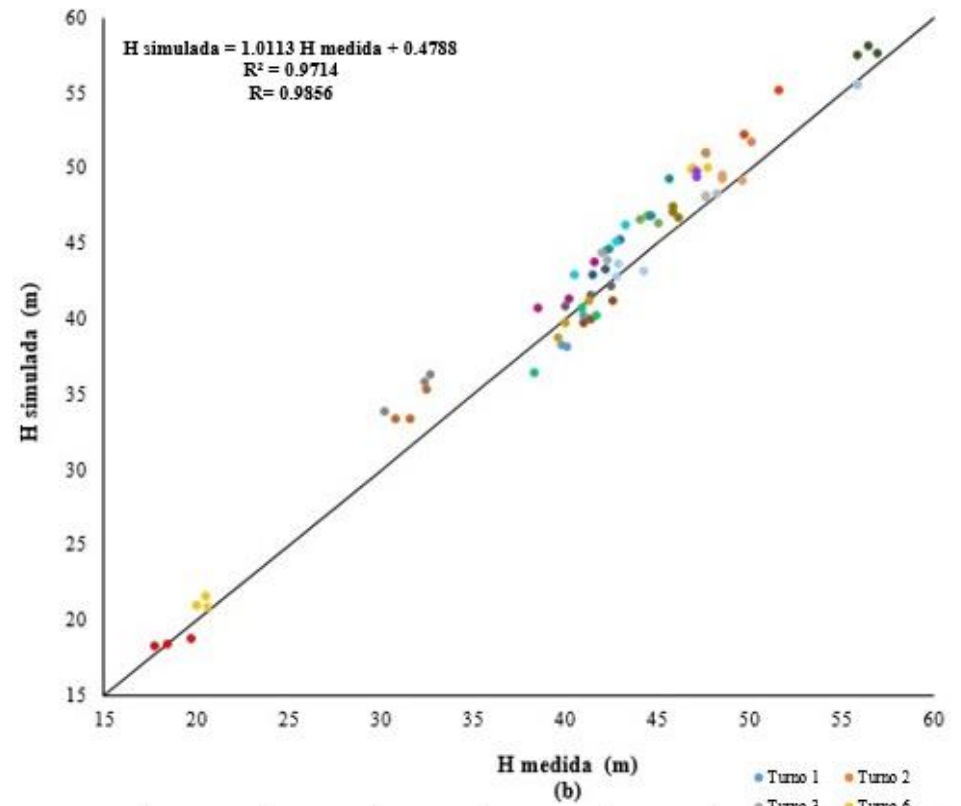
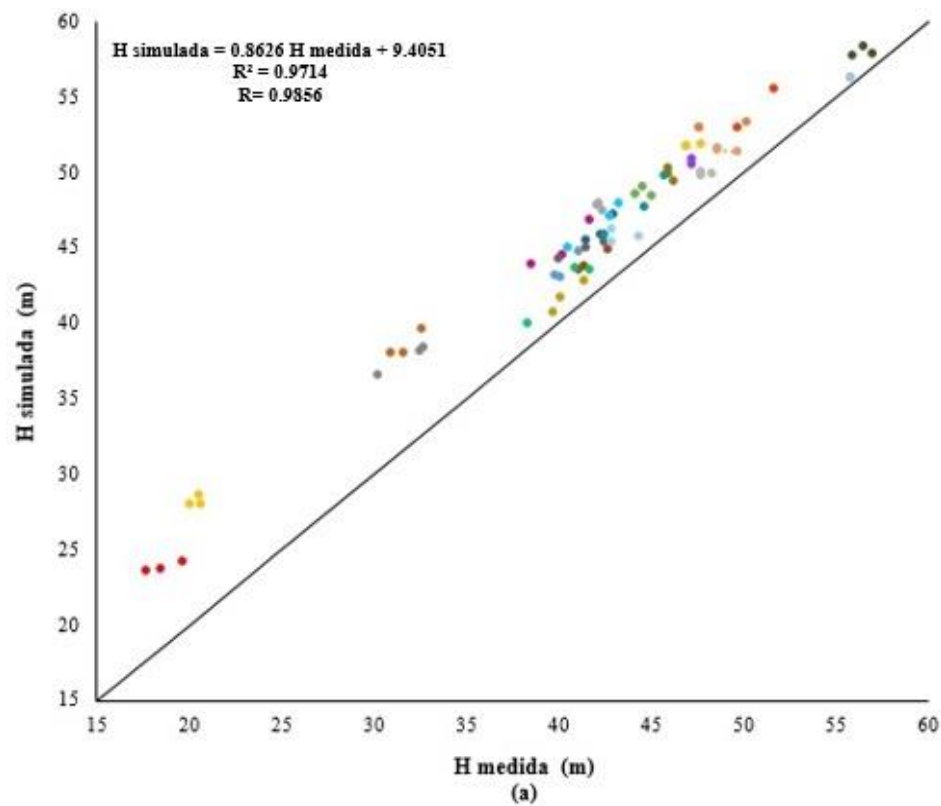
Figura 31: Representación gráfica rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 1»

Con los resultados obtenidos se seleccionó un valor de factor «C» igual a 135 para la obtención del «Escenario 1 calibrado» pues presenta un valor de RMSE de 1.81; mientras que las diferencias entre las cargas piezométricas calculadas a través de mediciones y simuladas son menores o iguales a 2 m.c.a en un 60.27 por ciento y menores a 4 m.c.a en un 100 por ciento de los nodos de medición.

c. Gráficas de correlación

En la Figura 32 se muestran las gráficas de correlación para el «Escenario 1» sin calibrar y calibrado; mediante el coeficiente de determinación « R^2 », se observa que entre $H_{simulada}$ y H_{medida} existe una buena correlación siendo R^2 igual a 0.97 para ambos casos; además, se observa que una pendiente cercana a la unidad en la ecuación de la recta representa al escenario calibrado, siendo 1.01 para el «Escenario 1 calibrado» y 0.86 para el «Escenario 1 sin calibrar».

Finalmente con los resultados obtenidos y reflejados en el Cuadro 22 y en la Figura 32, se evidencia que en el 75 por ciento de los nodos el error relativo en las presiones es menor del 5% y el porcentaje restante es menor al 10%.



- Turno 1
- Turno 2
- Turno 3
- Turno 6
- Turno 7
- Turno 9
- Turno 10
- Turno 11
- Turno 12
- Turno 13
- Turno 14
- Turno 15
- Turno 17
- Turno 18
- Turno 19
- Turno 20
- Turno 21
- Turno 23
- Turno 26
- Turno 27
- Turno 28
- Turno 29
- Turno 30
- Turno 33
- Turno 34

Figura 32: Correlación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 1»

(b) Factor «C» igual 150

(b) Factor «C» igual 135

4.5.2. Calibración «Escenario 2»

En los siguientes resultados se observan los diferentes valores de ΔH obtenidos con los valores de «C» igual a 150, 145, 140 y 135, presentándose mejores resultados con la disminución del coeficiente «C»

Cuadro 25: Comparación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 2» según los diferentes valores de «C»

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 2"											DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 2"				
TURNOS	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO		DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN				DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA Y LA PRESIÓN SIMULADA				Error			
		PRESIÓN MEDIDA (antes de la válvula)	m.c.a	PRESIÓN SIMULADA (antes de la válvula)				C=150	C=145	C=140	C=135				
				C=150	C=145	C=140	C=135					m	m	m	m
		Hmedida		Hsimulada				AH = Hred - Hsimulada				C=150 C=145 C=140 C=135			
		%		%		%		%		ΔH/Hmedida					
CONTROLADOR MONOCABLE											CONTROLADOR MONOCABLE				
Rotores de 1/2" y 3/4"											Rotores de 1/2" y 3/4"				
Turno 1	V1	39.90	43.05	41.57	39.94	38.13	3.15	1.67	0.04	-1.77	8%	4%	0%	-4%	
	V2	40.17	43.00	41.51	39.87	38.07	2.83	1.34	-0.30	-2.10	7%	3%	-1%	-5%	
	V3	41.13	44.66	43.30	41.79	40.12	3.53	2.17	0.66	-1.01	9%	5%	2%	-3%	
Turno 2	V4	45.62	48.80	47.87	46.86	45.74	3.18	2.25	1.24	0.12	7%	5%	3%	0%	
	V5	45.76	48.80	47.88	46.87	45.75	3.04	2.13	1.12	-0.01	7%	5%	2%	0%	
	V6	48.68	50.82	50.02	49.13	48.15	2.15	1.34	0.45	-0.53	4%	3%	1%	-1%	
Turno 7	V21	40.31	44.44	43.47	42.41	41.22	4.13	3.16	2.10	0.91	10%	8%	5%	2%	
	V22	41.01	43.89	42.91	41.83	40.64	2.88	1.90	0.82	-0.38	7%	5%	2%	-1%	
	V23	41.74	46.72	45.83	44.85	43.76	4.98	4.09	3.11	2.02	12%	10%	7%	5%	
Turno 17	V65	48.65	51.61	50.97	50.27	49.49	2.96	2.32	1.62	0.84	6%	5%	3%	2%	
	V66	48.65	51.39	50.74	50.01	49.22	2.74	2.09	1.36	0.57	6%	4%	3%	1%	
	V67	49.72	51.32	50.66	49.95	49.15	1.61	0.95	0.23	-0.57	3%	2%	0%	-1%	
Turno 18	V71	48.36	49.89	49.38	48.82	48.19	1.52	1.02	0.46	-0.17	3%	2%	1%	0%	
	V72	47.75	49.92	49.38	48.80	48.15	2.17	1.63	1.04	0.40	5%	3%	2%	1%	
	V73	47.75	49.75	49.22	48.63	47.97	2.00	1.46	0.88	0.22	4%	3%	2%	0%	
Turno 19	V64	47.25	50.79	50.46	50.08	49.68	3.54	3.21	2.83	2.42	7%	7%	6%	5%	
	V68	47.25	50.49	50.14	49.75	49.32	3.24	2.89	2.50	2.07	7%	6%	5%	4%	
Turno 23	V82	44.39	45.63	44.86	44.01	43.07	1.24	0.47	-0.37	-1.32	3%	1%	-1%	-3%	
	V83	42.98	46.16	45.39	44.53	43.58	3.18	2.41	1.55	0.61	7%	6%	4%	1%	
	V84	42.90	45.28	44.50	43.65	42.69	2.37	1.59	0.75	-0.21	6%	4%	2%	0%	
Turno 24	V86	23.60	29.17	27.51	25.66	23.62	5.56	3.90	2.06	0.02	24%	17%	9%	0%	
	V87	23.67	28.58	26.98	25.20	23.22	4.92	3.31	1.53	-0.45	21%	14%	6%	-2%	
	V88	23.69	29.38	27.81	26.09	24.17	5.68	4.12	2.39	0.48	24%	17%	10%	2%	
Turno 25	V93	30.55	35.57	34.05	32.37	30.52	5.02	3.50	1.82	-0.03	16%	11%	6%	0%	
	V94	29.70	33.97	32.41	30.67	28.76	4.28	2.71	0.98	-0.94	14%	9%	3%	-3%	
	V95	29.99	33.97	32.40	30.66	28.75	3.98	2.41	0.67	-1.24	13%	8%	2%	-4%	

Continuación

TURNOS	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO		DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN				DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA Y LA PRESIÓN SIMULADA				Error			
		PRESIÓN MEDIDA (antes de la válvula)	m.c.a	PRESIÓN SIMULADA (antes de la válvula)				C=150	C=145	C=140	C=135				
				C=150	C=145	C=140	C=135					m	m	m	m
		Hmedida	Hsimulada	ΔH = Hred - Hsimulada											
CONTROLADOR MONOCABLE															
Rotores de 1/2" y 3/4"															
Turno 26	V89	28.40	32.38	31.03	29.53	27.88	3.99	2.63	1.14	-0.51	14%	9%	4%	-2%	
	V90	28.55	32.55	31.21	29.72	28.08	4.00	2.66	1.17	-0.46	14%	9%	4%	-2%	
	V91	30.71	33.82	32.58	31.22	29.70	3.12	1.87	0.51	-1.01	10%	6%	2%	-3%	
Turno 29	V100	41.43	42.74	42.25	41.70	41.09	1.31	0.81	0.26	-0.34	3%	2%	1%	-1%	
	V101	40.12	41.59	41.02	40.38	39.69	1.47	0.89	0.26	-0.44	4%	2%	1%	-1%	
	V104	39.73	40.66	40.05	39.37	38.62	0.93	0.32	-0.37	-1.11	2%	1%	-1%	-3%	
Turno 30	V103	51.69	55.47	55.35	55.21	55.07	3.78	3.66	3.52	3.38	7%	7%	7%	7%	
	V106	49.80	52.88	52.67	52.43	52.15	3.08	2.87	2.63	2.35	6%	6%	5%	5%	
CONTROLADOR CONVENCIONAL															
Turno 32	V58	56.59	58.32	58.23	58.15	58.06	1.73	1.64	1.56	1.46	3%	3%	3%	3%	
	V59	57.02	57.85	57.77	57.69	57.60	0.82	0.75	0.67	0.58	1%	1%	1%	1%	
	V60	55.99	57.64	57.57	57.49	57.41	1.65	1.58	1.51	1.42	3%	3%	3%	3%	
Turno 33	V61	55.92	56.16	55.94	55.70	55.44	0.24	0.02	-0.22	-0.48	0%	0%	0%	-1%	
	V62	55.92	56.17	55.95	55.71	55.45	0.25	0.03	-0.21	-0.47	0%	0%	0%	-1%	
	V63	55.92	56.15	55.93	55.70	55.43	0.23	0.01	-0.22	-0.50	0%	0%	0%	-1%	

a. Determinación del RMSE

Con los resultados obtenidos para cada valor del coeficiente «C» se realizó el cálculo del RMSE, presentándose los resultados a continuación:

Cuadro 26: Valores de RMSE para «Escenario 2»

Valor de «C»	RMSE según tipo de emisor			RMSE
	Rotores de 1/2" y 3/4"	Rotores de 1"	Difusores de boquilla regulable	
135	1.24	1.10	1.21	1.18
140	1.42	1.37	1.58	1.47
145	2.38	1.71	2.63	2.29
150	3.41	2.06	3.71	3.15

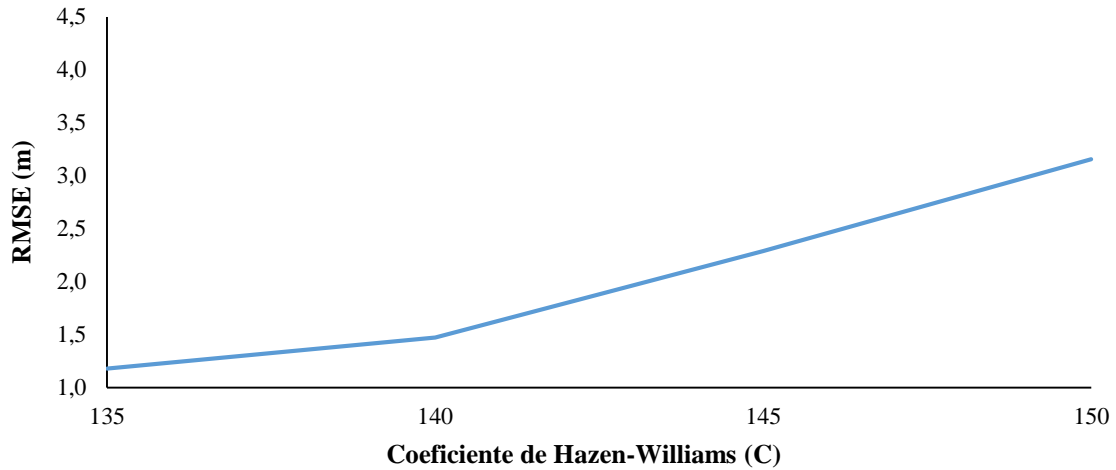


Figura 33: Representación gráfica de RMSE para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 2»

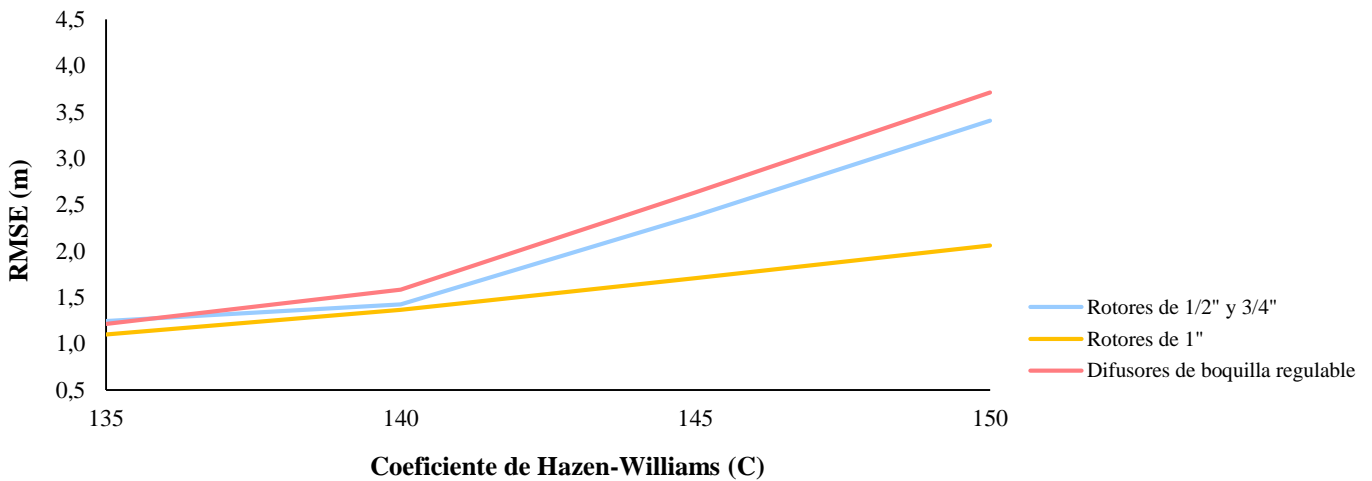


Figura 34: Representación gráfica de RMSE para el factor «C» por tipo de emisor – «Escenario 2»

b. Definición de los rangos para ΔH

Por otro lado, se realiza una comparación porcentual del total de los datos medidos a fin de determinar el rango de valores entre los que se encuentra ΔH ($H_{simulada} - H_{medida}$) para los diferentes valores asignados al factor «C».

Cuadro 27: Rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» – «Escenario 2»

Rango ΔH	% del total de datos calibrados "Escenario 2"			
	Valor del factor "C" de Hazen-Williams			
	C=150	C=145	C=140	C=135
$0 \leq \Delta H \leq 2$	30.00%	50.00%	80.00%	85.00%
$2 < \Delta H \leq 4$	50.00%	45.00%	20.00%	15.00%
$4 < \Delta H$	20.00%	5.00%	0.00%	0.00%
Total	100%	100%	100%	100%

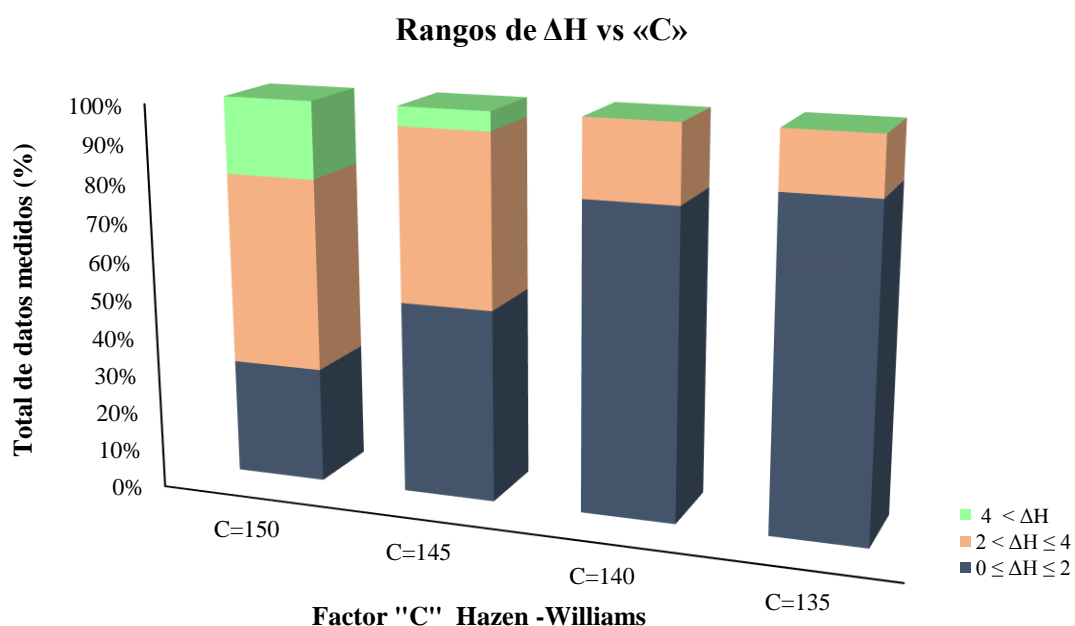


Figura 35: Representación gráfica rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 2»

Con los resultados obtenidos se seleccionó un valor de factor «C» igual a 135 para la obtención del «Escenario 2 calibrado» pues presenta un valor de RMSE de 1.18; mientras que las diferencias entre las cargas piezométricas calculadas a través de mediciones y simuladas son menores o iguales a 2 m.c.a en un 85 por ciento y menores a 4 m.c.a en un 100 por ciento de los nodos de medición.

c. Gráficas de correlación

En la Figura 36 se muestran las gráficas de correlación para el «Escenario 2» sin calibrar y calibrado; mediante el coeficiente de determinación « R^2 », se observa que entre H_{simulada} y H_{medida} existe una buena correlación siendo R^2 igual a 0.99 para ambos casos; además, al igual que el «Escenario 1», se observa que una pendiente cercana a la unidad en la ecuación de la recta representa al «Escenario 2 calibrado».

Finalmente con resultados obtenidos y reflejados en el Cuadro 25 y en la Figura 36, se evidencia que en el 95 por ciento de los nodos el error relativo en las presiones es menor del 5% y el porcentaje restante es menor al 10%.

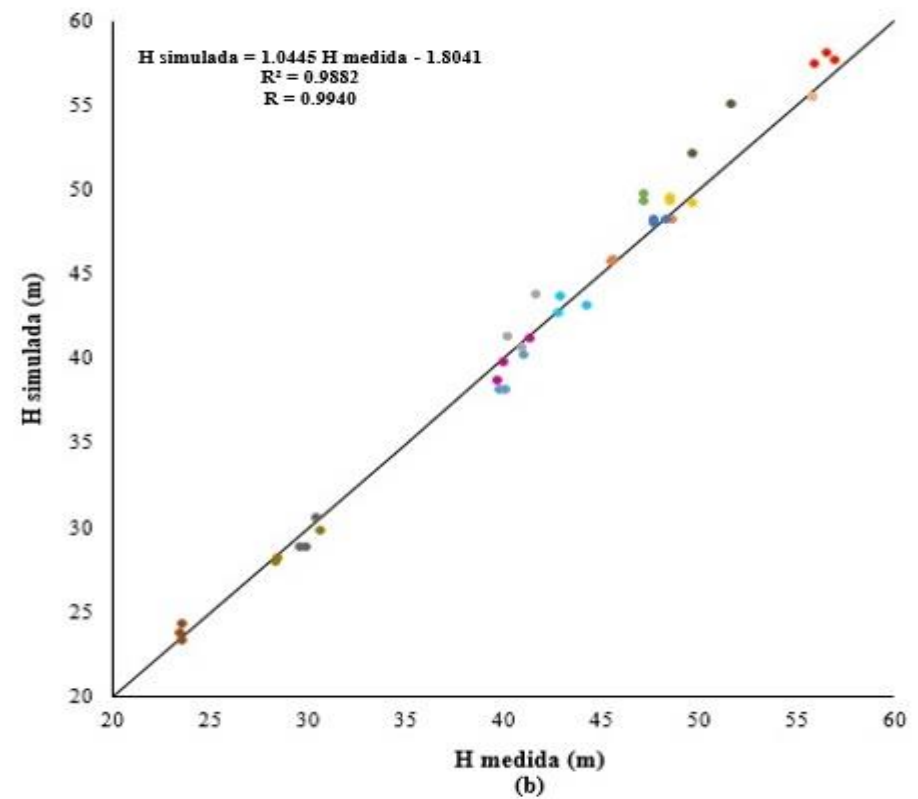
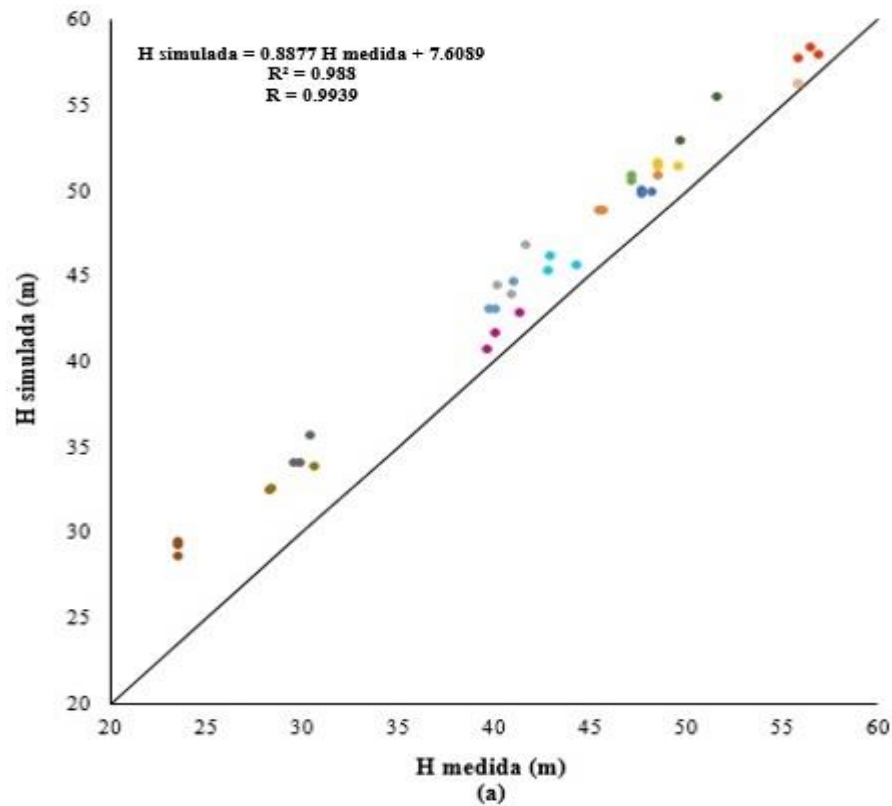


Figura 36: Correlación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 2»

(a) Factor «C» igual 150

(b) Factor «C» igual 135

- Turno 1
- Turno 2
- Turno 7
- Turno 18
- Turno 23
- Turno 25
- Turno 29
- Turno 32
- Turno 17
- Turno 19
- Turno 24
- Turno 26
- Turno 30
- Turno 33

4.5.3. Calibración «Escenario 3»

En los siguientes resultados se observan los diferentes valores de ΔH obtenidos con los valores de «C» igual a 150, 145, 140 y 135, se obtienen mejores resultados con la disminución del coeficiente «C», sin embargo, al emplear el valor de 135 la diferencia de presione representada por ΔH incrementa.

Cuadro 28: Comparación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 3» según los diferentes valores de «C»

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 3"										
TURNOS	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO	DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN				DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA EN RED Y LA PRESIÓN SIMULADA			
		PRESIÓN MEDIDA (antes de la válvula)	PRESIÓN SIMULADA (antes de la válvula)				C=150	C=145	C=140	C=135
		m.c.a	m.c.a	m.c.a	m.c.a	m				
		H_{medida}	$H_{simulada}$				$\Delta H = H_{red} - H_{simulada}$			
CONTROLADOR MONOCABLE										
Rotores de 1/2" y 3/4"										
Turno 2	V5	44.08	46.80	45.98	45.09	44.10	2.72	1.90	1.01	0.02
	V6	36.64	37.27	35.83	34.22	32.46	0.63	-0.82	-2.42	-4.18
	V7	36.37	37.65	36.27	34.73	33.02	1.28	-0.10	-1.64	-3.35
	V9	36.50	37.76	36.38	34.84	33.14	1.27	-0.12	-1.66	-3.35
Turno 3	V8	28.11	29.97	28.38	26.63	24.69	1.86	0.27	-1.48	-3.42
	V14	28.35	29.49	27.97	26.30	24.44	1.13	-0.38	-2.06	-3.91
	V15	27.60	29.31	27.75	26.02	24.12	1.71	0.15	-1.58	-3.48
	V16	26.00	30.08	28.61	26.98	25.19	4.08	2.60	0.97	-0.82
Turno 6	V24	28.22	29.54	28.44	27.23	25.89	1.31	0.21	-1.00	-2.34
	V25	28.10	30.81	29.75	28.56	27.24	2.72	1.65	0.46	-0.86
	V26	28.49	30.74	29.68	28.50	27.21	2.25	1.19	0.01	-1.28
	V27	31.39	31.54	30.44	29.22	27.88	0.14	-0.96	-2.18	-3.52
Turno 8	V31	41.12	45.17	44.42	43.60	42.69	4.05	3.31	2.48	1.57
	V33	37.94	40.80	39.75	38.58	37.28	2.86	1.81	0.64	-0.66
	V41	38.15	40.88	39.78	38.57	37.23	2.73	1.63	0.42	-0.92
	V42	37.48	41.07	40.02	38.87	37.58	3.59	2.55	1.39	0.10
Turno 9	V36	30.52	32.50	31.05	29.44	27.66	1.98	0.52	-1.08	-2.86
	V37	30.21	32.12	30.62	28.96	27.13	1.91	0.41	-1.25	-3.08
	V39	29.95	32.56	31.03	29.33	27.45	2.60	1.07	-0.62	-2.50
	V40	29.07	33.00	31.47	29.76	27.89	3.93	2.40	0.69	-1.18
Turno 10	V35	35.14	38.48	37.62	36.68	35.65	3.34	2.48	1.55	0.51
	V44	35.38	38.07	37.28	36.40	35.42	2.69	1.90	1.02	0.04
	V45	35.95	38.71	37.95	37.12	36.20	2.76	2.00	1.17	0.25
	V46	36.70	38.98	38.28	37.51	36.65	2.29	1.58	0.81	-0.05
Rotores de 1"										
Turno 13	V65	48.65	51.61	50.97	50.27	49.49	2.96	2.32	1.62	0.84
	V66	48.65	51.39	50.74	50.01	49.22	2.74	2.09	1.36	0.57
	V67	49.72	51.32	50.66	49.95	49.15	1.61	0.95	0.23	-0.57

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 3"				
Error				
C=150	C=145	C=140	C=135	
%	%	%	%	
$\Delta H/H_{medida}$				
CONTROLADOR MONOCABLE				
Rotores de 1/2" y 3/4"				
6%	4%	2%	0%	
2%	-2%	-7%	-11%	
4%	0%	-5%	-9%	
3%	0%	-5%	-9%	
7%	1%	-5%	-12%	
4%	-1%	-7%	-14%	
6%	1%	-6%	-13%	
16%	10%	4%	-3%	
5%	1%	-4%	-8%	
10%	6%	2%	-3%	
8%	4%	0%	-5%	
0%	-3%	-7%	-11%	
10%	8%	6%	4%	
8%	5%	2%	-2%	
7%	4%	1%	-2%	
10%	7%	4%	0%	
6%	2%	-4%	-9%	
6%	1%	-4%	-10%	
9%	4%	-2%	-8%	
14%	8%	2%	-4%	
10%	7%	4%	1%	
8%	5%	3%	0%	
8%	6%	3%	1%	
6%	4%	2%	0%	
Rotores de 1"				
6%	5%	3%	2%	
6%	4%	3%	1%	
3%	2%	0%	-1%	

Continuación

TURNOS	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO		DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN				DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA EN RED Y LA PRESIÓN SIMULADA			
		PRESIÓN MEDIDA (antes de la válvula)	m.c.a	PRESIÓN SIMULADA (antes de la válvula)							
				C=150	C=145	C=140	C=135	C=150	C=145	C=140	C=135
				m	m	m	m	m	m	m	m
Hmedida		Hsimulada				ΔH = Hred - Hsimulada					
CONTROLADOR MONOCABLE											
Rotores de 1"											
Turno 14	V71	48.36	49.89	49.38	48.82	48.19	1.52	1.02	0.46	-0.17	
	V72	47.75	49.92	49.38	48.80	48.15	2.17	1.63	1.04	0.40	
	V73	47.75	49.75	49.22	48.63	47.97	2.00	1.46	0.88	0.22	
Turno 15	V64	47.25	50.79	50.46	50.08	49.68	3.54	3.21	2.83	2.42	
	V68	47.25	50.49	50.14	49.75	49.32	3.24	2.89	2.50	2.07	
Difusores de boquilla regulable											
Turno 19	V86	23.60	29.17	27.51	25.66	23.62	5.56	3.90	2.06	0.02	
	V87	23.67	28.58	26.98	25.20	23.22	4.92	3.31	1.53	-0.45	
	V88	23.69	29.38	27.81	26.09	24.17	5.68	4.12	2.39	0.48	
Turno 20	V93	30.52	35.57	34.05	32.37	30.52	5.05	3.53	1.85	0.00	
	V94	29.67	33.97	32.41	30.67	28.76	4.30	2.74	1.00	-0.91	
	V95	30.02	33.97	32.40	30.66	28.75	3.95	2.38	0.64	-1.27	
Turno 21	V89	28.37	32.38	31.03	29.53	27.88	4.01	2.66	1.16	-0.49	
	V90	28.52	32.55	31.21	29.72	28.08	4.02	2.68	1.20	-0.44	
	V91	30.68	33.82	32.58	31.22	29.70	3.15	1.90	0.54	-0.98	
Turno 24	V82	26.29	29.44	28.23	26.90	25.41	3.15	1.94	0.61	-0.88	
	V83	25.22	29.43	28.17	26.80	25.28	4.21	2.95	1.58	0.06	
	V84	25.16	29.13	27.92	26.58	25.09	3.97	2.76	1.41	-0.07	
	V96	25.00	28.50	27.18	25.72	24.10	3.50	2.18	0.72	-0.90	
Turno 25	V101	26.45	29.24	28.78	28.27	27.71	2.79	2.32	1.82	1.26	
	V104	27.65	30.73	30.38	30.00	29.57	3.08	2.73	2.34	1.91	
	V103	25.61	27.65	27.16	26.61	26.00	2.04	1.55	1.00	0.39	
	V106	26.15	29.48	29.17	28.84	28.47	3.33	3.02	2.69	2.32	

Error			
C=150	C=145	C=140	C=135
%	%	%	%
ΔH/Hmedida			
CONTROLADOR MONOCABLE			
Rotores de 1"			
3%	2%	1%	0%
5%	3%	2%	1%
4%	3%	2%	0%
7%	7%	6%	5%
7%	6%	5%	4%
5%	4%	3%	2%
Difusores de boquilla regulable			
24%	17%	9%	0%
21%	14%	6%	-2%
24%	17%	10%	2%
17%	12%	6%	0%
14%	9%	3%	-3%
13%	8%	2%	-4%
14%	9%	4%	-2%
14%	9%	4%	-2%
10%	6%	2%	-3%
12%	7%	2%	-3%
17%	12%	6%	0%
16%	11%	6%	0%
14%	9%	3%	-4%
11%	9%	7%	5%
11%	10%	8%	7%
8%	6%	4%	2%
13%	12%	10%	9%

a. Determinación del RMSE

Con los resultados obtenidos para cada valor del coeficiente «C» se realizó el cálculo del RMSE, presentándose los resultados a continuación:

Cuadro 29: Valores de RMSE para «Escenario 3»

Valor de «C»	RMSE según tipo de emisor			RMSE
	Rotores de 1/2" y 3/4"	Rotores de 1"	Difusores de boquilla regulable	
135	2.32	1.21	0.99	1.79
140	1.38	1.62	1.58	1.49
145	1.62	2.09	2.83	2.19
150	2.54	2.57	4.04	3.15

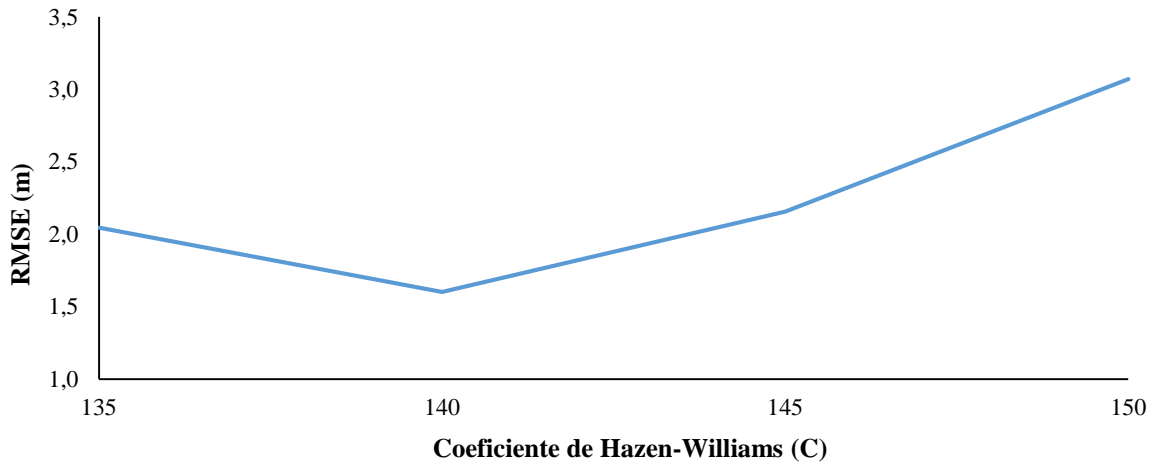


Figura 37: Representación gráfica de RMSE para los diferentes valores del factor «C» - «Escenario 3»

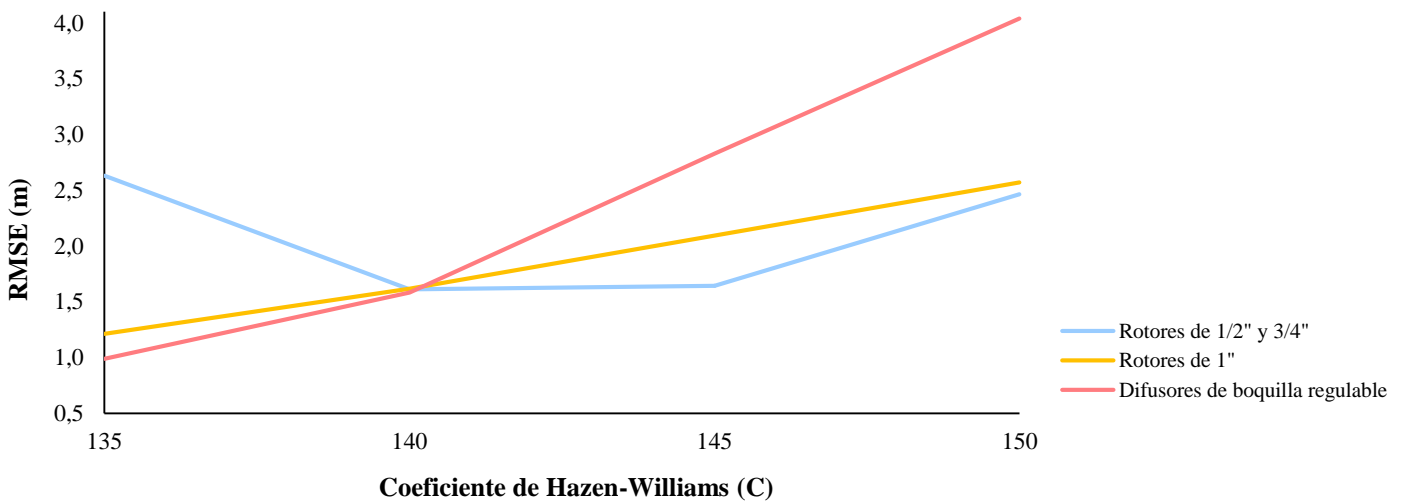


Figura 38: Representación gráfica de RMSE para el factor «C» por tipo de emisor empleados – «Escenario 3»

b. Definición de los rangos para ΔH

Por otro lado, se realiza una comparación porcentual del total de los datos medidos a fin de determinar el rango de valores entre los que se encuentra ΔH ($H_{simulada} - H_{medida}$) para los diferentes valores asignados al factor «C».

Cuadro 30: Rangos de ΔH para los diferentes valores del factor «C» – «Escenario 3»

Rango ΔH	% del total de datos calibrados "Escenario 3"			
	Valor del factor "C" de Hazen-Williams			
	C=150	C=145	C=140	C=135
$0 \leq \Delta H \leq 2$	24.49%	53.06%	79.59%	71.43%
$2 < \Delta H \leq 4$	55.10%	44.90%	20.41%	26.53%
$4 < \Delta H$	20.41%	2.04%	0.00%	2.04%
Total	100%	100%	100%	100%

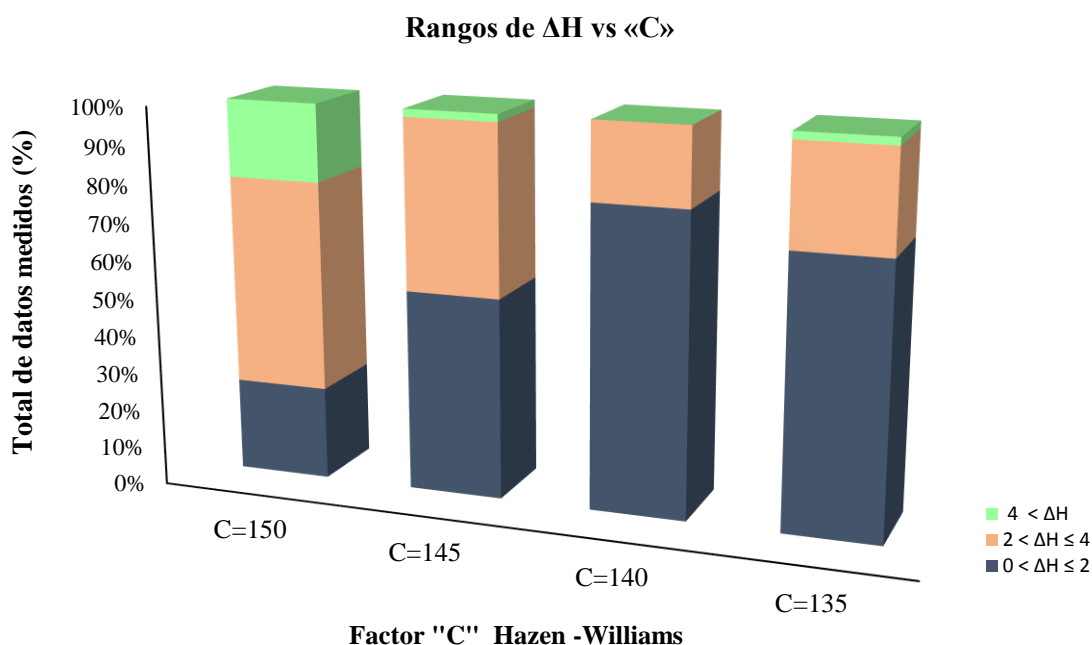


Figura 39: Representación gráfica rangos de ΔH para los diferentes valores de «C» – «Escenario 3»

Con los resultados obtenidos se seleccionó un valor de factor «C» igual a 140 para la obtención del «Escenario 3 calibrado» pues presenta un valor de RMSE de 1.49; mientras que las diferencias entre las cargas piezométricas calculadas a través de mediciones y simuladas son menores o iguales a 2 m.c.a en un 80 por ciento y menores a 4 m.c.a en un 20 por ciento de los nodos de medición.

c. Gráficas de correlación

En la Figura 40 se muestran las gráficas de correlación para el «Escenario 3» sin calibrar y calibrado; mediante el coeficiente de determinación « R^2 », se observa que entre H_{simulada} y H_{medida} existe una buena correlación siendo R^2 igual a 0.99 para ambos casos; además, al igual que en los escenarios anteriores, se observa que una pendiente cercana a la unidad en la ecuación de la recta representa al escenario «Escenario 3 calibrado».

Finalmente con los resultados obtenidos y reflejados en el Cuadro 22 y en la Figura 32 , se evidencia que en el 75 por ciento de los nodos el error relativo en las presiones es menor del 5% y el porcentaje restante es menor al 10%.

Finalmente con los resultados obtenidos y reflejados en el Cuadro 28 y en la Figura 40 , se evidencia que en el 76 por ciento de los nodos el error relativo en las presiones es menor del 5% y el porcentaje restante es menor al 10%.

Los resultados obtenidos en este trabajo para los tres escenarios se muestran cercanos en comparación con resultados obtenidos en redes de distribución de agua potable.

Pues, en redes de distribución de agua potable según Bosh y Recio (2014) de los nodos de medición se obtuvo que las diferencias entre las cargas piezométricas medidas y simuladas son menores que 1.50 m.c.a. en el 100 %; además se demostró que en el 100 % de los nodos los errores relativos en cuanto a cargas piezométricas son menores de 5%.

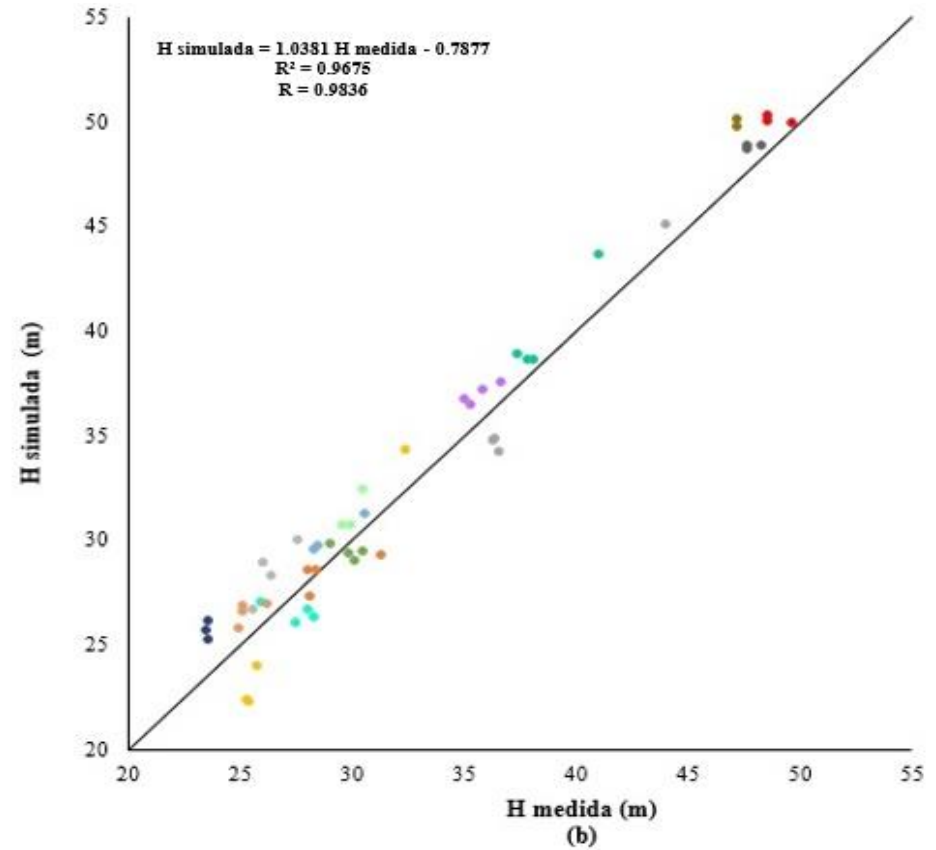
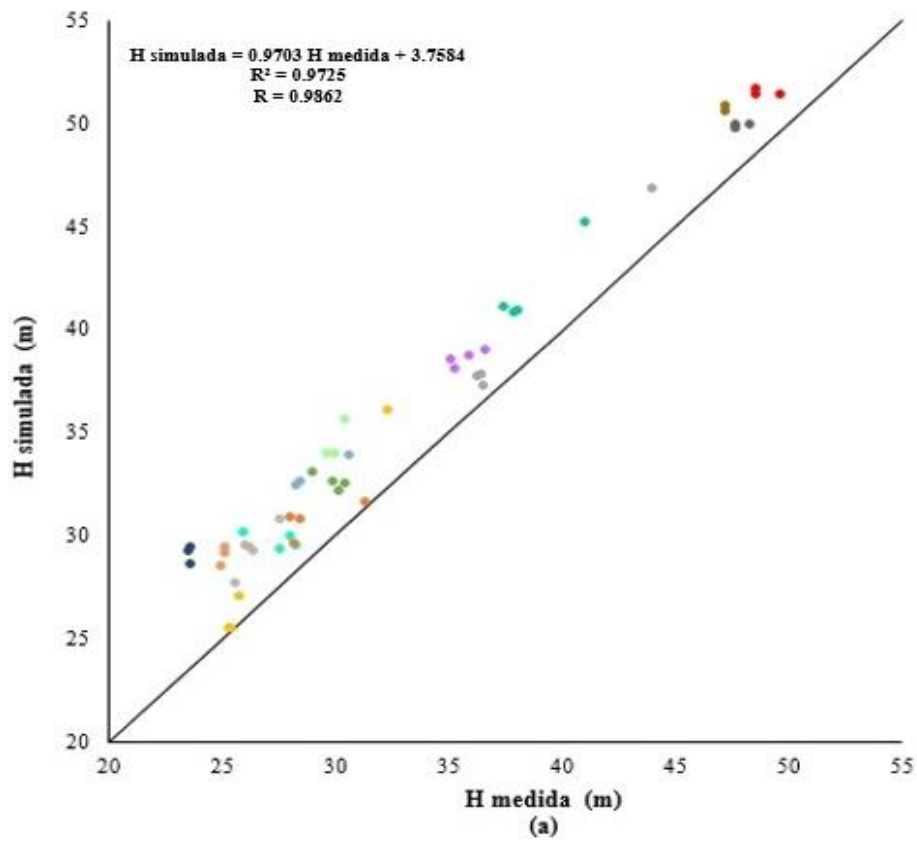


Figura 40: Correlación entre H_{medida} y $H_{simulada}$ para «Escenario 3»

(a) Factor «C» igual 150

(b) Factor «C» igual 140

- Turno 2
- Turno 3
- Turno 6
- Turno 7
- Turno 8
- Turno 9
- Turno 10
- Turno 13
- Turno 14
- Turno 15
- Turno 19
- Turno 20
- Turno 21
- Turno 24
- Turno 25

4.6. PROPUESTA DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO

La programación de riego se realiza para cada uno de los escenarios según el tipo de emisor, en base a la demanda calculada para jardines (lamina a reponer por día) y la velocidad de aplicación promedio (determinada por la presión de trabajo) estos datos permiten calcular el tiempo de riego por turno.

La presión de trabajo de los emisores en sectores de riego con agrupación de 2 a 3 válvulas será mayor en comparación con los que presentan agrupación de 4 válvulas; debido a la relación existente entre caudal y presión de trabajo, entonces al tener menor caudal por válvula se requerirá menor presión para el funcionamiento de los emisores. Sin embargo, se tiene que al requerir menor caudal el sistema genera mayor presión que debería ser rota, de lo contrario se genera sobrepresiones en campo; por el contrario, al tener menor presión de la necesaria se disminuiría la presión de trabajo sin llegar a la pulverización y aumentaría el tiempo de riego para cumplir con caudal requerido.

Al tomar en cuenta dichas consideraciones y con los resultados obtenidos en las secciones anteriores se obtienen los siguientes resultados:

4.6.1. Propuesta de programación de riego para el «Escenario 1»

Para el Escenario 1 se consideran las siguientes presiones de trabajo:

- Rotores ½" y ¾": 30 m.c.a. - 35 m.c.a.
- Rotores 1": 40 m.c.a.
- Difusores de boquilla regulable: 18 m.c.a. - 21 m.c.a. y 15 m.c.a. (*)

(*) Escenario 1

Con el caudal y velocidad de aplicación proporcionados para el funcionamiento de los emisores a dichas presiones de trabajo se obtuvieron los siguientes tiempos de riego por mes:

Cuadro 31: Programación de riego por mes y turno para «Escenario 1»

N° TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	TIEMPO DE RIEGO POR DÍA SEGÚN EL MES (minutos)												Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
			Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.			
CONTROLADOR MONOCABLE																	
Rotores de 1/2" y 3/4"																	
Turno 1	1	V1	40.00	45.00	45.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	17.74	4.77	43.36
	2	V2														6.67	43.31
	3	V3														6.31	44.65
Turno 2	4	V4	65.00	70.00	70.00	60.00	45.00	30.00	30.00	30.00	40.00	45.00	55.00	55.00	16.47	4.96	53.03
	5	V5														4.96	53.03
	6	V41														6.54	53.53
Turno 3	7	V6	40.00	40.00	40.00	40.00	25.00	20.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	35.00	19.86	7.70	44.13
	8	V7														6.00	44.54
	9	V9														6.16	44.63
Turno 4	10	V8	35.00	40.00	40.00	35.00	25.00	20.00	15.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	22.11	7.02	44.33
	11	V14														7.37	43.97
	12	V15														7.72	43.76
Turno 5	13	V10	35.00	40.00	35.00	35.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	22.28	7.86	43.28
	14	V12														7.28	43.66
	15	V13														7.14	45.36
Turno 6	16	V16	45.00	50.00	50.00	45.00	35.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	40.00	16.13	5.49	51.58
	17	V17														5.18	51.59
	18	V18														5.46	51.49
Turno 7	19	V21	40.00	40.00	40.00	35.00	25.00	20.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	35.00	20.97	7.51	42.31
	20	V22														6.70	41.78
	21	V23														6.75	44.53
Turno 8	22	V24	30.00	30.00	30.00	25.00	20.00	15.00	10.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	19.73	7.60	52.11
	23	V46														9.82	52.26
	24	V55														2.31	
Turno 9	25	V25	40.00	45.00	45.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	16.92	4.69	51.98
	26	V27														6.47	52.47
	27	V28														5.76	51.92

Continuación

N° TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
CONTROLADOR MONOCABLE																	
Rotores de 1/2" y 3/4"																	
Turno 10	28	V26	30.00	35.00	35.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	25.00	19.84	6.60	49.99
	29	V33														6.18	48.47
	30	V42														7.05	48.78
Turno 11	31	V29	35.00	40.00	40.00	35.00	25.00	20.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	30.00	21.26	7.13	41.00
	32	V31														7.82	42.24
	33	V35														6.31	41.19
Turno 12	34	V30	40.00	40.00	40.00	35.00	25.00	20.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	35.00	20.71	5.63	43.10
	35	V32														7.57	43.76
	36	V36														7.50	44.12
Turno 13	37	V37	35.00	40.00	40.00	35.00	25.00	15.00	15.00	20.00	20.00	25.00	30.00	30.00	18.59	8.39	46.83
	38	V39														6.72	47.25
	39	V40														3.47	47.66
Turno 14	40	V43	25.00	25.00	25.00	25.00	20.00	10.00	10.00	15.00	15.00	20.00	20.00	20.00	21.60	7.61	46.72
	41	V44														8.00	48.63
	42	V45														5.99	49.49
Turno 15	43	V47	30.00	35.00	35.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	25.00	23.40	6.73	50.25
	44	V48														4.91	48.29
	45	V49														11.76	52.24
Rotores de 1"																	
Turno 16	46	56	35.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	18.79	5.98	52.25
	47	57														6.83	52.26
	48	70														5.98	53.06
Turno 17	49	V64	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	15.70	7.85	51.51
	50	V68														7.85	51.26
	LIBRE																
Turno 18	52	V65	30.00	30.00	30.00	25.00	20.00	15.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	23.55	7.85	45.99
	53	V66														7.85	45.76
	54	V67														7.85	45.70

Continuación

N° TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula	
CONTROLADOR MONOCABLE																		
Rotores de 1/2" y 3/4"																l/s	l/s	m.c.a.
Turno 19	55	V71	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	14.21	4.27	49.54	
	56	V72														4.97	49.58	
	57	V73														4.97	49.43	
Difusores de boquilla regulable																l/s	l/s	m.c.a.
Turno 20	58	V74	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	26.52	10.07	21.36	
	59	V75														8.56	21.43	
	61	V85														7.90	22.02	
Turno 21*	61	V76	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	29.22	11.23	13.63	
	62	V77														7.34	13.69	
	63	V80														10.64	14.05	
Turno 22*	64	V78	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	10.00	30.73	9.36	11.44	
	65	V79														6.63	11.07	
	66	V81														14.73	11.11	
Turno 23	67	V82	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	21.45	9.02	45.97	
	68	V83														6.27	46.49	
	69	V84														6.17	45.69	
Turno 24	70	V86	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	26.93	8.80	27.95	
	71	V88														9.33	28.88	
	72	V93														8.80	28.51	
Turno 25	73	V87	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	24.80	9.31	38.87	
	74	V89														7.24	39.90	
	75	V91														8.26	41.60	
Turno 26	76	V92	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	10.00	22.71	10.50	47.00	
	77	V98														5.83	46.97	
	78	V99														6.39	43.98	
Turno 27	79	V94	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	26.02	10.01	32.54	
	80	V95														8.26	32.53	
	81	V90														7.74	34.28	

Continuación

Nº TURNO	Nº ESTACION CONTROLADOR	Nº VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
Difusores de boquilla regulable															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 28	82	V96	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	10.00	26.94	8.66	37.83
	83	V97														7.57	39.46
	84	V105														10.71	39.84
Turno 29	85	V100	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	10.00	23.51	7.36	50.12
	86	V101														7.30	49.23
	87	V104														8.86	48.50
Turno 30	88	V103	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	14.42	6.20	54.02
	89	V106														8.22	51.75
	LIBRE																
CONTROLADOR CONVENCIONAL																	
Rotores de 1/2", 3/4" y 1"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 31	1	V51	25.00	25.00	25.00	25.00	20.00	10.00	10.00	15.00	15.00	20.00	20.00	20.00	13.74	6.87	50.44
	2	V52														6.87	50.38
Turno 32	3	V50	45.00	45.00	45.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	15.63	6.34	51.79
	4	V53														5.49	52.01
		V54														3.80	51.99
Turno 33	5	V58	35.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	18.79	6.83	52.89
		V59														5.98	52.47
	6	V60														5.98	52.30
Turno 34	7	V61	35.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	17.93	5.98	50.42
	8	V62														5.98	50.43
		V63														5.98	50.41
Turno 35	9	V112	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	15.37	6.83	52.73
	10	V115														8.54	53.07
Turno 36	11	V113	20.00	20.00	20.00	15.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	15.00	15.37	8.54	53.05
	12	V114														6.83	52.50
Turno 37	13	V116	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	5.00	5.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	13.74	6.87	50.47
	14	V69														6.87	50.62
Tiempo total de Riego por día (hr)			19.87	20.84	20.75	18.80	13.48	9.50	8.97	10.11	11.79	14.10	16.14	16.77			

4.6.2. Propuesta de programación de riego para el «Escenario 2»

Se consideran las mismas presiones de trabajo mostradas para el Escenario 1, pues ambos son agrupaciones de 3 válvulas, obtuvieron los siguientes tiempos de riego por mes:

Cuadro 32: Programación de riego por mes y turno para «Escenario 2»

N° TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	TIEMPO DE RIEGO POR DÍA SEGÚN EL MES (minutos)												Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula	
			Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.				
CONTROLADOR MONOCABLE																		
Rotores de 1/2" y 3/4"																l/s	l/s	m.c.a.
Turno 1	1	V1	40.00	45.00	45.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	17.74	4.77	43.36
	2	V2															6.67	43.31
	3	V3															6.31	44.65
Turno 2	4	V4	65.00	70.00	70.00	60.00	45.00	30.00	30.00	30.00	30.00	40.00	45.00	55.00	55.00	17.63	4.96	52.39
	5	V5															4.96	52.39
	7	V6															7.70	53.31
Turno 3	8	V7	40.00	40.00	40.00	40.00	25.00	20.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	35.00	19.18	6.00	45.54	
	10	V8														7.02	45.53	
	9	V9														6.16	45.65	
Turno 4	11	V14	45.00	45.00	45.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	20.57	7.37	46.15
	12	V15															7.72	46.38
	16	V16															5.49	46.41
Turno 5	13	V10	35.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	22.28	7.86	43.28
	14	V12															7.28	43.66
	15	V13															7.14	45.36
Turno 6	17	V17	50.00	50.00	50.00	45.00	35.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	40.00	17.11	5.18	51.05
	18	V18															5.46	50.67
	26	V27															6.47	51.07
Turno 7	19	V21	40.00	40.00	40.00	35.00	25.00	20.00	15.00	20.00	20.00	25.00	30.00	30.00	35.00	20.97	7.51	42.31
	20	V22															6.70	41.78
	21	V23															6.75	44.53

Continuación

Nº TURNO	Nº ESTACION CONTROLADOR	Nº VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
Rotores de 1/2" y 3/4"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 8	22	V24	30.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	18.90	7.60	49.74
	25	V25														4.69	50.93
	28	V26														6.60	50.71
Turno 9	27	V28	40.00	40.00	40.00	40.00	25.00	20.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	18.52	5.76	52.32
	31	V29														7.13	47.96
	34	V30														5.63	48.00
Turno 10	32	V31	30.00	35.00	35.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	25.00	21.57	7.82	46.13
	35	V32														7.57	45.97
	29	V33														6.18	50.45
Turno 11	36	V36	35.00	40.00	40.00	35.00	25.00	15.00	15.00	20.00	20.00	25.00	30.00	30.00	22.62	7.50	42.27
	37	V37														8.39	42.13
	38	V39														6.72	42.81
Turno 12	39	V40	35.00	40.00	40.00	35.00	25.00	15.00	15.00	20.00	20.00	25.00	30.00	30.00	17.06	3.47	54.63
	6	V41														6.54	50.64
	30	V42														7.05	50.89
Turno 13	33	V35	35.00	40.00	40.00	35.00	25.00	15.00	15.00	20.00	20.00	30.00	30.00	30.00	21.92	6.31	47.25
	40	V43														7.61	45.22
	41	V44														8.00	47.60
Turno 14	43	V47	30.00	35.00	35.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	25.00	23.40	6.73	50.25
	44	V48														4.91	48.29
	45	V49														11.76	52.24
Turno 15	42	V45	25.00	25.00	25.00	25.00	15.00	10.00	10.00	10.00	15.00	20.00	20.00	20.00	15.80	5.99	53.32
	23	V46														9.82	53.00
Rotores de 1"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 16	46	V56	35.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	18.79	5.98	52.25
	47	V57														6.83	52.26
	48	V70														5.98	53.06

Continuación

N° TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
CONTROLADOR MONOCABLE																	
Rotores de 1"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 17	52	V65	30.00	30.00	30.00	25.00	20.00	15.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	23.55	7.85	45.99
	53	V66														7.85	45.76
	54	V67														7.85	45.70
Turno 18	55	V71	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	14.21	4.27	49.54
	56	V72														4.97	49.58
	57	V73														4.97	49.43
Turno 19	49	V64	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.70	7.85	51.51
	50	V68														7.85	51.26
Difusores de boquilla regulable															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 20*	58	V74	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	28.61	10.07	12.83
	63	V80														10.64	13.69
	60	V85														7.90	12.88
Turno 21*	59	V75	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	29.35	8.56	15.11
	61	V76														11.23	14.37
	64	V78														9.56	15.05
Turno 22	62	V77	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	29.16	7.34	19.36
	65	V79														6.78	18.40
	66	V81														15.04	18.44
Turno 23	68	V83	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	21.45	6.27	46.49
	67	V82														9.02	45.97
	69	V84														6.17	45.69
Turno 24	70	V86	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	27.44	8.80	27.45
	73	V87														9.31	26.96
	71	V88														9.33	27.75
Turno 25	72	V93	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	27.07	8.80	28.61
	79	V94														10.01	27.03
	80	V95														8.26	27.02

Continuación

N° TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula	
CONTROLADOR MONOCABLE																		
Difusores de boquilla regulable																l/s	l/s	m.c.a.
Turno 26	74	V89	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	10.00	23.24	7.24	43.57	
	81	V90														7.74	43.69	
	75	V91														8.26	44.61	
Turno 27	82	V96	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	10.00	26.73	8.66	37.48	
	76	V92														10.50	40.07	
	83	V97														7.57	39.11	
Turno 28	77	V98	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	10.00	22.93	5.83	48.81	
	78	V99														6.39	47.51	
	84	V105														10.71	49.28	
Turno 29	85	V100	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	10.00	10.00	23.51	7.36	50.12	
	86	V101														7.30	49.23	
	87	V104														8.86	48.50	
Turno 30	88	V103	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	14.42	6.20	54.02	
	89	V106														8.22	51.75	
CONTROLADOR CONVENCIONAL																		
Rotores de 1/2", 3/4" y 1"																l/s	l/s	m.c.a.
Turno 31	3	V50	45.00	45.00	45.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	15.60	6.34	51.79	
	4	V53														5.49	52.01	
		V54														3.80	51.99	
Turno 32	5	V58	35.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	18.80	6.83	52.89	
		V59														5.98	52.47	
	6	V60														5.98	52.30	
Turno 33	7	V61	35.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	17.93	5.98	50.42	
		V62														5.98	50.43	
	8	V63														5.98	50.41	
Turno 34	1	V51	25.00	25.00	25.00	25.00	15.00	10.00	10.00	15.00	15.00	20.00	20.00	20.00	13.74	6.87	50.44	
	2	V52														6.87	50.38	

Continuación

Nº TURNO	Nº ESTACION CONTROLADOR	Nº VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
CONTROLADOR CONVENCIONAL																	
Rotores de 1/2", 3/4" y 1"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 35	10	V113	20.00	20.00	20.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	15.00	23.91	8.54	51.44
	11	V114														6.83	50.89
	12	V115														8.54	51.13
Turno 36	9	V112	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	20.57	6.83	52.86
	14	V69														6.87	50.33
	13	V116														6.87	50.18
Tiempo total de Riego por día (hr)			24.69	25.82	25.82	23.36	16.42	11.69	11.26	12.13	14.66	17.47	19.66	20.83			

4.6.3. Propuesta de programación de riego para el «Escenario 3»

Para el Escenario 3 se consideran las siguientes presiones de trabajo:

- Rotores 1/2" y 3/4": 25 m.c.a. - 28 m.c.a.
- Rotores 1": 38 m.c.a. - 40 m.c.a.
- Difusores de boquilla regulable: 18 m.c.a. 21 m.c.a.

Con el caudal y velocidad de aplicación proporcionados para el funcionamiento de los emisores con dichas presiones de trabajo obtuvieron los siguientes tiempos de riego por mes:

Cuadro 33: Programación de riego por mes y turno para «Escenario 3»

N° TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	TIEMPO DE RIEGO POR DÍA SEGÚN EL MES (minutos)												Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
			Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.			
CONTROLADOR MONOCABLE																	
Rotores de 1/2" y 3/4"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 1	1	V1	70.00	75.00	75.00	70.00	50.00	30.00	30.00	35.00	40.00	50.00	60.00	60.00	20.20	4.24	41.53
	2	V2														5.92	41.49
	3	V3														5.61	42.47
	4	V4														4.43	43.37
Turno 2	5	V5	70.00	75.00	75.00	70.00	50.00	30.00	30.00	35.00	40.00	50.00	60.00	60.00	22.10	4.43	52.71
	7	V6														6.85	45.83
	8	V7														5.34	46.04
	9	V9														5.48	46.11
Turno 3	10	V8	45.00	50.00	50.00	45.00	30.00	20.00	20.00	25.00	25.00	35.00	40.00	40.00	24.60	6.25	42.45
	11	V14														6.55	41.85
	12	V15														6.86	41.79
	16	V16														4.89	42.26
Turno 4	13	V10	50.00	55.00	55.00	50.00	35.00	25.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	22.90	6.99	43.85
	14	V12														6.47	44.19
	17	V17														4.61	45.25
	18	V18														4.87	45.73
Turno 5	15	V13	40.00	45.00	40.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	25.00	6.35	40.13
	19	V21														6.68	37.36
	20	V22														5.96	36.88
	21	V23														6.01	39.28
Turno 6	22	V24	40.00	45.00	45.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	22.60	6.75	47.78
	25	V25														4.17	48.76
	28	V26														5.87	48.62
	26	V27														5.76	49.54
Turno 7	27	V28	40.00	45.00	45.00	40.00	30.00	20.00	20.00	20.00	25.00	30.00	35.00	35.00	23.20	5.13	49.98
	31	V29														6.34	43.01
	34	V30														5.01	43.04
	35	V32														6.73	44.21
Turno 8	32	V31	30.00	35.00	35.00	30.00	25.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	24.50	6.96	48.3
	29	V33														5.49	44.43
	6	V41														5.82	44.6
	30	V42														6.27	44.66

Continuación

Nº TURNO	Nº ESTACION CONTROLADOR	Nº VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
CONTROLADOR MONOCABLE																	
Rotores de 1/2" y 3/4"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 9	36	V36	35.00	40.00	40.00	35.00	25.00	15.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	30.00	23.20	6.67	42.7
	37	V37														7.47	42.49
	38	V39														5.98	43.03
	39	V40														3.08	43.45
Turno 10	33	V35	40.00	40.00	40.00	35.00	25.00	20.00	15.00	20.00	25.00	30.00	30.00	35.00	26.80	5.61	40.82
	41	V44														7.11	40.4
	42	V45														5.32	40.94
	23	V46														8.74	41.16
Turno 11	40	V43	30.00	35.00	35.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	27.60	6.76	42.98
	43	V47														5.98	41.76
	44	V48														4.37	40.41
	45	V49														10.46	42.81
Rotores de 1"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 12	46	V56	30.00	35.00	35.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	17.68	5.63	52.63
	47	V57														6.43	52.64
	48	V70														5.63	53.64
Turno 13	52	V65	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	22.13	7.38	47.74
	53	V66														7.38	47.55
	54	V67														7.38	47.50
Turno 14	55	V71	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	5.00	5.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	13.37	4.02	50.67
	56	V72														4.68	50.77
	57	V73														4.68	50.62
Turno 15	49	V64	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	10.00	5.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	14.75	7.38	52.30
	50	V68														7.38	52.09
Difusores de boquilla regulable															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 16	58	74	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	26.39	9.22	26.49
	63	80														9.66	27.05
	60	85														7.50	26.50
Turno 17	59	75	5.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	26.76	7.98	29.48
	61	76														10.20	28.61
	64	78														8.59	29.00

Continuación

Nº TURNO	Nº ESTACION CONTROLADOR	Nº VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
Rotores de 1/2" y 3/4"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 18	62	77	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	26.31	6.83	33.83
	65	79														6.09	32.77
	66	81														13.38	32.80
Turno 19	70	86	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	27.44	8.80	29.28
	73	87														9.31	28.75
	71	88														9.33	29.49
Turno 20	72	93	5.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	27.07	8.80	30.39
	79	94														10.01	28.86
	80	95														8.26	28.85
Turno 21	74	89	5.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	23.24	7.24	44.70
	81	90														7.74	44.81
	75	91														8.26	45.66
Turno 22	76	92	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	23.90	10.50	48.87
	83	97														7.57	48.41
	77	98														5.83	47.62
Turno 23	78	99	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	24.46	6.39	48.71
	85	100														7.36	50.01
	84	105														10.71	49.75
Turno 24	68	83	5.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	27.70	8.19	31.81
	67	82														5.84	31.81
	69	84														5.72	31.53
	82	96														7.95	31.01
Turno 25	86	101	10.00	10.00	10.00	10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	30.57	7.30	32.43
	88	103														8.86	33.02
	87	104														6.20	31.73
	89	106														8.22	32.59
CONTROLADOR CONVENCIONAL																	
Rotores de 1/2", 3/4" y 1"															l/s	l/s	m.c.a.
Turno 26	1	51	30.00	35.00	35.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	24.96	6.45	48.89
	2	52														6.45	48.85
	5	58														6.43	51.71
		59														5.63	51.28

Continuación

Nº TURNO	Nº ESTACION CONTROLADOR	Nº VÁLVULA CAMPO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Caudal por turno	Caudal por válvula	Presión de llegada a válvula
CONTROLADOR MONOCABLE																	
Rotores de 1/2" y 3/4"															l/s	l/s	m.c.a.
Rotores de 1/2", 3/4" y 1"																	
Turno 27	6	60	30.00	35.00	35.00	30.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	25.00	25.00	30.00	22.51	5.63	52.01
	7	61														5.63	50.48
	8	62														5.63	50.49
		63														5.63	50.47
Turno 28	10	113	15.00	20.00	20.00	15.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	15.00	22.51	8.04	52.03
	11	114														6.43	51.53
	12	115														8.04	51.69
Turno 29	9	112	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	5.00	5.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	19.34	6.43	53.04
	14	69														6.45	50.76
	13	116														6.45	50.64
Turno 30	3	50	45.00	50.00	50.00	45.00	30.00	20.00	20.00	25.00	25.00	35.00	40.00	40.00	13.90	5.64	52.00
	4	53														4.89	52.36
		54														3.38	52.34
Tiempo total de Riego por día (hr)			17.08	19.06	18.97	16.80	11.86	8.37	8.09	9.17	10.61	12.85	14.11	15.01			

En los cuadros que muestran la programación de riego, Cuadro 31, Cuadro 32 y Cuadro 33, es posible diferenciar tres periodos durante el año, el primero durante los meses de verano de enero a abril, en él que el requerimiento hídrico es mayor; luego observamos que disminuye durante los meses de mayo a octubre, meses de invierno, y finalmente en los dos últimos meses del año, noviembre y diciembre, se presenta un incremento.

4.7. COSTO ENERGÉNICO

4.7.1. Costo energético para el «Escenario 1»

El precio (s./) por cada kW–hr se encontró en los recibos de luz que la empresa luz del sur envía a la UNALM cada mes.

Precio por Kw-hr	s/.0.2151
------------------	-----------

El costo energético mensual depende directamente del número de horas al mes que estará en funcionamiento el sistema de bombeo, de la potencia y el precio por cada kw–hr, se obtuvieron los siguientes resultados:

- i. Costo energético, se presenta el costo energético mensual que genera el sistema de bombeo para el «Escenario 1».

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Costo energético mensual por bombeo(s./)	S/. 2,201.73	S/. 2,093.01	S/. 2,305.38	S/. 1,997.30	S/. 1,476.87	S/. 1,032.93	S/. 997.11	S/. 1,122.81	S/. 1,252.43	S/. 1,558.17	S/. 1,684.38	S/. 1,870.05

- ii. Costo de potencia, el costo de potencia mensual depende la potencia máxima consumida en la red y de su costo por cada kw.

A continuación, se muestra los resultados de potencia simulada para el «Escenario 1»

Potencia Máxima (kw)	22.09
Potencia Media (kw)	20.60

La potencia máxima consumida en la red es un valor constante que se presentara todos los meses del año, es por ello que no es necesario determinar el valor para todos los meses. Se muestra el costo mensual y anual por potencia consumida:

Costo Mensual de Potencia (s./)	939.90
Costo Anual de Potencia (s./)	11278.75

En el Cuadro 34 se observan la tarifa mensual y anual por consumo energético para el «Escenario 1»

Cuadro 34: Costo energético mensual (s./) «Escenario 1»

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Costo mensual (s./)	S/. 3,141.63	S/. 3,032.91	S/. 3,245.28	S/. 2,937.20	S/. 2,416.77	S/. 1,972.83	S/. 1,937.01	S/. 2,062.71	S/. 2,192.33	S/. 2,498.07	S/. 2,624.28	S/. 2,809.94
Costo energético anual (s./)	S/. 30,870.94											

4.7.2. Costo energético para el «Escenario 2»

i. Costo energético, se presenta el costo energético mensual que genera el sistema de bombeo para el «Escenario 2».

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Costo energético mensual por bombeo(s./)	S/. 2,176.81	S/. 2,071.50	S/. 2,281.61	S/. 1,960.16	S/. 1,426.18	S/. 1,004.07	S/. 1,014.73	S/. 1,094.28	S/. 1,270.28	S/. 1,553.76	S/. 1,682.56	S/. 1,950.65

ii. Costo de potencia, el costo de potencia mensual depende la potencia máxima consumida en la red y de su costo por cada kw.

A continuación, se muestra los resultados de potencia simulada para el «Escenario 2»

Potencia Máxima (kw)	22.09
Potencia Media (kw)	20.77

La potencia máxima consumida en la red es un valor constante que se presentara todos los meses del año, es por ello que no es necesario determinar el valor para todos los meses. Se muestra el costo mensual y anual por potencia consumida:

Costo Mensual de Potencia (s./)	939.90
Costo Anual de Potencia (s./)	11278.81

En el Cuadro 35 se observan la tarifa mensual y anual por consumo energético para el «Escenario 2»

Cuadro 35: Costo energético mensual (s./) «Escenario 2»

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Costo mensual (s./)	S/. 3,116.71	S/. 3,011.40	S/. 3,221.51	S/. 2,900.06	S/. 2,366.08	S/. 1,943.97	S/. 1,954.63	S/. 2,034.18	S/. 2,210.19	S/. 2,493.66	S/. 2,622.46	S/. 2,890.55
Costo energético anual (s./)	S/. 30,765.39											

4.7.3. Costo energético para el «Escenario 3»

- i. Costo energético, se presenta el costo energético mensual que genera el sistema de bombeo para el «Escenario 3».

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Costo energético por mes (s./)	S/. 1,867.95	S/. 1,891.61	S/. 2,082.16	S/. 1,772.22	S/. 1,300.97	S/. 894.10	S/. 888.95	S/. 1,004.11	S/. 1,121.98	S/. 1,407.32	S/. 1,497.70	S/. 1,641.93

- ii. Costo de potencia, el costo de potencia mensual depende la potencia máxima consumida en la red y de su costo por cada kw.

A continuación, se muestra los resultados de potencia simulada para el «Escenario 3»

Potencia Máxima (kw)	22.05
Potencia Media (kw)	21.10

La potencia máxima consumida en la red es un valor constante que se presentara todos los meses del año, es por ello que no es necesario determinar el valor para todos los meses. Se muestra el costo mensual y anual por potencia consumida:

Costo Mensual de Potencia (s./)	938.16
Costo Anual de Potencia (s./)	11257.88

En el Cuadro 36 se observan la tarifa mensual y anual por consumo energético para el «Escenario 3»

Cuadro 36: Costo energético mensual (s./) «Escenario 3»

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Costo mensual (s./)	S/. 2,806.11	S/. 2,829.76	S/. 3,020.32	S/. 2,710.37	S/. 2,239.13	S/. 1,832.25	S/. 1,827.10	S/. 1,942.27	S/. 2,060.14	S/. 2,345.48	S/. 2,435.85	S/. 2,580.09
Costo energético anual (s./)	S/. 28,628.88											

El costo energético para los diferentes escenarios tiene relación directa con el requerimiento de potencia por turno (caudal, CDT y eficiencia) y la cantidad de turnos que presenta cada uno (horas de riego). Por lo que se tiene un costo energético anual menor para el «Escenario 3» con S/. 28,628.88, seguido del «Escenario 2» con S/. 30,765.39, y finalmente el mayor costo para el «Escenario 1» con S/. 30,870.94, estos dos últimos presentan costos muy similares debido a la semejanza en sus requerimientos de potencia al ser agrupaciones de 3 válvulas.

En la Figura 41 se presentan el costo energético mensual generado por cada uno de los escenarios, se observa que guarda similitud con la Figura 18, con lo que se demuestra que el costo energético tiene relación directa con las necesidades hídricas del cultivo pues dicha figura es la Representación máx., mín. y prom. de ETo (mm/día) . Además, es posible distinguir los tres periodos definidos en la programación de riego, en los meses de verano el costo energético incrementará mientras que en los de invierno será menor.

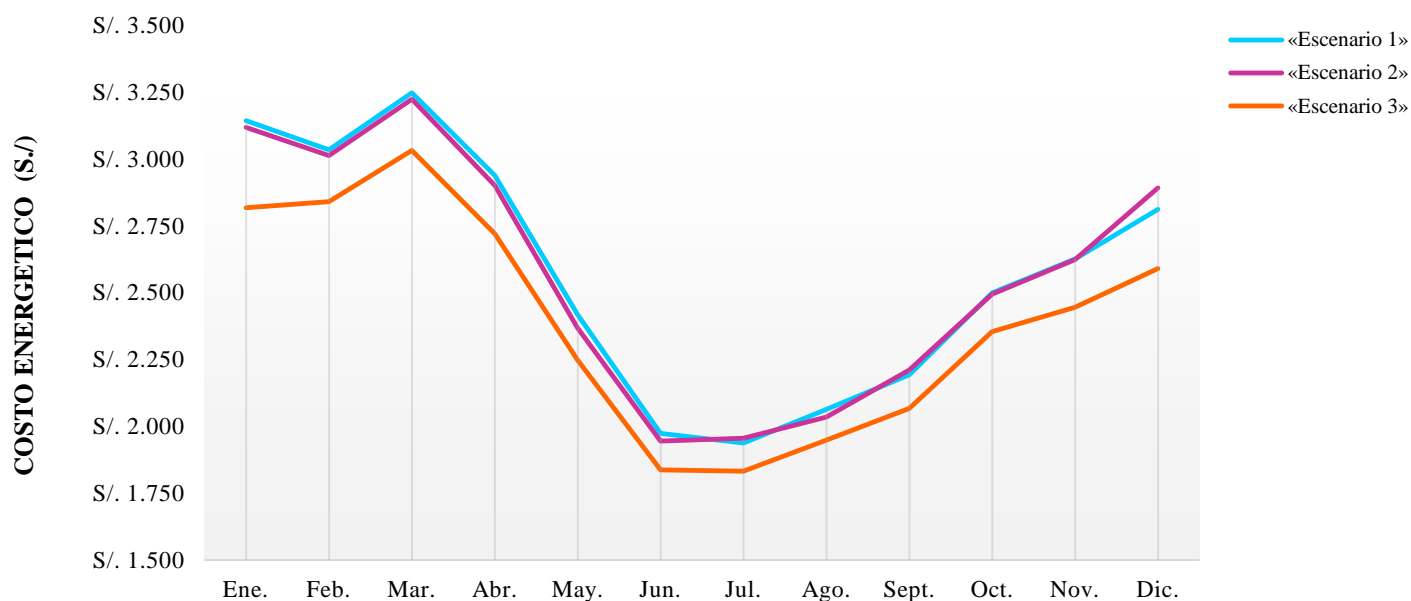


Figura 41: Costo energético mensual para los diferentes escenarios

4.7.4. CDT producida y CDT requerida

Teniendo en cuenta que una bomba cuanto menos caudal suministra más presión proporciona; sin embargo, cuando la red demanda poca agua solicita menor presión, como resultado la bomba suministra un exceso de presión y genera un consumo energético innecesario. En los siguientes resultados se presenta este costo adicional generado para los diferentes escenarios.

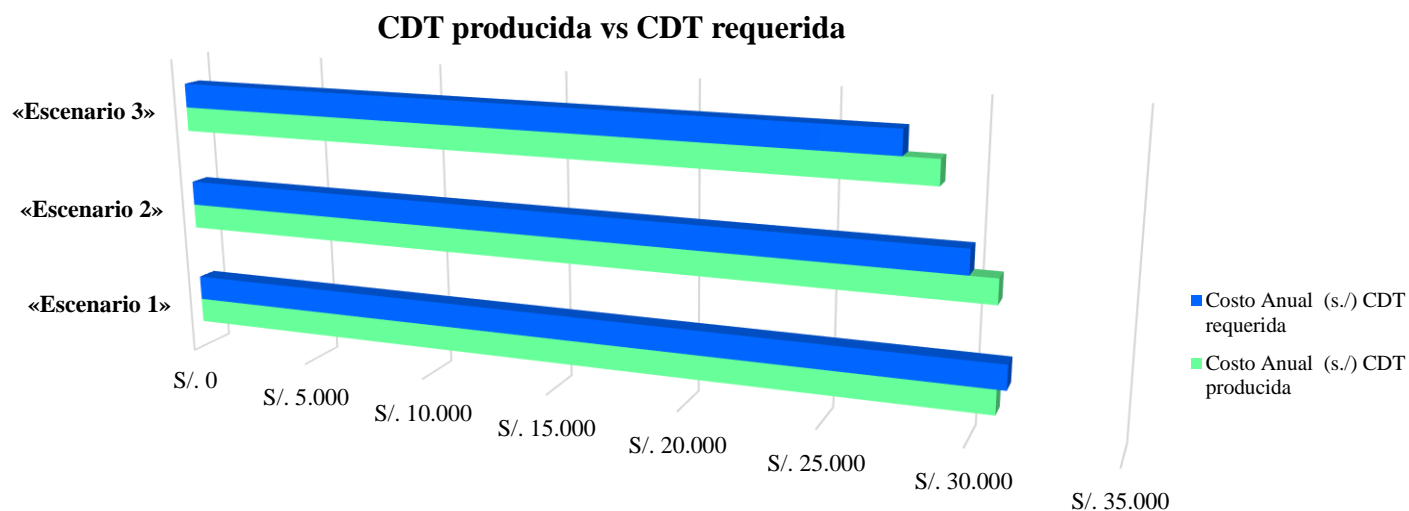


Figura 42: Representación gráfica $CDT_{producida}$ y $CDT_{requerida}$ para los diferentes escenarios

Cuadro 37: Costo anual de sobrepresiones para los diferentes escenarios

	Costo Anual (s./) CDT producida	Costo Anual (s./) CDT requerida	Costo sobrepresión (s./)
«Escenario 1»	S/. 30,870.94	S/. 31,197.97	-S/. 327.03
«Escenario 2»	S/. 30,765.39	S/. 29,800.23	S/. 965.16
«Escenario 3»	S/. 28,628.88	S/. 26,832.78	S/. 1,796.10

Como se puede observar para el «Escenario 1» los requerimientos de presión no son satisfechos.

Mientras que se genera un costo adicional de 3 por ciento y 6 por ciento para el «Escenario 2» y «Escenario 3» respectivamente.

4.8. SISTEMA DE CONSULTA SIG

Los cuadros presentados a continuación son resultado del desarrollo del sistema de consulta SIG, en el que se generó una base de datos de presión, caudal, CDT, tipo de emisor, Ø válvula, Ø tubería para cada uno de los escenarios; para ello se empleó el software ArcGis.

4.8.1. Datos extraídos por válvulas

ID OBJETO	DESCRIP.	Ø VÁLVULA	N° VÁLVULA	CAUDAL (l/s)	PRESIÓN (m.c.a.)	Ø TUBERÍA	TIPO EMISOR
1	V1	Electrov_2_in	1	4.77	43.36	110	Rotor 1/2" y 3/4"
2	V2	Electrov_2_in	2	6.67	43.31	110	Rotor 1/2" y 3/4"
3	V3	Electrov_2_in	3	6.31	44.65	110	Rotor 1/2" y 3/4"
7	V4	Electrov_2_in	4	4.96	53.03	140	Rotor 1/2" y 3/4"
8	V5	Electrov_2_in	5	4.96	53.03	140	Rotor 1/2" y 3/4"
72	V6	Electrov_2_in	6	7.70	44.13	110	Rotor 1/2" y 3/4"
74	V7	Electrov_2_in	7	6.00	44.54	110	Rotor 1/2" y 3/4"
75	V8	Electrov_2_in	8	7.02	44.33	110	Rotor 1/2" y 3/4"
73	V9	Electrov_2_in	9	6.16	44.63	140	Rotor 1/2" y 3/4"
95	V10	Electrov_2_in	10	7.86	43.28	90	Rotor 1/2" y 3/4"
94	V12	Electrov_2_in	12	7.28	43.66	90	Rotor 1/2" y 3/4"
97	V13	Electrov_2_in	13	7.14	45.36	140	Rotor 1/2" y 3/4"
79	V14	Electrov_2_in	14	7.37	43.97	140	Rotor 1/2" y 3/4"
78	V15	Electrov_2_in	15	7.72	43.76	140	Rotor 1/2" y 3/4"
81	V16	Electrov_2_in	16	5.49	51.58	140	Rotor 1/2" y 3/4"
82	V17	Electrov_2_in	17	5.18	51.59	140	Rotor 1/2" y 3/4"
98	V18	Electrov_2_in	18	5.46	51.49	140	Rotor 1/2" y 3/4"
100	V21	Electrov_2_in	21	7.51	42.31	140	Rotor 1/2" y 3/4"
101	V22	Electrov_2_in	22	6.70	41.78	140	Rotor 1/2" y 3/4"
99	V23	Electrov_2_in	23	6.75	44.53	140	Rotor 1/2" y 3/4"
91	V24	Electrov_2_in	24	7.60	52.11	110	Rotor 1/2" y 3/4"
88	V25	Electrov_2_in	25	4.69	51.98	140	Rotor 1/2" y 3/4"
89	V26	Electrov_2_in	26	6.60	49.99	140	Rotor 1/2" y 3/4"
84	V27	Electrov_2_in	27	6.47	52.47	140	Rotor 1/2" y 3/4"
86	V28	Electrov_2_in	28	5.76	51.92	140	Rotor 1/2" y 3/4"
61	V29	Electrov_2_in	29	7.13	41.00	110	Rotor 1/2" y 3/4"
62	V30	Electrov_2_in	30	5.63	43.10	110	Rotor 1/2" y 3/4"
64	V31	Electrov_2_in	31	7.82	42.24	140	Rotor 1/2" y 3/4"
65	V32	Electrov_2_in	32	7.57	43.76	140	Rotor 1/2" y 3/4"
66	V33	Electrov_2_in	33	6.18	48.47	110	Rotor 1/2" y 3/4"
63	V35	Electrov_2_in	35	6.31	41.19	140	Rotor 1/2" y 3/4"
19	V36	Electrov_2_in	36	7.50	44.12	140	Rotor 1/2" y 3/4"
16	V37	Electrov_2_in	37	8.39	46.83	140	Rotor 1/2" y 3/4"
13	V39	Electrov_2_in	39	6.72	47.25	140	Rotor 1/2" y 3/4"
12	V40	Electrov_2_in	40	3.47	47.66	140	Rotor 1/2" y 3/4"
69	V41	Electrov_2_in	41	6.54	53.53	110	Rotor 1/2" y 3/4"
68	V42	Electrov_2_in	42	7.05	48.78	110	Rotor 1/2" y 3/4"
22	V43	Electrov_2_in	43	7.61	46.72	140	Rotor 1/2" y 3/4"
59	V44	Electrov_2_in	44	8.00	48.63	140	Rotor 1/2" y 3/4"
197	V45	Electrov_1_5_in	45	5.99	49.49	160	Rotor 1/2" y 3/4"
57	V46	Electrov_2_in	46	9.82	52.26	160	Rotor 1/2" y 3/4"
106	V47	Electrov_2_in	47	6.73	50.25	140	Rotor 1/2" y 3/4"
203	V48	Electrov_1_5_in	48	4.91	48.29	90	Rotor 1/2" y 3/4"
200	V49	Electrov_1_5_in	49	11.76	52.24	160	Rotor 1/2" y 3/4"
207	V50	Electrov_2_in	50	6.34	51.79	140	Rotor 1/2" y 3/4"
43	V51	Electrov_2_in	51	6.87	50.44	140	Rotor 1"
42	V52	Electrov_2_in	52	6.87	50.38	140	Rotor 1"
44	V53	Electrov_2_in	53	5.49	52.01	90	Rotor 1/2" y 3/4"
204	V54	Electrov_1_5_in	54	3.80	51.99	75	Rotor 1/2" y 3/4"
198	V55	Electrov_1_5_in	55	0.00	0.00	140	Rotor 1/2" y 3/4"
34	V56	Electrov_2_in	56	5.98	52.25	160	Rotor 1"
35	V57	Electrov_2_in	57	6.83	52.26	160	Rotor 1"
36	V58	Electrov_2_in	58	6.83	52.89	160	Rotor 1"

Continuación

ID OBJETO	DESCRIP.	Ø VÁLVULA	N° VÁLVULA	CAUDAL (l/s)	PRESIÓN (m.c.a.)	Ø TUBERÍA	TIPO EMISOR
38	V59	Electrov_2_in	59	5.98	52.47	160	Rotor 1"
39	V60	Electrov_2_in	60	5.98	52.30	160	Rotor 1"
46	V61	Electrov_2_in	61	5.98	50.42	140	Rotor 1"
45	V62	Electrov_2_in	62	5.98	50.43	140	Rotor 1"
47	V63	Electrov_2_in	63	5.98	50.41	140	Rotor 1"
51	V64	Electrov_2_in	64	7.85	51.51	140	Rotor 1"
52	V65	Electrov_2_in	65	7.85	45.99	140	Rotor 1"
53	V66	Electrov_2_in	66	7.85	45.76	140	Rotor 1"
55	V67	Electrov_2_in	67	7.85	45.70	140	Rotor 1"
56	V68	Electrov_2_in	68	7.85	51.26	140	Rotor 1"
206	V69	Electrov_2_in	69	6.87	50.62	140	Rotor 1"
23	V70	Electrov_2_in	70	5.98	53.06	140	Rotor 1"
24	V71	Electrov_2_in	71	4.27	49.54	140	Rotor 1"
27	V72	Electrov_2_in	72	4.97	49.58	90	Rotor 1"
28	V73	Electrov_2_in	73	4.97	49.43	90	Rotor 1"
4	V74	Electrov_2_in	74	10.07	21.36	140	Difusores boquilla regulable
5	V75	Electrov_2_in	75	8.56	21.43	140	Difusores boquilla regulable
10	V76	Electrov_2_in	76	11.23	13.63	90	Difusores boquilla regulable
11	V77	Electrov_2_in	77	7.34	13.69	90	Difusores boquilla regulable
14	V78	Electrov_2_in	78	9.36	11.44	90	Difusores boquilla regulable
17	V79	Electrov_2_in	79	6.63	11.07	140	Difusores boquilla regulable
9	V80	Electrov_2_in	80	10.64	14.05	140	Difusores boquilla regulable
18	V81	Electrov_2_in	81	14.73	11.11	140	Difusores boquilla regulable
25	V82	Electrov_2_in	82	9.02	45.97	140	Difusores boquilla regulable
20	V83	Electrov_2_in	83	6.27	46.49	140	Difusores boquilla regulable
21	V84	Electrov_2_in	84	6.17	45.69	140	Difusores boquilla regulable
6	V85	Electrov_2_in	85	7.90	22.02	140	Difusores boquilla regulable
71	V86	Electrov_2_in	86	8.80	27.95	110	Difusores boquilla regulable
70	V87	Electrov_2_in	87	9.31	38.87	110	Difusores boquilla regulable
77	V88	Electrov_2_in	88	9.33	28.88	140	Difusores boquilla regulable
67	V89	Electrov_2_in	89	7.24	39.90	140	Difusores boquilla regulable
80	V90	Electrov_2_in	90	7.74	34.28	140	Difusores boquilla regulable
83	V91	Electrov_2_in	91	8.26	41.60	140	Difusores boquilla regulable
85	V92	Electrov_2_in	92	10.50	47.00	140	Difusores boquilla regulable
76	V93	Electrov_2_in	93	8.80	28.51	140	Difusores boquilla regulable
92	V94	Electrov_2_in	94	10.01	32.54	140	Difusores boquilla regulable
93	V95	Electrov_2_in	95	8.26	32.53	140	Difusores boquilla regulable
60	V96	Electrov_2_in	96	8.66	37.83	75	Difusores boquilla regulable
87	V97	Electrov_2_in	97	7.57	39.46	140	Difusores boquilla regulable
90	V98	Electrov_2_in	98	5.83	46.97	110	Difusores boquilla regulable
102	V99	Electrov_2_in	99	6.39	43.98	140	Difusores boquilla regulable
31	V100	Electrov_2_in	100	7.36	50.12	160	Difusores boquilla regulable
49	V101	Electrov_2_in	101	7.30	49.23	140	Difusores boquilla regulable
32	V103	Electrov_2_in	103	6.20	54.02	160	Difusores boquilla regulable
50	V104	Electrov_2_in	104	8.86	48.50	140	Difusores boquilla regulable
58	V105	Electrov_2_in	105	10.71	39.84	160	Difusores boquilla regulable
105	V106	Electrov_2_in	106	8.22	51.75	140	Difusores boquilla regulable
29	V107	Electrov_2_in	107	6.40	0.00	140	
30	V108	Electrov_2_in	108	6.40	0.00	140	
201	V109	Electrov_1_5_in	109	3.04	0.00	140	
202	V110	Electrov_1_5_in	110	3.90	0.00	140	
205	V111	Electrov_3_in	111	11.66	0.00	140	
40	V112	Electrov_2_in	112	6.83	52.73	160	Rotor 1"
33	V113	Electrov_2_in	113	8.54	53.05	160	Rotor 1"
48	V114	Electrov_2_in	114	8.54	52.50	140	Rotor 1"
37	V115	Electrov_2_in	115	8.54	53.07	160	Rotor 1"
41	V116	Electrov_2_in	116	6.87	50.47	140	Rotor 1"

4.8.2. Datos extraídos para «Escenario 1»

ID OBJETO	Nº TURNO	TURNO	ÁREA (Ha)	ÁREA (m2)	PERÍMETRO (m)	CDT (m)	PRESIÓN (m.c.a.)	CAUDAL (l/s)	TIPO EMISOR
137	1	Turno 1	0.63	6328.45	1024.58	62.74	35.00	17.70	Rotores 1/2" y 3/4"
138	2	Turno 2	0.60	5994.73	611.20	54.23	35.00	16.50	Rotores 1/2" y 3/4"
141	3	Turno 3	0.71	7065.07	1319.58	62.07	35.00	19.90	Rotores 1/2" y 3/4"
144	4	Turno 4	0.68	6779.40	1179.20	62.55	35.00	22.10	Rotores 1/2" y 3/4"
147	5	Turno 5	0.65	6482.30	1057.82	63.00	35.00	22.30	Rotores 1/2" y 3/4"
150	6	Turno 6	0.60	6045.78	534.77	55.81	35.00	16.10	Rotores 1/2" y 3/4"
153	7	Turno 7	0.62	6222.32	1005.50	64.58	30.00	21.00	Rotores 1/2" y 3/4"
156	8	Turno 8	0.42	4246.83	1093.96	55.42	35.00	19.70	Rotores 1/2" y 3/4"
159	9	Turno 9	0.59	5851.97	925.25	55.47	35.00	16.90	Rotores 1/2" y 3/4"
162	10	Turno 10	0.59	5895.38	1070.81	58.43	35.00	19.80	Rotores 1/2" y 3/4"
167	11	Turno 11	0.51	5148.40	957.87	65.17	30.00	21.30	Rotores 1/2" y 3/4"
168	12	Turno 12	0.63	6261.05	1149.75	63.45	30.00	20.70	Rotores 1/2" y 3/4"
171	13	Turno 13	0.52	5223.82	984.27	59.96	35.00	18.60	Rotores 1/2" y 3/4"
174	14	Turno 14	0.57	5712.11	1463.84	60.25	35.00	21.60	Rotores 1/2" y 3/4"
177	15	Turno 15	0.50	4978.52	1105.31	59.14	35.00	23.40	Rotores 1/2" y 3/4"
180	16	Turno 16	0.52	5186.14	513.27	67.77	40.00	18.80	Rotores 1"
183	17	Turno 17	0.28	2804.34	516.71	68.45	40.00	15.70	Rotores 1"
189	18	Turno 18	0.61	6059.62	337.85	73.36	40.00	23.50	Rotores 1"
192	19	Turno 19	0.19	1879.31	531.15	70.01	40.00	14.20	Rotores 1"
195	20	Turno 20	0.13	1307.09	936.49	60.17	18.00	26.50	Difusores de boquilla regulable
198	21	Turno 21	0.15	1486.20	886.71	60.56	18.00	29.20	Difusores de boquilla regulable
201	22	Turno 22	0.15	1492.07	954.05	60.12	18.00	30.70	Difusores de boquilla regulable
204	23	Turno 23	0.13	1287.30	740.26	42.07	21.00	21.50	Difusores de boquilla regulable
207	24	Turno 24	0.14	1428.34	753.53	53.43	21.00	26.90	Difusores de boquilla regulable
210	25	Turno 25	0.15	1509.00	903.62	48.92	21.00	24.80	Difusores de boquilla regulable
213	26	Turno 26	0.13	1344.90	899.26	45.72	21.00	22.70	Difusores de boquilla regulable
216	27	Turno 27	0.13	1283.43	891.49	51.75	21.00	26.00	Difusores de boquilla regulable
219	28	Turno 28	0.16	1585.17	1123.95	45.02	21.00	26.90	Difusores de boquilla regulable
222	29	Turno 29	0.16	1622.04	794.63	41.86	21.00	23.50	Difusores de boquilla regulable
225	30	Turno 30	0.10	996.17	500.38	38.89	21.00	14.42	Difusores de boquilla regulable
227	31	Turno 31	0.41	4070.63	334.11	69.63	40.00	13.74	Rotores 1"
229	32	Turno 32	0.73	7255.99	715.10	56.28	35.00	15.60	Rotores 1/2" y 3/4"
232	33	Turno 33	0.56	5627.45	500.50	67.80	40.00	18.80	Rotores 1"
235	34	Turno 34	0.61	6101.54	370.78	69.39	40.00	17.90	Rotores 1"
238	35	Turno 35	0.28	2781.23	537.83	67.43	40.00	15.37	Rotores 1"
240	36	Turno 36	0.20	2004.29	571.22	67.55	40.00	15.37	Rotores 1"
243	37	Turno 37	0.27	2726.85	511.63	69.55	40.00	15.37	Rotores 1"

4.8.3. Datos extraídos para «Escenario 2»

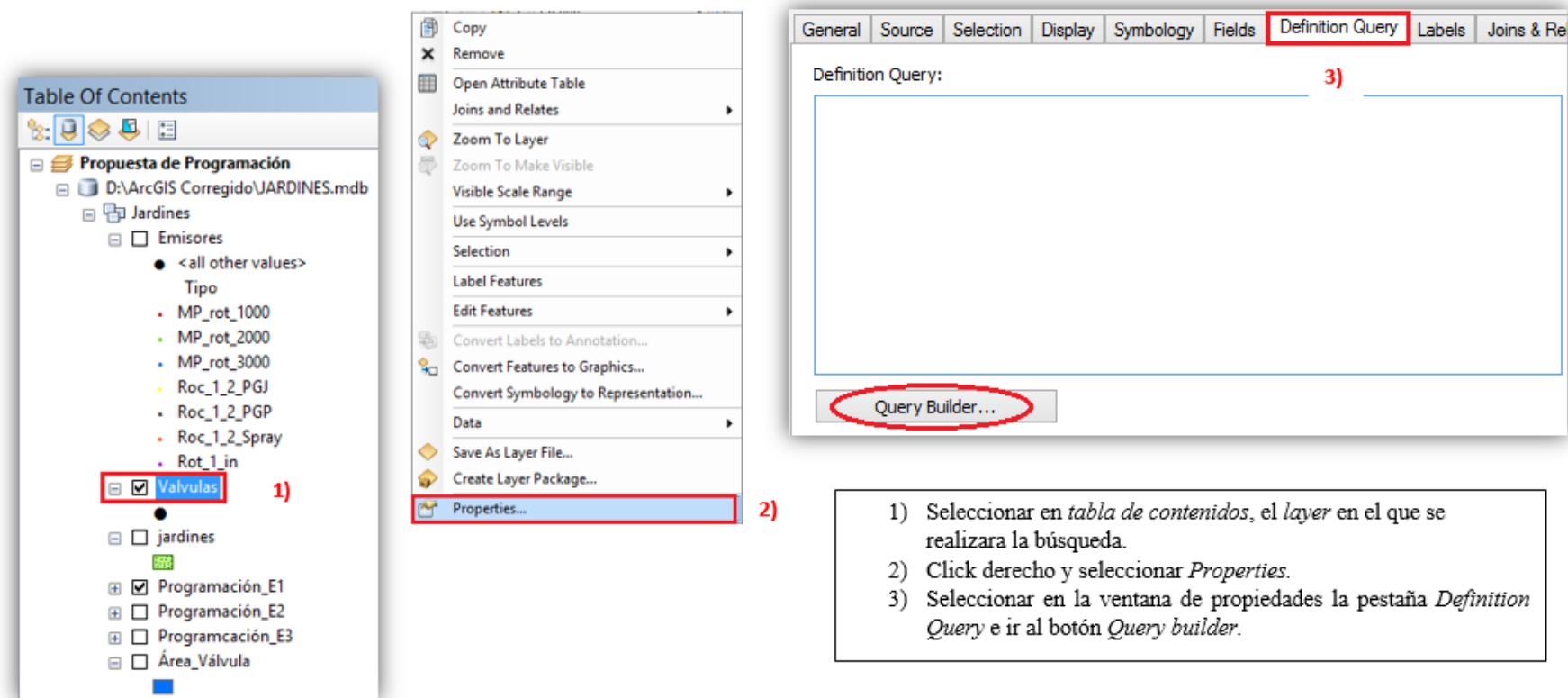
ID OBJETO	N° TURNO	TURNO	ÁREA (Ha)	ÁREA (m2)	PERÍMETRO (m)	CDT (m)	PRESIÓN (m.c.a.)	CAUDAL (l/s)	TIPO EMISOR
124	1	Turno 1	0.63	6328.45	1024.58	64.41	30.00	17.70	Rotores 1/2" y 3/4"
127	2	Turno 2	0.69	6948.78	570.96	56.46	35.00	17.60	Rotores 1/2" y 3/4"
130	3	Turno 3	0.76	7570.46	1002.48	62.54	35.00	19.20	Rotores 1/2" y 3/4"
133	4	Turno 4	0.60	5984.72	1045.10	62.15	35.00	20.60	Rotores 1/2" y 3/4"
137	5	Turno 5	0.65	6482.30	1057.82	64.69	35.00	22.30	Rotores 1/2" y 3/4"
140	6	Turno 6	0.63	6260.82	546.55	58.18	35.00	17.10	Rotores 1/2" y 3/4"
143	7	Turno 7	0.62	6222.32	1005.50	66.25	30.00	21.00	Rotores 1/2" y 3/4"
146	8	Turno 8	0.56	5570.69	1061.77	59.20	35.00	18.90	Rotores 1/2" y 3/4"
149	9	Turno 9	0.56	5643.93	828.27	60.66	35.00	18.50	Rotores 1/2" y 3/4"
152	10	Turno 10	0.57	5675.18	1080.17	62.36	35.00	21.60	Rotores 1/2" y 3/4"
155	11	Turno 11	0.63	6292.59	1133.83	65.80	35.00	22.60	Rotores 1/2" y 3/4"
158	12	Turno 12	0.45	4507.35	959.58	58.11	35.00	17.10	Rotores 1/2" y 3/4"
161	13	Turno 13	0.58	5755.10	1241.17	63.34	35.00	21.90	Rotores 1/2" y 3/4"
164	14	Turno 14	0.50	4978.52	1105.31	60.82	35.00	23.40	Rotores 1/2" y 3/4"
167	15	Turno 15	0.32	3238.28	968.59	56.40	35.00	15.80	Rotores 1/2" y 3/4"
172	16	Turno 16	0.52	5186.14	513.27	64.98	40.00	18.80	Rotores 1"
176	17	Turno 17	0.61	6059.62	337.85	67.98	40.00	23.50	Rotores 1"
179	18	Turno 18	0.19	1879.31	531.15	64.96	40.00	14.20	Rotores 1"
180	19	Turno 19	0.28	2804.34	516.71	63.60	40.00	15.70	Rotores 1"
183	20	Turno 20	0.12	1211.41	1012.06	64.31	21.00	28.60	Difusores boquilla regulable
186	21	Turno 21	0.15	1547.46	887.41	61.21	21.00	29.30	Difusores boquilla regulable
189	22	Turno 22	0.15	1526.48	907.37	58.29	21.00	29.20	Difusores boquilla regulable
196	23	Turno 23	0.13	1287.30	740.26	45.92	21.00	21.50	Difusores boquilla regulable
197	24	Turno 24	0.16	1571.91	903.32	54.88	18.00	27.40	Difusores boquilla regulable
200	25	Turno 25	0.13	1264.10	813.24	55.75	21.00	27.10	Difusores boquilla regulable
206	26	Turno 26	0.14	1384.76	831.17	47.49	21.00	23.20	Difusores boquilla regulable
207	27	Turno 27	0.15	1481.94	1086.32	54.05	21.00	26.70	Difusores boquilla regulable
210	28	Turno 28	0.14	1448.12	936.90	44.27	21.00	22.90	Difusores boquilla regulable
213	29	Turno 29	0.16	1622.04	794.63	42.86	21.00	23.50	Difusores boquilla regulable
218	30	Turno 30	0.10	996.17	500.38	40.55	21.00	14.42	Difusores boquilla regulable
219	31	Turno 31	0.73	7255.99	715.10	57.94	35.00	15.60	Rotores 1/2" y 3/4"
222	32	Turno 32	0.56	5627.45	500.50	63.31	40.00	18.80	Rotores 1"
225	33	Turno 33	0.61	6101.54	370.78	64.65	40.00	17.90	Rotores 1"
228	34	Turno 34	0.41	4070.63	334.11	66.03	40.00	13.74	Rotores 1"
230	35	Turno 35	0.34	3439.87	858.39	66.12	40.00	23.90	Rotores 1"
233	36	Turno 36	0.41	4072.50	764.37	67.19	40.00	20.60	Rotores 1"

4.8.4. Datos extraídos para «Escenario 3»

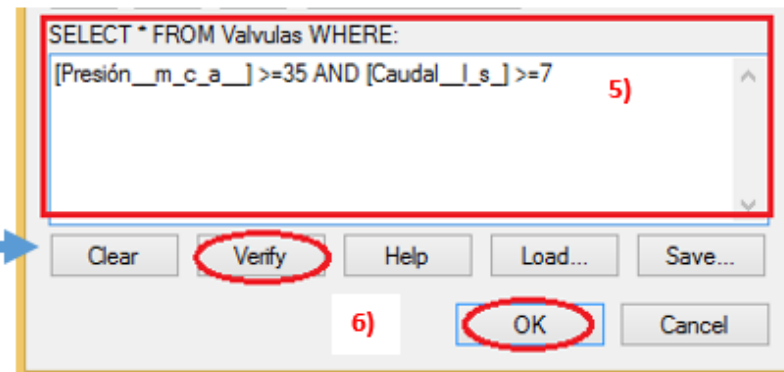
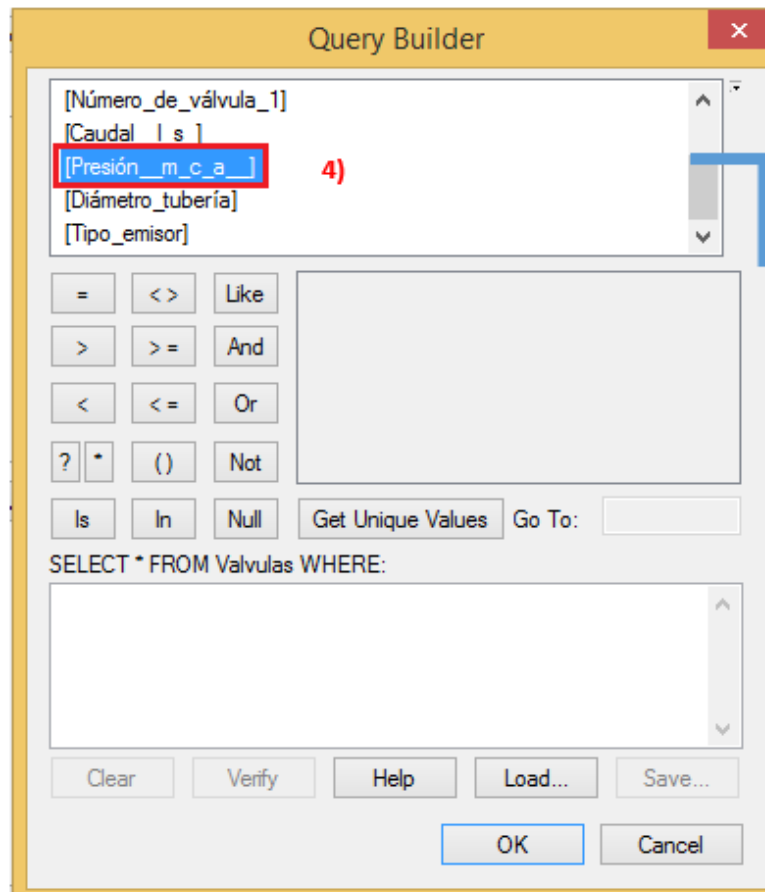
ID OBJETO	Nº TURNO	TURNO	ÁREA (Ha)	ÁREA (m2)	CDT (m)	PERÍMETRO (m)	PRESIÓN (m.c.a.)	CAUDAL (l/s)	TIPO EMISOR
122	1	Turno 1	0.87	8696.97	61.32	1173.00	25.00	21.10	Rotores 1/2" y 3/4"
126	2	Turno 2	0.96	9574.64	57.21	1335.01	25.00	23.08	Rotores 1/2" y 3/4"
130	3	Turno 3	0.86	8560.81	60.74	1354.68	25.00	25.65	Rotores 1/2" y 3/4"
134	4	Turno 4	0.86	8601.93	59.19	976.85	25.00	23.96	Rotores 1/2" y 3/4"
138	5	Turno 5	0.84	8366.19	55.64	1366.78	25.00	26.11	Rotores 1/2" y 3/4"
142	6	Turno 6	0.76	7568.02	55.55	1328.02	25.00	23.55	Rotores 1/2" y 3/4"
150	7	Turno 7	0.76	7552.44	60.05	1206.04	25.00	24.24	Rotores 1/2" y 3/4"
151	8	Turno 8	0.70	6996.40	58.28	1398.00	25.00	25.62	Rotores 1/2" y 3/4"
155	9	Turno 9	0.76	7570.22	60.52	1323.88	25.00	24.23	Rotores 1/2" y 3/4"
159	10	Turno 10	0.70	6988.96	56.57	1712.69	25.00	27.98	Rotores 1/2" y 3/4"
163	11	Turno 11	0.70	6982.95	54.65	1602.37	25.00	28.80	Rotores 1/2" y 3/4"
167	12	Turno 12	0.52	5186.14	64.98	513.27	40.00	17.68	Rotores 1"
173	13	Turno 13	0.61	6059.62	67.98	337.85	40.00	22.13	Rotores 1"
174	14	Turno 14	0.19	1879.31	64.96	531.15	40.00	13.37	Rotores 1"
177	15	Turno 15	0.28	2804.34	63.60	516.71	40.00	14.75	Rotores 1"
179	16	Turno 16	0.12	1211.41	55.58	1012.06	21.00	26.39	Difusores boquilla regulable
182	17	Turno 17	0.15	1547.46	53.81	887.41	21.00	26.76	Difusores boquilla regulable
188	18	Turno 18	0.15	1526.48	58.29	907.37	21.00	26.31	Difusores boquilla regulable
189	19	Turno 19	0.16	1571.91	54.88	903.32	18.00	27.44	Difusores boquilla regulable
195	20	Turno 20	0.13	1264.10	55.75	813.24	21.00	27.07	Difusores boquilla regulable
196	21	Turno 21	0.14	1384.76	47.49	831.17	21.00	23.24	Difusores boquilla regulable
199	22	Turno 22	0.15	1453.59	44.82	1008.48	21.00	23.90	Difusores boquilla regulable
202	23	Turno 23	0.15	1512.21	43.64	893.79	21.00	24.46	Difusores boquilla regulable
205	24	Turno 24	0.17	1736.70	52.92	1118.41	18.00	27.70	Difusores boquilla regulable
209	25	Turno 25	0.21	2133.06	43.73	1037.80	21.00	30.57	Difusores boquilla regulable
213	26	Turno 26	0.79	7933.65	65.52	777.65	40.00	24.96	Rotores 1"
221	27	Turno 27	0.79	7865.97	65.27	588.71	40.00	22.51	Rotores 1"
222	28	Turno 28	0.34	3439.87	64.26	858.39	40.00	22.51	Rotores 1"
225	29	Turno 29	0.41	4072.50	65.19	764.37	40.00	19.34	Rotores 1"
228	30	Turno 30	0.73	7255.99	57.94	715.10	35.00	13.90	Rotores 1/2" y 3/4"

4.8.5. Uso de herramienta Definition query

Para realizar búsquedas en ArcGIS utilizando la herramienta Definition query, se realizan los siguientes pasos:



- 1) Seleccionar en *tabla de contenidos*, el *layer* en el que se realizara la búsqueda.
- 2) Click derecho y seleccionar *Properties*.
- 3) Seleccionar en la ventana de propiedades la pestaña *Definition Query* e ir al botón *Query builder*.



- 4) Dentro del buscador se selecciona la *descripción* (presión, caudal, CDT, tipo de emisor, Ø válvula, Ø tubería) con la que se realizara la búsqueda
- 5) Realizar la digitalización en la ventana *Select from*,
- 6) Realizar la *verificación* de la búsqueda y click en *ok*

General Source Selection Display Symbology Fields Defin...

Definition Query:

[Presión__m_c_a_] >=35 AND [Caudal__l_s_] >=7

Query Builder...

7) Click en aplicar y aceptar.

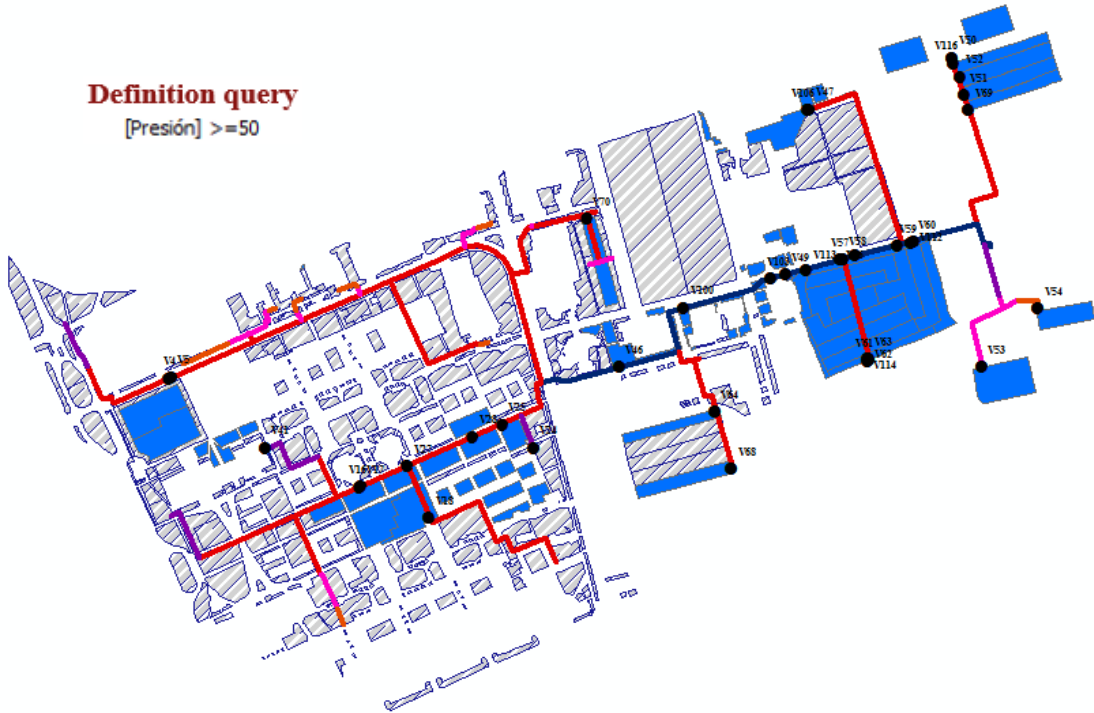
8) Finalmente se visualizan los elementos del layer encontrados en la búsqueda en la pantalla.

8)

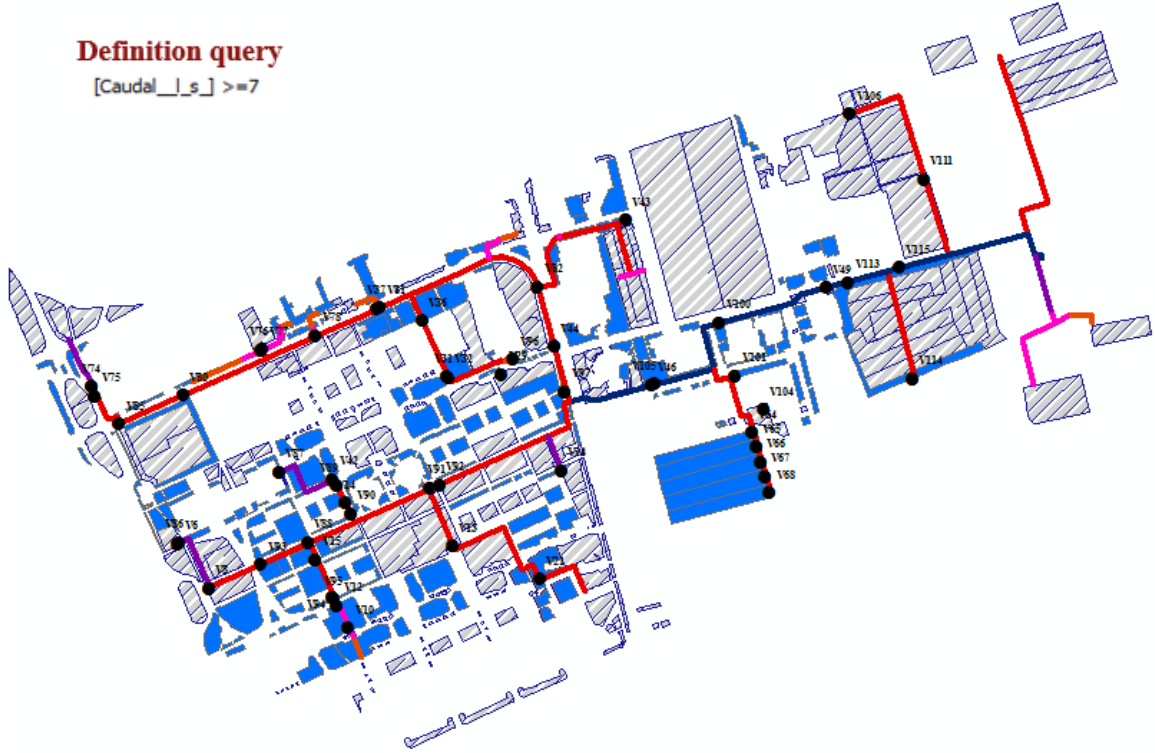
7) Aceptar Cancelar Aplicar

A continuación, se presentan algunos ejemplos del empleo de la herramienta Definition query, que facilita la búsqueda de datos en ArcGis.

Para determinar los sectores de riego con presión mayor o igual a 50 m.c.a.



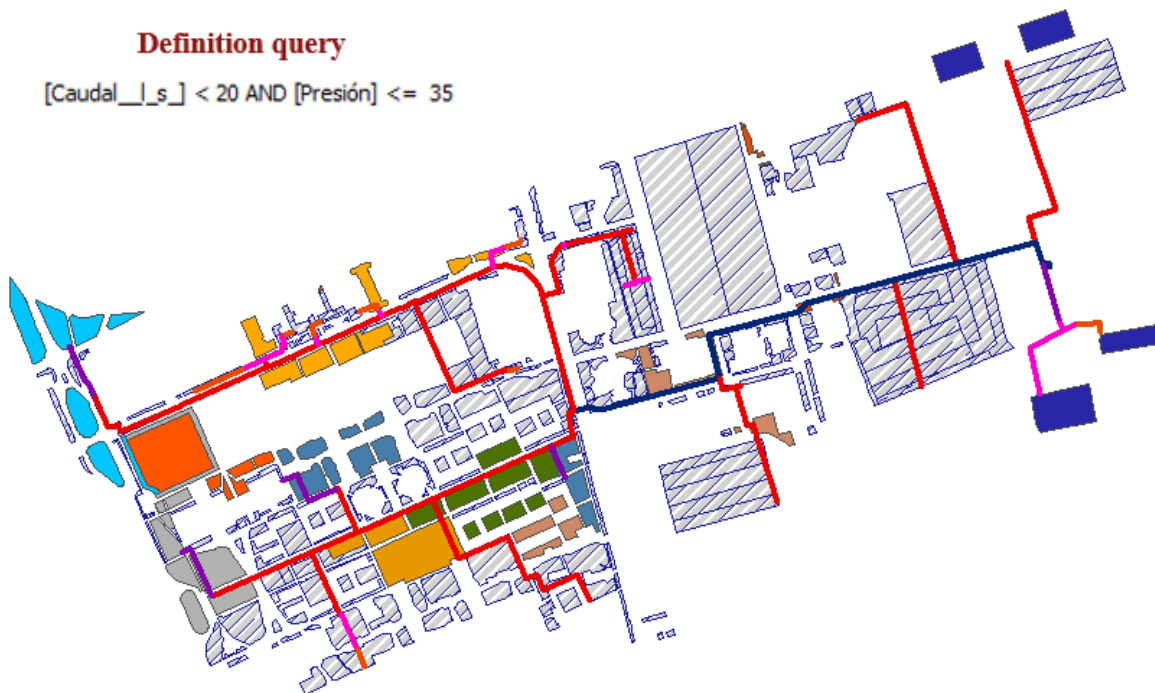
Para determinar los sectores de riego con caudal mayor o igual a 7 l/s



Para determinar los sectores de riego con presión menor o igual a 35 m.c.a. caudal menor o igual a 20 l/s para el «Escenario 1».

Definition query

[Caudal__l_s] < 20 AND [Presión] <= 35



V. CONCLUSIONES

- El parámetro calibrado es la rugosidad y los valores 135 y 140 asignados al factor «C» de Hazen-William son los que representan la rugosidad actual de las tuberías del sistema.
- La calibración del sistema hidráulico de riego por aspersión de los jardines de la UNALM presenta una pendiente en la ecuación de regresión lineal de las presiones cercana a la unidad y un valor de R^2 alrededor de 0.99 para los tres escenarios.
- La relación entre la curva característica de la bomba y los puntos de operación requeridos por el sistema reflejan los déficits de presión y sobrepresiones, el «Escenario 3» muestra valores de eficiencia entre 72 y 80 por ciento.
- La programación de riego para los tres escenarios simulados presenta tres periodos durante el año, el primero de enero a abril, el segundo de mayo a octubre y un último periodo de noviembre a diciembre, presentando tiempos de riego mayores para agrupaciones de 4 válvulas en comparación con agrupaciones de 3 válvulas.
- La relación de la curva característica de la bomba y los puntos de operación del sistema, genera un menor costo energético anual para el «Escenario 3» con un costo anual de S/. 28,628.88, seguido del «Escenario 2» con S/. 30,765.39 y finalmente el «Escenario 1» con S/. 30,870.94; teniendo en cuenta la calibración y el costo energético, es adecuada la implementación de la programación de riego perteneciente al «Escenario 3», generando un ahorro anual de S/. 2,242.06 en comparación con el escenario actual.
- El desarrolló del sistema de consulta SIG permite monitorear las áreas de jardines a través de herramientas de consulta de manera sencilla respecto a: presión, caudal, CDT, tipo de emisor, diámetro de válvula y diámetro de tubería.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1. Es necesario realizar pruebas de coeficiente de uniformidad a fin de determinar la eficiencia de aplicación de riego del sistema al trabajar con sectores de riego conformados tanto por 3 o 4 válvulas.

- 6.3. Teniendo la instalación de riego por aspersión y buscando disminuir el consumo de agua y energía se recomienda la siembra de distintos tipos de césped con menores consumos de agua que el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*), tales como el césped Paspalum (*Paspalum notatum*) y el césped bermuda (*Cynodon dactylon*).

- 6.4. Respecto al costo que produce el exceso de presión en la bomba, lo que genera un costo energético elevado, se recomienda evaluar la implementación de variadores de frecuencia para mejorar la eficiencia energética.

- 6.5. Respecto a las pérdidas por singularidades se recomienda realizar la simulación hidráulica considerando cada uno de los accesorios, y determinar el porcentaje que representan estas pérdidas respecto a la pérdida total en el sistema.

- 6.6. Respecto a la operación y mantenimiento del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM se recomienda realizar periódicamente la limpieza de la red, a fin de evitar obstrucciones, además llevar un registro de las incidencias, rotura de tuberías, rotura y cambio de boquillas, que pudiera perjudicar en el funcionamiento hidráulico del sistema.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

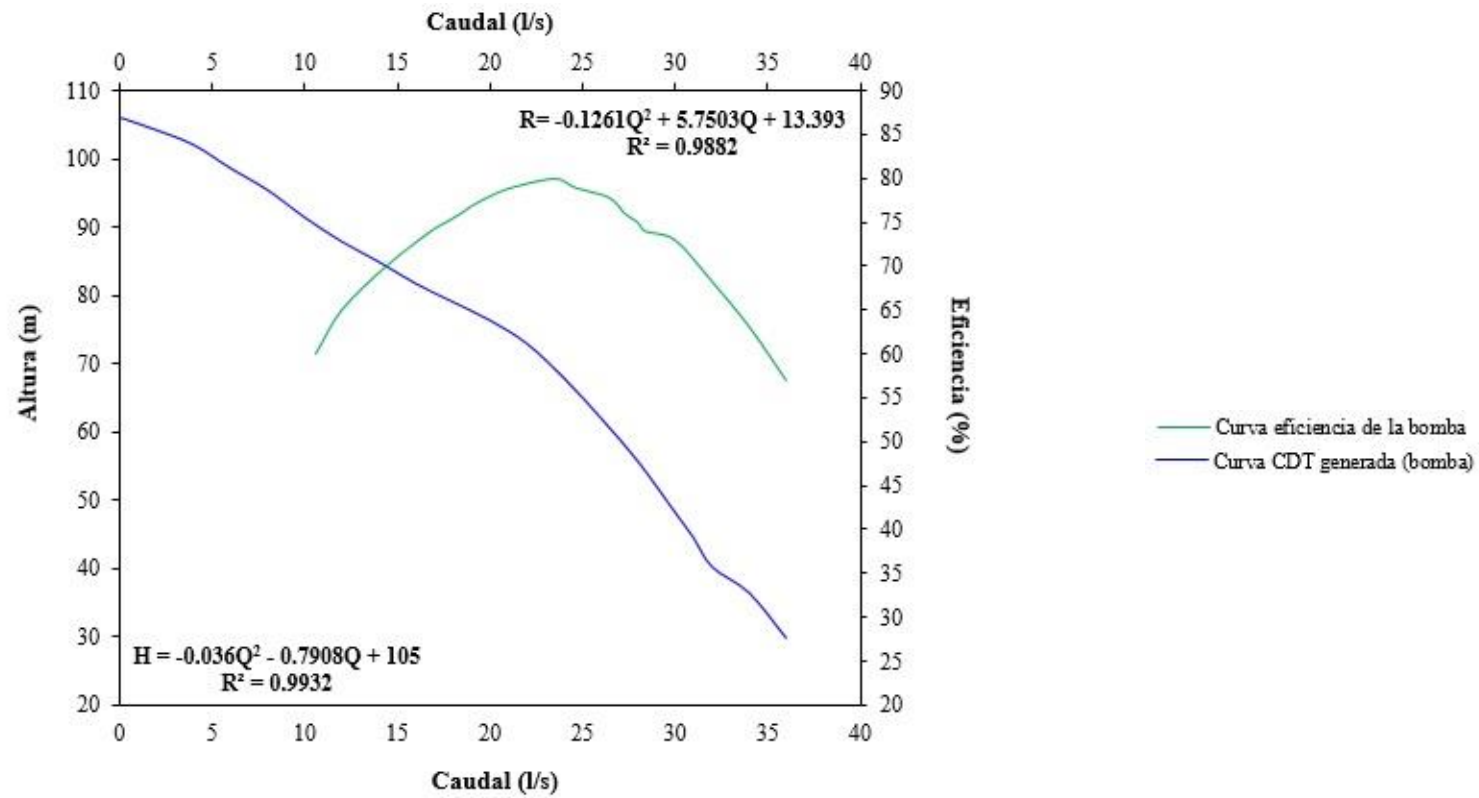
- ADRA PERU (Agencia Adventista para el Desarrollo y Recursos Asistenciales Perú). 2009. Manual de Operación y Mantenimiento. Lima, PE, Lehmann. p. 12-3.
- Alves, Z; Muranho, J; Albuquerque, T; Ferreira, A. 2014. Water distribution network's modeling and calibration. A case study based on scarce inventory data. *Procedia Engineering* no. 70: 31- 40.
- Bentley Communities. Gutiérrez, J. 2011. Historia de los métodos de análisis y modelos computacionales para análisis de redes de distribución a presión (en línea). Consultado 15 jun. 2016. Disponible en: http://communities.bentley.com/other/old_site_member_blogs/bentley_employees/b/juan_gutierrez_blog/archive/2011/05/19/historia-de-los-metodos-de-analisis-y-modelos-computacionales-para-an-193-lisis-de-redes-de-distribuci-211-n-a-presi-211-n
- Bosch, P; Recio, I. 2014. Calibración y simulación del sistema fuente para abasto de agua del acueducto El Gato (en línea). *CIH Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 35(1): 101 – 115. Consultado 28 ago. 2016. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v35n1/riha08114.pdf>
- Bravo Torres, B. 1994. Aplicación del SIG al procesamiento de la información catastral-Caso valle Chao departamento de La Libertad. Tesis Ing. Agrícola. Lima, PE. UNALM. 107 p.
- Castañón, G. 2000. Ingeniería de Riego. Utilización Racional del Agua. 1 ed. Madrid, ES. Paraninfo. 216 p.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute) 2009. ¿Qué es un SIG? (en línea). Madrid, ES. Consultado 15 octubre. 2015. Disponible en <http://www.esri.es/es/formacion/formacion-esri-espana/que-es-un-sig/>

- Fiorini Morosini, A; Costanzo, F; Veltri, P; Savic, D. 2014. Identification of Measurement Points for Calibration of Water Distribution Network Models. *Procedia Engineering* no. 89: 693 – 701.
- Fuentes, JL. 2003. *Técnicas de Riego*. 4 ed. Madrid. Mundi-Prensa. 483 p.
- 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*. Estudio FAO Riego y Drenaje (56). 298 p. Consultado 02 set. 2016. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>
- García Alcaraz, M. 2006. *Modelación y Simulación de Redes Hidráulicas a Presión mediante Herramientas Informáticas*. Tesis Ing. Civil. Cartagena, CO. UPCT. 157p. Consultado 12 oct. 2015. Disponible en: http://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_MMarGracia_2006.pdf
- Koppel, T; Vassiljev, A. 2009. Calibration of a model of an operational water distribution system containing pipes of different age. *Advances in Engineering Software* no. 40: 659–664.
- Lluen Montano, JD. 2015. *Análisis hidráulico energético mediante simulación y optimización de diversos escenarios de operación del sistema de riego en los jardines de la UNALM*. Tesis Ing. Agrícola. Lima, PE. UNALM. 221 p.
- Parra, JA; Velasco, LG. 2014. *Diseño para construcción de un banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga en un sistema de tuberías*. Tesis Ing. Mecánico. Cali, CO. UAO. 146 P.
- Pérez Farrás, LE. 2007. *Criterios de diseño, cálculo y selección de tuberías en base al criterio de las Prestaciones Equivalentes (en línea)*. Consultado 3 mayo 2016. Disponible en http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_criterio_seleccion_tuberias.pdf
- RAIN BIRD. 2015. *Productos de riego paisajístico-Catálogo 2015*. 188 p.

- Rodríguez, AM; Ávila, R; Yruela, MC; Plaza, R; Navas, A; Fernández, R. 2012. Manual de Riego de Jardines. Andalucía, ES. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. 264 p. Consultado 19 oct. 2015. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337165055Manual_de_Riego_de_Jardines__BAJA.pdf
- Savic D. A. and Walters, G. A. (1995). "Genetic algorithm techniques for calibrating network models", University of Exeter, Centre for Systems and Control Engineering, Report Number: 95/12, United Kingdom, Dec.
- Sanz, G; Pérez, R. 2014. Demand pattern calibration in water distribution networks. *Procedia Engineering* no. 70: 1495 – 1504.
- Sanz, G; Pérez, R. 2015. Comparison of demand calibration in water distribution networks using pressure and flow sensors. *Procedia Engineering* no. 119: 771 - 780.
- Shahzad, A; James, W. 2002. Loss in Carrying Capacity of Water Mains due to Encrustation and Biofouling, and Application to Walkerton, Ontario (en línea). *CHI Journal of Water Management Modeling*. Consultado 28 ago. 2016. Disponible en: <https://www.chijournal.org/Journals/PDF/R208-19>
- Tarjuelo, JM. 2005. *El Riego por Aspersión y su Tecnología*. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 581 p.
- Vargas, C. 1998. El sistema de información geográfica en la evaluación y planificación del bosque tropical. En *La informática y sus aplicaciones en la forestería Documento de campo FAO-MRTAL* no. 13: 35-48.
- WaterCAD Proven water distribution modeling. Bentley Systems. 2016. *Water Distribution Modeling and Analysis Software* (en línea). Consultado 7 jun. 2016. Disponible en: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watercad>
- Walski T. M. 2001. Understanding the adjustments for water distribution system model calibration. *Journal of Indian Water Works Association*, April-June, Vol. 4, no. 3: 151-157.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Curva característica bomba Hidrostral B08M-H de Ø 145



Anexo 2: Determinación de la velocidad de aplicación y caudal por válvula según catálogo.

SISTEMA DE RIEGO DE AREAS VERDES URBANAS UNALM																									
CONTROLADOR MONOCABLE																									
TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	N° de emisores en turnos de Rotores de 1/2" y 3/4"															Velocidad de aplicación (mm/hr)	Caudal (m3/h)	Caudal por válvula	N° Emisores				
			Rotor 5000 Boquilla 1.5				Rotor 5000 Boquilla 2.5				Rotor 3500 Boquilla 2				R13-18							R17-24			
			360	270	180	90	360	270	180	90	360	270	180	90	360	180	90					360	180	90	
			mm/hr			m3/hr			l/s			unid													
1	1	1	0	0	26	3	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.08	16.13	4.48	38.0		
	2	2	2	0	24	10	6	0	0	0	6	0	3	1	0	4	0	0	0	9.04	22.56	6.27	56.0		
	3	3	0	0	24	7	11	0	0	0	3	1	2	1	0	0	0	0	0	8.07	21.36	5.93	49.0		
2	4	4	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.50	16.80	4.67	28.0		
	5	5	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.50	16.80	4.67	28.0		
	6	41	0	0	6	17	0	0	0	0	2	0	9	2	0	2	0	5	6	13.63	22.13	6.15	49.0		
3	7	6	0	0	31	15	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	4	8	10.58	26.07	7.24	62.0		
	8	7	0	0	24	6	13	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	8.26	20.31	5.64	48.0		
	9	9	0	0	23	9	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.54	20.84	5.79	47.0		
4	10	8	0	0	25	7	17	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	7.97	23.77	6.60	54.0		
	11	14	0	0	18	19	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	10	0	11.08	24.93	6.93	57.0		
	12	15	0	1	19	17	9	0	0	0	3	0	4	0	0	0	0	2	4	1	9.99	26.12	7.26	60.0	
5	13	10	0	2	21	14	9	0	0	0	9	0	6	0	0	2	0	0	0	8.88	26.61	7.39	63.0		
	14	12	0	1	16	13	13	0	0	0	2	0	3	2	0	0	2	0	5	10.02	24.63	6.84	57.0		
	15	13	0	0	22	15	9	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	2	9.42	24.17	6.71	58.0		
6	16	16	0	0	16	5	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.74	18.57	5.16	39.0		
	17	17	0	0	12	2	19	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6.08	17.52	4.87	35.0		
	18	18	0	2	10	4	18	0	0	0	0	0	1	1	0	3	1	0	0	7.88	18.48	5.13	40.0		
7	19	21	0	4	13	20	3	0	0	0	2	0	5	3	1	1	3	1	6	12.22	25.43	7.06	65.0		
	20	22	0	2	16	8	11	0	0	0	3	2	5	0	0	0	0	1	2	8.65	22.68	6.30	50.0		
	21	23	0	0	20	10	18	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	7.74	22.84	6.34	50.0		
8	22	24	0	1	17	16	0	0	0	0	11	0	13	2	1	1	0	0	0	10.89	25.72	7.15	63.0		
	23	46	2	1	10	8	2	0	0	0	2	0	17	14	1	17	19	0	3	14.32	33.22	9.23	98.0		
	24	55	0	0	6	4	1	0	0	0	2	0	4	0	0	2	2	0	0	10.83	7.82	2.17	21.0		
9	25	25	0	0	13	10	6	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	9.08	15.87	4.41	37.0		
	26	27	0	0	22	8	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.23	21.90	6.08	48.0		
	27	28	0	0	22	8	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.48	19.50	5.42	44.0		
10	28	26	0	2	19	10	6	0	0	0	7	0	4	0	0	7	4	0	0	9.69	22.35	6.21	59.0		
	29	33	0	0	18	18	8	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	1	9.47	20.91	5.81	50.0		
	30	42	0	0	22	16	9	0	0	0	4	0	2	0	0	2	2	0	2	9.53	23.86	6.63	59.0		

Continuación

SISTEMA DE RIEGO DE AREAS VERDES URBANAS UNALM																								
CONTROLADOR MONOCABLE																								
TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	N° de emisores en turnos de Rotores de 1/2" y 3/4"															Velocidad de aplicación (mm/hr)	Caudal (m3/h)	Caudal por válvula l/s	N° Emisores unid			
			Rotor 5000 Boquilla 1.5				Rotor 5000 Boquilla 2.5				Rotor 3500 Boquilla 2				R13-18							R17-24		
			360	270	180	90	360	270	180	90	360	270	180	90	360	180	90					360	180	90
11	31	29	0	1	9	19	8	0	0	0	3	0	9	0	3	1	0	0	3	0	10.97	24.13	6.70	56.0
	32	31	0	0	19	16	6	0	0	0	4	0	2	2	0	0	0	4	6	0	10.98	26.47	7.35	59.0
	33	35	0	1	21	6	12	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	3	0	7.86	21.35	5.93	49.0
12	34	30	0	0	18	7	13	0	0	0	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	7.67	19.05	5.29	43.0
	35	32	0	0	14	16	6	0	0	0	6	0	12	4	0	1	3	0	0	0	11.42	25.63	7.12	62.0
	36	36	0	1	25	15	10	0	0	0	0	3	1	0	3	4	0	0	0	0	9.33	25.40	7.05	62.0
13	37	37	0	0	24	4	6	0	0	0	8	0	11	4	0	6	4	1	1	2	10.76	28.41	7.89	71.0
	38	39	0	1	18	14	16	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8.20	22.75	6.32	51.0
	39	40	0	1	14	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.13	11.74	3.26	28.0
14	40	43	0	0	17	17	4	0	0	0	0	0	11	10	0	2	0	0	0	2	13.33	25.76	7.16	63.0
	41	44	0	0	18	9	2	0	0	0	1	1	10	15	0	8	0	1	1	0	14.37	27.08	7.52	66.0
	42	45	0	0	14	13	0	0	0	0	7	0	5	4	0	6	4	0	2	0	12.30	20.27	5.63	55.0
15	43	47	0	2	16	17	7	0	0	0	6	0	4	0	1	0	0	0	1	0	9.50	22.76	6.32	54.0
	44	48	1	2	8	9	4	0	0	0	2	1	4	4	1	3	1	0	0	0	11.35	16.63	4.62	41.0
	45	49	0	0	8	28	0	0	0	0	3	0	16	14	0	16	9	4	4	4	15.16	39.80	11.05	106.0
TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	N° de emisores en turnos de Rotores de 1"															Velocidad de aplicación (mm/hr)	Caudal (m3/h)	Caudal por válvula l/s	N° Emisores unid			
			Serie Falcón Boquilla 10				Serie Falcón Boquilla 12				Serie Falcón Boquilla 14				R13-18							R17-24		
			360	270	180	90	360	270	180	90	360	270	180	90	360	180	90					360	180	90
16	46	56					7														9.00	20.23	5.62	7.0
	47	57					8														9.00	23.12	6.42	8.0
	48	70					7														9.00	20.23	5.62	7.0
17	49	64									7	1									21.38	26.56	7.38	8.0
	50	68									7	1									21.38	26.56	7.38	8.0
	LIBRE																							
18	52	65									6	1	1								14.25	26.56	7.38	8.0
	53	66									7	1									10.69	26.56	7.38	8.0
	54	67									7	1									10.69	26.56	7.38	8.0
19	55	71						3	2												25.20	14.45	4.01	5.0
	56	72			1			4	1												20.67	16.82	4.67	6.0
	57	73			1			4	1												20.67	16.82	4.67	6.0

Continuación

SISTEMA DE RIEGO DE AREAS VERDES URBANAS UNALM																										
CONTROLADOR MONOCABLE																										
TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	N° de emisores en turnos de Difusores de boquilla regulable														Velocidad de aplicación (mm/hr)	Caudal (m3/hr)	Caudal por válvula l/s	N° Emisores unid						
			SERIE 6VAN			SERIE 8VAN			SERIE 10VAN			SERIE 12VAN			SERIE 15VAN						SERIE 18VAN			SERIE 15 Strip		
			360	270	180	90	360	270	180	90	360	270	180	90	360	270					180	90	360	270	180	MPR 15EST
20	58	74					4	3	47	2	3	2	10		2						64.63	34.06	9.46	103.0		
	59	75			3		4	3	2		9		26		15						46.64	28.96	8.04	73.0		
	60	85			35		1		13		4						4		46		58.14	26.73	7.43	128.0		
21	61	76							110												71.17	38.00	10.56	120.0		
	62	77								2	4			5		17					45.47	24.85	6.90	60.0		
	63	80							104												71.18	36.02	10.01	114.0		
22	64	78					3	3	17	5	4	2	12		2						58.35	32.36	8.99	92.0		
	65	79						4	2		36	2	8		1						44.68	22.93	6.37	73.0		
	66	81					11		129												74.39	50.91	14.14	172.0		
23	67	82					4		79		4										70.82	30.51	8.48	101.0		
	68	83					1	3	2	2	8	2	2		11						46.23	21.22	5.89	53.0		
	69	84			2		1	5	2	6	6		15		5						48.46	20.87	5.80	56.0		
24	70	86					2	10	3	1	6	1	7		18	1					48.90	29.79	8.28	67.0		
	71	88					30	8	4	1	3		15		10						65.13	31.57	8.77	85.0		
	72	93			35		3	10	5	1		1	8		13						68.91	29.77	8.27	93.0		
25	73	87			17		6	1	15		33		8		9						58.59	31.49	8.75	112.0		
	74	89					10		3	6	30	1	5		4			2			51.09	24.50	6.81	76.0		
	75	91				1	3	2	21	4	36		1		2						53.64	27.95	7.76	96.0		
26	76	92	0						49		12		28								56.01	35.52	9.87	113.0		
	77	98									59										40.83	19.73	5.48	86.0		
	78	99					3	6			34		14								43.49	21.61	6.00	73.0		
27	79	94			46				57		5		10								72.09	33.89	9.41	134.0		
	80	95					4	1	23	1	5	2	9		10						55.81	27.95	7.76	79.0		
	81	90					18	1	13	5	5	1	7		4			6			58.21	26.20	7.28	81.0		
28	82	96	1	2	1	42			14		12		4		1						71.44	29.30	8.14	115.0		
	83	97							10		70										43.62	25.62	7.12	104.0		
	84	105			1	15	1	9	3	9	4	16		7							60.32	36.25	10.07	114.0		
29	85	100			14		2					2	18	2	8						60.12	24.90	6.92	76.0		
	86	101			24			1	2		2		12		19						59.43	24.70	6.86	77.0		
	87	104						1				1	20		24						40.44	29.97	8.33	70.0		
30	88	103					2	2		6	2	2	4	1	12	6	2	7	6		49.65	20.97	5.83	52.0		
	89	106					1	3	5	2	9	10	1	1		34	11		2		53.25	27.82	7.73	79.0		

Continuación

SISTEMA DE RIEGO DE AREAS VERDES URBANAS UNALM																															
CONTROLADOR MONOCABLE																															
CONTROLADOR CONVENCIONAL																															
TURNO	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	N° de emisores en turnos de Rotores de 1/2" y 3/4" y Rotores de 1"														Velocidad de aplicación (mm/hr)	Caudal (m3/h)	Caudal por válvula l/s	N° Emisores											
			Serie Falcón Boquilla 10				Serie Falcón Boquilla 12				Serie Falcón Boquilla 14				Rotor 5000 Boquilla 1.5						Rotor 5000 Boquilla 2.5		Rotor 3500 Boquilla 2.0		R13-18		R17-24				
			360	270	180	90	360	270	180	90	360	270	180	90	360	270					180	90	360	270	180	90	360	180	90	360	180
1	1	51																										12.21	23.24	6.46	7
	2	52																										12.21	23.24	6.46	7
2	3	50																										7.33	21.44	5.96	48.0
	4	53																										6.74	18.57	5.16	39.0
		54																										7.56	12.87	3.58	31.0
3	5	58																										9.00	23.12	6.42	8.0
		59																										9.00	20.23	5.62	7.0
	6	60																										9.00	20.23	5.62	7.0
4	7	61																										9.00	20.23	5.62	7.0
	8	62																										9.00	20.23	5.62	7.0
			63																									9.00	20.23	5.62	7.0
5	9	112																										22.50	23.12	6.42	8
	10	115																										21.60	28.90	8.03	10
6	11	113																										25.20	28.90	8.03	10
	12	114																										18.00	23.12	6.42	8
7	13	116																										24.43	23.24	6.46	7
	14	69																										24.43	23.24	6.46	7

Anexo 3: Cálculos hidráulicos «Escenario 1»

COTA DE RESERVORIO		242.25											
PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)													
CONTROLADOR MONOCABLE													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VALVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Subunidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservoirio	CARGA DINÁMICA (diseño)	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H	G	E	A	VÁLVULA	TURNO	
I	V1	233.40	-8.85	13.55	1.36	7.00	35.00	2.50	3.50	6.29	4.00	64.35	64.39
	V2	233.40	-8.85	13.59	1.36	7.00	35.00	2.50	3.50	6.29	4.00	64.39	
	V3	233.50	-8.75	12.48	1.25	7.00	35.00	2.50	3.50	6.17	4.00	63.15	
II	V4	234.25	-8.00	5.85	0.59	7.00	35.00	2.50	3.50	5.44	4.00	55.88	55.88
	V5	234.25	-8.00	5.84	0.58	7.00	35.00	2.50	3.50	5.44	4.00	55.87	
	V41	235.25	-7.00	4.74	0.47	7.00	35.00	2.50	3.50	5.32	4.00	55.54	
III	V6	234.00	-8.25	12.54	1.25	7.00	35.00	2.50	3.50	6.18	4.00	63.72	63.72
	V7	234.40	-7.85	11.94	1.19	7.00	35.00	2.50	3.50	6.11	4.00	63.40	
	V9	234.40	-7.85	11.87	1.19	7.00	35.00	2.50	3.50	6.11	4.00	63.31	
IV	V8	234.40	-7.85	12.10	1.21	7.00	35.00	2.50	3.50	6.13	4.00	63.59	64.20
	V14	235.75	-6.50	11.37	1.14	7.00	35.00	2.50	3.50	6.05	4.00	64.06	
	V15	235.35	-6.90	11.82	1.18	7.00	35.00	2.50	3.50	6.10	4.00	64.20	
V	V10	235.75	-6.50	11.86	1.19	7.00	35.00	2.50	3.50	6.10	4.00	64.65	64.65
	V12	235.50	-6.75	11.77	1.18	7.00	35.00	2.50	3.50	6.09	4.00	64.29	
	V13	236.25	-6.00	9.97	1.00	7.00	35.00	2.50	3.50	5.90	4.00	62.86	
VI	V16	235.90	-6.35	5.68	0.57	7.00	35.00	2.50	3.50	5.42	4.00	57.32	57.46
	V17	235.90	-6.35	5.68	0.57	7.00	35.00	2.50	3.50	5.42	4.00	57.32	
	V18	236.25	-6.00	5.50	0.55	7.00	35.00	2.50	3.50	5.41	4.00	57.46	
VII	V21	237.50	-4.75	11.30	1.13	7.00	35.00	2.50	3.50	6.04	4.00	65.72	66.23
	V22	237.85	-4.40	11.43	1.14	7.00	35.00	2.50	3.50	6.06	4.00	66.23	
	V23	236.50	-5.75	10.41	1.04	7.00	35.00	2.50	3.50	5.95	4.00	63.65	
VIII	V24	237.75	-4.50	3.94	0.39	7.00	35.00	2.50	3.50	5.23	4.00	57.07	57.07
	V46	238.50	-3.75	3.30	0.33	7.00	35.00	2.50	3.50	5.16	4.00	57.04	
	V55	239.25											
IX	V25	237.00	-5.25	4.59	0.46	7.00	35.00	2.50	3.50	5.30	4.00	57.10	57.12
	V27	236.00	-6.25	4.96	0.50	7.00	35.00	2.50	3.50	5.35	4.00	56.55	
	V28	236.75	-5.50	4.81	0.48	7.00	35.00	2.50	3.50	5.33	4.00	57.12	
X	V26	237.25	-5.00	5.86	0.59	7.00	35.00	2.50	3.50	5.44	4.00	58.89	60.08
	V33	235.85	-6.40	8.00	0.80	7.00	35.00	2.50	3.50	5.68	4.00	60.08	
	V42	235.75	-6.50	7.85	0.79	7.00	35.00	2.50	3.50	5.66	4.00	59.80	
XI	V29	236.85	-5.40	12.74	1.27	7.00	35.00	2.50	3.50	6.20	4.00	66.82	66.82
	V31	236.25	-6.00	12.26	1.23	7.00	35.00	2.50	3.50	6.15	4.00	65.63	
	V35	236.90	-5.35	12.56	1.26	7.00	35.00	2.50	3.50	6.18	4.00	66.65	
XII	V30	236.85	-5.40	11.32	1.13	7.00	35.00	2.50	3.50	6.05	4.00	65.10	65.10
	V32	236.25	-6.00	11.26	1.13	7.00	35.00	2.50	3.50	6.04	4.00	64.42	
	V36	236.75	-5.50	10.63	1.06	7.00	35.00	2.50	3.50	5.97	4.00	64.16	
XIII	V37	236.50	-5.75	8.73	0.87	7.00	35.00	2.50	3.50	5.76	4.00	61.61	61.61
	V39	235.60	-6.65	9.08	0.91	7.00	35.00	2.50	3.50	5.80	4.00	61.14	
	V40	235.15	-7.10	9.11	0.91	7.00	35.00	2.50	3.50	5.80	4.00	60.72	
XIV	V43	239.00	-3.25	6.90	0.69	7.00	35.00	2.50	3.50	5.56	4.00	61.90	61.90
	V44	238.00	-4.25	6.30	0.63	7.00	35.00	2.50	3.50	5.49	4.00	60.17	
	V45	238.00	-4.25	5.67	0.57	7.00	35.00	2.50	3.50	5.42	4.00	59.41	
XV	V47	241.25	-1.00	2.74	0.27	7.00	35.00	2.50	3.50	5.10	4.00	59.12	60.79
	V48	240.75	-1.50	4.54	0.45	7.00	35.00	2.50	3.50	5.30	4.00	60.79	
	V49	240.50	-1.75	1.81	0.18	7.00	35.00	2.50	3.50	5.00	4.00	57.24	

Continuación

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VALVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabeza l	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Subunidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservorio	CARGA DINÁMICA (diseño)	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H			G	E	VÁLVULA	TURN O
XXVI	V56	241.00	-1.25	1.46	0.15	7.00	45.00	2.50	4.50	6.06	4.00	69.42	69.42
	V57	241.00	-1.25	1.45	0.15	7.00	45.00	2.50	4.50	6.06	4.00	69.40	
	V70	239.00	-3.25	2.33	0.23	7.00	45.00	2.50	4.50	6.16	4.00	68.47	
XXVII	V64	239.25	-3.00	3.28	0.33	7.00	45.00	2.50	4.50	6.26	4.00	69.87	70.10
	V68	239.25	-3.00	3.47	0.35	7.00	45.00	2.50	4.50	6.28	4.00	70.10	
XXVIII	V65	239.25	-3.00	7.32	0.73	7.00	45.00	2.50	4.50	6.71	4.00	74.76	75.01
	V66	239.25	-3.00	7.48	0.75	7.00	45.00	2.50	4.50	6.72	4.00	74.95	
	V67	239.25	-3.00	7.53	0.75	7.00	45.00	2.50	4.50	6.73	4.00	75.01	
XXIX	V71	239.00	-3.25	4.91	0.49	7.00	45.00	2.50	4.50	6.44	4.00	71.59	71.66
	V72	238.60	-3.65	5.17	0.52	7.00	45.00	2.50	4.50	6.47	4.00	71.51	
	V73	238.75	-3.50	5.17	0.52	7.00	45.00	2.50	4.50	6.47	4.00	71.66	
XX	V74	233.50	-8.75	25.38	2.54	7.00	21.00	2.50	2.10	6.05	4.00	61.82	61.82
	V75	233.50	-8.75	25.33	2.53	7.00	21.00	2.50	2.10	6.05	4.00	61.76	
	V85	233.60	-8.65	24.82	2.48	7.00	21.00	2.50	2.10	5.99	4.00	61.24	
XXI	V76	235.00	-7.25	24.46	2.45	7.00	21.00	2.50	2.10	5.95	4.00	62.21	62.21
	V77	235.00	-7.25	24.42	2.44	7.00	21.00	2.50	2.10	5.95	4.00	62.16	
	V80	234.25	-8.00	24.70	2.47	7.00	21.00	2.50	2.10	5.98	4.00	61.75	
XXII	V78	235.75	-6.50	23.14	2.31	7.00	21.00	2.50	2.10	5.81	4.00	61.36	61.77
	V79	236.50	-5.75	22.86	2.29	7.00	21.00	2.50	2.10	5.77	4.00	61.77	
	V81	236.50	-5.75	22.82	2.28	7.00	21.00	2.50	2.10	5.77	4.00	61.72	
XXIII	V82	238.25	-4.00	6.27	0.63	7.00	21.00	2.50	2.10	3.95	4.00	43.45	43.72
	V83	237.75	-4.50	6.26	0.63	7.00	21.00	2.50	2.10	3.95	4.00	42.93	
	V84	238.50	-3.75	6.29	0.63	7.00	21.00	2.50	2.10	3.95	4.00	43.72	
XXIV	V86	234.00	-8.25	19.40	1.94	7.00	21.00	2.50	2.10	5.39	4.00	55.08	55.08
	V88	235.25	-7.00	17.80	1.78	7.00	21.00	2.50	2.10	5.22	4.00	54.40	
	V93	234.75	-7.50	18.43	1.84	7.00	21.00	2.50	2.10	5.29	4.00	54.66	
XXV	V87	235.25	-7.00	14.64	1.46	7.00	21.00	2.50	2.10	4.87	4.00	50.57	50.57
	V89	235.75	-6.50	13.51	1.35	7.00	21.00	2.50	2.10	4.75	4.00	49.71	
	V91	236.00	-6.25	12.08	1.21	7.00	21.00	2.50	2.10	4.59	4.00	48.23	
XXVI	V92	236.00	-6.25	8.95	0.90	7.00	21.00	2.50	2.10	4.24	4.00	44.44	47.37
	V98	237.75	-4.50	7.69	0.77	7.00	21.00	2.50	2.10	4.11	4.00	44.66	
	V99	238.25	-4.00	9.51	0.95	7.00	21.00	2.50	2.10	4.31	4.00	47.37	
XXVII	V94	235.50	-6.75	16.76	1.68	7.00	21.00	2.50	2.10	5.10	4.00	53.39	53.40
	V95	235.50	-6.75	16.77	1.68	7.00	21.00	2.50	2.10	5.10	4.00	53.40	
	V90	235.75	-6.50	15.30	1.53	7.00	21.00	2.50	2.10	4.94	4.00	51.87	
XXVII I	V96	237.50	-4.75	9.55	0.96	7.00	21.00	2.50	2.10	4.31	4.00	46.67	46.67
	V97	238.00	-4.25	8.00	0.80	7.00	21.00	2.50	2.10	4.14	4.00	45.29	
	V105	238.50	-3.75	7.35	0.74	7.00	21.00	2.50	2.10	4.07	4.00	45.00	
XXIX	V100	239.25	-3.00	4.29	0.43	7.00	21.00	2.50	2.10	3.73	4.00	42.05	43.51
	V101	239.25	-3.00	4.94	0.49	7.00	21.00	2.50	2.10	3.80	4.00	42.84	
	V104	239.50	-2.75	5.29	0.53	7.00	21.00	2.50	2.10	3.84	4.00	43.51	
XXX	V103	240.25	-2.00	0.72	0.07	7.00	21.00	2.50	2.10	3.34	4.00	38.73	40.54
	V106	241.25	-1.00	1.39	0.14	7.00	21.00	2.50	2.10	3.41	4.00	40.54	

Continuación

ONTROLADOR CONVENCIONAL													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VALVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Subunidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservoirio	CARGA DINÁMICA (diseño)	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H			G	E	VÁLVULA	TURNO
												m	
XXXI	V51	242.75	0.5	1.52	0.15	7.00	45.00	2.50	4.50	6.07	4.00	71.24	71.28
	V52	242.75	0.5	1.55	0.16	7.00	45.00	2.50	4.50	6.07	4.00	71.28	
XXXII	V50	242.75	0.5	0.52	0.05	7.00	35.00	2.50	3.50	4.86	4.00	57.93	57.93
	V53	242	-0.25	0.90	0.09	7.00	35.00	2.50	3.50	4.90	4.00	57.64	
	V54	242	-0.25	0.92	0.09	7.00	35.00	2.50	3.50	4.90	4.00	57.66	
XXXIII	V58	241	-1.25	0.99	0.10	7.00	45.00	2.50	4.50	6.01	4.00	68.85	69.45
	V59	241.5	-0.75	0.92	0.09	7.00	45.00	2.50	4.50	6.00	4.00	69.26	
	V60	241.75	-0.5	0.87	0.09	7.00	45.00	2.50	4.50	6.00	4.00	69.45	
XXXIV	V61	241	-1.25	2.80	0.28	7.00	45.00	2.50	4.50	6.21	4.00	71.04	71.04
	V62	241	-1.25	2.79	0.28	7.00	45.00	2.50	4.50	6.21	4.00	71.03	
	V63	241	-1.25	2.80	0.28	7.00	45.00	2.50	4.50	6.21	4.00	71.04	
XXXV	V112	241.75	-0.5	0.56	0.06	7.00	45.00	2.50	4.50	5.96	4.00	69.08	69.08
	V115	241.25	-1	0.68	0.07	7.00	45.00	2.50	4.50	5.97	4.00	68.72	
XXXVI	V113	240.75	-1.5	1.06	0.11	7.00	45.00	2.50	4.50	6.02	4.00	68.68	69.20
	V114	241	-1.25	1.28	0.13	7.00	45.00	2.50	4.50	6.04	4.00	69.20	
XXXVI I	V116	242.75	0.5	1.38	0.14	7.00	45.00	2.50	4.50	6.05	4.00	71.07	71.20
	V69	242.75	0.5	1.49	0.15	7.00	45.00	2.50	4.50	6.06	4.00	71.20	

Anexo 4: Cálculos hidráulicos «Escenario 2»

COTA DE RESERVORIO		242.25											
PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2"													
CONTROLADOR MONOCABLE													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VALVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabeza l	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Subunidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservoirio	CARGA DINÁMICA (diseño)	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H		G	E	VÁLVULA	TURN O	
												m	
I	V1	233.40	-8.85	13.57	1.36	7.00	35.00	2.50	3.50	6.29	4.00	64.37	64.41
	V2	233.40	-8.85	13.60	1.36	7.00	35.00	2.50	3.50	6.30	4.00	64.41	
	V3	233.50	-8.75	12.49	1.25	7.00	35.00	2.50	3.50	6.17	4.00	63.16	
II	V4	234.25	-8.00	6.33	0.63	7.00	35.00	2.50	3.50	5.50	4.00	56.46	56.46
	V5	234.25	-8.00	6.32	0.63	7.00	35.00	2.50	3.50	5.50	4.00	56.45	
	V6	234.40	-7.85	5.82	0.58	7.00	35.00	2.50	3.50	5.44	4.00	55.99	
III	V7	234.40	-7.85	11.23	1.12	7.00	35.00	2.50	3.50	6.04	4.00	62.54	62.54
	V8	234.00	-8.25	11.23	1.12	7.00	35.00	2.50	3.50	6.04	4.00	62.14	
	V9	234.40	-7.85	11.15	1.12	7.00	35.00	2.50	3.50	6.03	4.00	62.44	
IV	V14	235.75	-6.50	9.79	0.98	7.00	35.00	2.50	3.50	5.88	4.00	62.15	62.15
	V15	235.50	-6.75	9.92	0.99	7.00	35.00	2.50	3.50	5.89	4.00	62.05	
	V16	235.90	-6.35	9.49	0.95	7.00	35.00	2.50	3.50	5.84	4.00	61.93	
V	V10	235.75	-6.50	11.89	1.19	7.00	35.00	2.50	3.50	6.11	4.00	64.69	64.69
	V12	235.50	-6.75	11.79	1.18	7.00	35.00	2.50	3.50	6.10	4.00	64.32	
	V13	236.25	-6.00	10.00	1.00	7.00	35.00	2.50	3.50	5.90	4.00	62.90	
VI	V17	235.90	-6.35	6.08	0.61	7.00	35.00	2.50	3.50	5.47	4.00	57.81	58.18
	V18	236.25	-6.00	6.10	0.61	7.00	35.00	2.50	3.50	5.47	4.00	58.18	
	V27	236.00	-6.25	5.99	0.60	7.00	35.00	2.50	3.50	5.46	4.00	57.80	
VII	V21	237.50	-4.75	11.32	1.13	7.00	35.00	2.50	3.50	6.05	4.00	65.75	66.25
	V22	237.85	-4.40	11.45	1.15	7.00	35.00	2.50	3.50	6.06	4.00	66.25	
	V23	236.50	-5.75	10.43	1.04	7.00	35.00	2.50	3.50	5.95	4.00	63.67	
VIII	V24	237.75	-4.50	5.70	0.57	7.00	35.00	2.50	3.50	5.43	4.00	59.20	59.20
	V25	237.00	-5.25	5.37	0.54	7.00	35.00	2.50	3.50	5.39	4.00	58.05	
	V26	237.25	-5.00	5.35	0.54	7.00	35.00	2.50	3.50	5.39	4.00	58.27	
IX	V28	236.75	-5.50	4.53	0.45	7.00	35.00	2.50	3.50	5.30	4.00	56.78	60.66
	V29	236.85	-5.40	7.65	0.77	7.00	35.00	2.50	3.50	5.64	4.00	60.66	
	V30	236.85	-5.40	7.63	0.76	7.00	35.00	2.50	3.50	5.64	4.00	60.63	
X	V31	236.25	-6.00	9.44	0.94	7.00	35.00	2.50	3.50	5.84	4.00	62.22	62.36
	V32	236.25	-6.00	9.55	0.96	7.00	35.00	2.50	3.50	5.85	4.00	62.36	
	V33	235.85	-6.40	6.56	0.66	7.00	35.00	2.50	3.50	5.52	4.00	58.34	
XI	V36	236.75	-5.50	11.91	1.19	7.00	35.00	2.50	3.50	6.11	4.00	65.71	65.80
	V37	236.50	-5.75	12.19	1.22	7.00	35.00	2.50	3.50	6.14	4.00	65.80	
	V39	235.60	-6.65	12.35	1.24	7.00	35.00	2.50	3.50	6.16	4.00	65.09	
XII	V40	235.15	-7.10	4.01	0.40	7.00	35.00	2.50	3.50	5.24	4.00	54.55	58.11
	V41	235.25	-7.00	6.87	0.69	7.00	35.00	2.50	3.50	5.56	4.00	58.11	
	V42	235.75	-6.50	6.32	0.63	7.00	35.00	2.50	3.50	5.50	4.00	57.95	
XIII	V35	236.90	-5.35	8.14	0.81	7.00	35.00	2.50	3.50	5.70	4.00	61.30	63.34
	V43	239.00	-3.25	8.09	0.81	7.00	35.00	2.50	3.50	5.69	4.00	63.34	
	V44	238.00	-4.25	7.08	0.71	7.00	35.00	2.50	3.50	5.58	4.00	61.12	
XIV	V47	241.25	-1.00	2.76	0.28	7.00	35.00	2.50	3.50	5.10	4.00	59.14	60.82
	V48	240.75	-1.50	4.56	0.46	7.00	35.00	2.50	3.50	5.30	4.00	60.82	
	V49	240.50	-1.75	1.84	0.18	7.00	35.00	2.50	3.50	5.00	4.00	57.28	
XV	V45	238	-4.25	2.88	0.29	7.00	35.00	2.50	3.50	5.12	4.00	56.03	56.40
	V46	238.5	-3.75	2.77	0.28	7.00	35.00	2.50	3.50	5.10	4.00	56.40	

Continuación

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VALVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabeza I	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Subunidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservorio	CARGA DINÁMICA (diseño)	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H	G	E	VÁLVULA A		TURN O	
XVI	V56	241.00	-1.25	1.47	0.15	7.00	40.00	2.50	4.00	5.51	4.00	63.38	63.38
	V57	241.00	-1.25	1.47	0.15	7.00	40.00	2.50	4.00	5.51	4.00	63.38	
	V70	239.00	-3.25	2.34	0.23	7.00	40.00	2.50	4.00	5.61	4.00	62.43	
XVII	V65	239.25	-3.00	7.34	0.73	7.00	40.00	2.50	4.00	6.16	4.00	68.73	68.99
	V66	239.25	-3.00	7.51	0.75	7.00	40.00	2.50	4.00	6.18	4.00	68.94	
	V67	239.25	-3.00	7.55	0.76	7.00	40.00	2.50	4.00	6.18	4.00	68.99	
XVIII	V71	239.00	-3.25	4.92	0.49	7.00	40.00	2.50	4.00	5.89	4.00	65.55	65.62
	V72	238.60	-3.65	5.18	0.52	7.00	40.00	2.50	4.00	5.92	4.00	65.47	
	V73	238.75	-3.50	5.18	0.52	7.00	40.00	2.50	4.00	5.92	4.00	65.62	
XIX	V64	239.25	-3.00	3.29	0.33	7.00	40.00	2.50	4.00	5.71	4.00	63.83	64.06
	V68	239.25	-3.00	3.48	0.35	7.00	40.00	2.50	4.00	5.73	4.00	64.06	
XX	V74	233.50	-8.75	27.44	2.74	7.00	21.00	2.50	2.10	6.28	4.00	64.31	64.31
	V80	234.25	-8.00	26.26	2.63	7.00	21.00	2.50	2.10	6.15	4.00	63.63	
	V85	233.60	-8.65	27.33	2.73	7.00	21.00	2.50	2.10	6.27	4.00	64.28	
XXI	V75	233.50	-8.75	24.19	2.42	7.00	21.00	2.50	2.10	5.92	4.00	60.38	61.21
	V76	235.00	-7.25	23.64	2.36	7.00	21.00	2.50	2.10	5.86	4.00	61.21	
	V78	235.75	-6.50	22.59	2.26	7.00	21.00	2.50	2.10	5.74	4.00	60.69	
XXII	V77	235.00	-7.25	20.38	2.04	7.00	21.00	2.50	2.10	5.50	4.00	57.27	58.29
	V79	236.50	-5.75	19.98	2.00	7.00	21.00	2.50	2.10	5.46	4.00	58.29	
	V81	236.50	-5.75	19.95	2.00	7.00	21.00	2.50	2.10	5.45	4.00	58.25	
XXIII	V83	237.75	-4.50	8.07	0.81	7.00	21.00	2.50	2.10	4.15	4.00	45.12	45.92
	V82	238.25	-4.00	8.08	0.81	7.00	21.00	2.50	2.10	4.15	4.00	45.64	
	V84	238.50	-3.75	8.11	0.81	7.00	21.00	2.50	2.10	4.15	4.00	45.92	
XXIV	V86	234.00	-8.25	18.76	1.88	7.00	21.00	2.50	2.10	5.32	4.00	54.31	54.88
	V87	235.25	-7.00	18.20	1.82	7.00	21.00	2.50	2.10	5.26	4.00	54.88	
	V88	235.25	-7.00	17.62	1.76	7.00	21.00	2.50	2.10	5.20	4.00	54.18	
XXV	V93	234.75	-7.50	18.09	1.81	7.00	21.00	2.50	2.10	5.25	4.00	54.25	55.75
	V94	235.50	-6.75	18.70	1.87	7.00	21.00	2.50	2.10	5.32	4.00	55.74	
	V95	235.50	-6.75	18.71	1.87	7.00	21.00	2.50	2.10	5.32	4.00	55.75	
XXVI	V89	235.75	-6.50	11.68	1.17	7.00	21.00	2.50	2.10	4.54	4.00	47.49	47.49
	V90	235.75	-6.50	11.59	1.16	7.00	21.00	2.50	2.10	4.53	4.00	47.38	
	V91	236.00	-6.25	10.73	1.07	7.00	21.00	2.50	2.10	4.44	4.00	46.59	
XXVII	V96	237.50	-4.75	10.27	1.03	7.00	21.00	2.50	2.10	4.39	4.00	47.54	54.05
	V92	236.00	-6.25	9.47	0.95	7.00	21.00	2.50	2.10	4.30	4.00	45.07	
	V97	238.00	-4.25	8.71	0.87	7.00	21.00	2.50	2.10	4.22	4.00	46.15	
XXVII I	V98	237.75	-4.50	6.36	0.64	7.00	21.00	2.50	2.10	3.96	4.00	43.06	44.27
	V99	238.25	-4.00	6.95	0.70	7.00	21.00	2.50	2.10	4.02	4.00	44.27	
	V105	238.50	-3.75	5.47	0.55	7.00	21.00	2.50	2.10	3.86	4.00	42.73	
XXIX	V100	239.25	-3.00	4.31	0.43	7.00	21.00	2.50	2.10	3.73	4.00	42.08	42.86
	V101	239.25	-3.00	4.96	0.50	7.00	21.00	2.50	2.10	3.81	4.00	42.86	
	V104	239.50	-2.75	5.31	0.53	7.00	21.00	2.50	2.10	3.84	4.00	43.54	
XXX	V103	240.25	-2.00	0.73	0.07	7.00	21.00	2.50	2.10	3.34	4.00	38.74	40.55
	V106	241.25	-1.00	1.40	0.14	7.00	21.00	2.50	2.10	3.41	4.00	40.55	

Continuación

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2"													
CONTROLADOR CONVENCIONAL													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VALVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabeza l	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Subunidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservorio	CARGA DINÁMICA	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H			G	E	VÁLVULA	TURN O
												m	
XXXI	V50	242.75	0.5	0.53	0.05	7.00	35.00	2.50	3.50	4.86	4.00	57.94	57.94
	V53	242.00	-0.25	0.92	0.09	7.00	35.00	2.50	3.50	4.90	4.00	57.66	
	V54	242.00	-0.25	0.93	0.09	7.00	35.00	2.50	3.50	4.90	4.00	57.68	
XXXII	V58	241.00	-1.25	1.00	0.10	7.00	40.00	2.50	4.00	5.46	4.00	62.81	63.43
	V59	241.50	-0.75	0.94	0.09	7.00	40.00	2.50	4.00	5.45	4.00	63.24	
	V60	241.75	-0.5	0.89	0.09	7.00	40.00	2.50	4.00	5.45	4.00	63.43	
XXXII I	V61	241.00	-1.25	2.81	0.28	7.00	40.00	2.50	4.00	5.66	4.00	65.00	65.01
	V62	241.00	-1.25	2.8	0.28	7.00	40.00	2.50	4.00	5.66	4.00	64.99	
	V63	241.00	-1.25	2.82	0.28	7.00	40.00	2.50	4.00	5.66	4.00	65.01	
XXXIV	V51	242.75	0.50	1.52	0.15	7.00	40.00	2.50	4.00	5.52	4.00	65.19	66.24
	V52	242.75	0.50	1.56	0.16	7.00	40.00	2.50	4.00	5.52	5.00	66.24	
XXXV	V113	240.75	-1.5	2.24	0.22	7.00	40.00	2.50	4.00	5.60	4.00	64.06	66.39
	V114	241.00	-1.25	2.47	0.25	7.00	40.00	2.50	4.00	5.62	5.00	65.59	
	V115	241.25	-1	2.1	0.21	7.00	40.00	2.50	4.00	5.58	6.00	66.39	
XXXVI	V112	241.75	-0.5	0.47	0.05	7.00	40.00	2.50	4.00	5.40	4.00	62.92	67.42
	V69	242.75	0.5	1.59	0.16	7.00	40.00	2.50	4.00	5.52	5.00	66.27	
	V116	242.75	0.5	1.71	0.17	7.00	40.00	2.50	4.00	5.54	6.00	67.42	

Anexo 5: Cálculos hidráulicos «Escenario 3»

COTA DE RESERVORIO		242.25											
PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 3"													
CONTROLADOR MONOCABLE													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VÁLVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Subunidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservoirio	CARGA DINÁMICA (diseño)	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H	G	E	VÁLVULA	TURNO		
												m	
I	V1	233.40	-8.85	16.02	1.60	7.00	30.00	2.50	3.00	6.01	4.00	61.28	61.32
	V2	233.40	-8.85	16.05	1.61	7.00	30.00	2.50	3.00	6.02	4.00	61.32	
	V3	233.50	-8.75	15.16	1.52	7.00	30.00	2.50	3.00	5.92	4.00	60.34	
	V4	234.25	-8.00	13.90	1.39	7.00	30.00	2.50	3.00	5.78	4.00	59.57	
II	V5	234.25	-8.00	6.57	0.66	7.00	30.00	2.50	3.00	4.97	4.00	50.70	57.21
	V6	234.00	-8.25	12.16	1.22	7.00	30.00	2.50	3.00	5.59	4.00	57.21	
	V7	234.40	-7.85	11.68	1.17	7.00	30.00	2.50	3.00	5.53	4.00	57.03	
	V9	234.40	-7.85	11.62	1.16	7.00	30.00	2.50	3.00	5.53	4.00	56.96	
III	V8	234.40	-7.85	14.18	1.42	7.00	30.00	2.50	3.00	5.81	4.00	60.06	60.74
	V14	235.75	-6.50	13.60	1.36	7.00	30.00	2.50	3.00	5.75	4.00	60.71	
	V15	235.35	-6.90	13.96	1.40	7.00	30.00	2.50	3.00	5.79	4.00	60.74	
	V16	235.90	-6.35	13.16	1.32	7.00	30.00	2.50	3.00	5.70	4.00	60.32	
IV	V10	235.75	-6.50	12.35	1.24	7.00	30.00	2.50	3.00	5.61	4.00	59.19	59.19
	V12	235.50	-6.75	12.28	1.23	7.00	30.00	2.50	3.00	5.60	4.00	58.86	
	V17	235.90	-6.35	11.14	1.11	7.00	30.00	2.50	3.00	5.48	4.00	57.88	
	V18	236.25	-6.00	10.48	1.05	7.00	30.00	2.50	3.00	5.40	4.00	57.43	
V	V13	236.25	-6.00	7.68	0.77	7.00	30.00	2.50	3.00	5.09	4.00	54.04	55.64
	V21	237.50	-4.75	7.68	0.77	7.00	30.00	2.50	3.00	5.09	4.00	55.29	
	V22	237.85	-4.40	7.68	0.77	7.00	30.00	2.50	3.00	5.09	4.00	55.64	
	V23	236.50	-5.75	7.68	0.77	7.00	30.00	2.50	3.00	5.09	4.00	54.29	
VI	V24	237.75	-4.50	7.69	0.77	7.00	30.00	2.50	3.00	5.10	4.00	55.55	55.55
	V25	237.00	-5.25	7.51	0.75	7.00	30.00	2.50	3.00	5.08	4.00	54.59	
	V26	237.25	-5.00	7.42	0.74	7.00	30.00	2.50	3.00	5.07	4.00	54.73	
	V27	236.00	-6.25	7.68	0.77	7.00	30.00	2.50	3.00	5.09	4.00	53.79	
VII	V28	236.75	-5.50	6.15	0.62	7.00	30.00	2.50	3.00	4.93	4.00	52.69	60.05
	V29	236.85	-5.40	12.15	1.22	7.00	30.00	2.50	3.00	5.59	4.00	60.05	
	V30	236.85	-5.40	12.13	1.21	7.00	30.00	2.50	3.00	5.58	4.00	60.03	
	V32	236.25	-6.00	11.67	1.17	7.00	30.00	2.50	3.00	5.53	4.00	58.87	
VIII	V31	236.25	-6.00	8.16	0.82	7.00	30.00	2.50	3.00	5.15	4.00	54.62	58.28
	V33	235.85	-6.40	11.51	1.15	7.00	30.00	2.50	3.00	5.52	4.00	58.28	
	V41	235.25	-7.00	11.84	1.18	7.00	30.00	2.50	3.00	5.55	4.00	58.08	
	V42	235.75	-6.50	11.40	1.14	7.00	30.00	2.50	3.00	5.50	4.00	58.04	
IX	V36	236.75	-5.50	12.47	1.25	7.00	30.00	2.50	3.00	5.62	4.00	60.34	60.52
	V37	236.50	-5.75	12.83	1.28	7.00	30.00	2.50	3.00	5.66	4.00	60.52	
	V39	235.60	-6.65	13.11	1.31	7.00	30.00	2.50	3.00	5.69	4.00	59.96	
	V40	235.15	-7.10	13.13	1.31	7.00	30.00	2.50	3.00	5.69	4.00	59.54	
X	V35	236.90	-5.35	8.86	0.89	7.00	30.00	2.50	3.00	5.22	4.00	56.12	56.57
	V44	238.00	-4.25	8.32	0.83	7.00	30.00	2.50	3.00	5.17	4.00	56.57	
	V45	238.00	-4.25	7.90	0.79	7.00	30.00	2.50	3.00	5.12	4.00	56.06	
	V46	238.50	-3.75	7.35	0.74	7.00	30.00	2.50	3.00	5.06	4.00	55.89	
XI	V43	239.00	-3.25	3.81	0.38	7.00	30.00	2.50	3.00	4.67	4.00	52.11	54.65
	V47	241.25	-1.00	3.01	0.30	7.00	30.00	2.50	3.00	4.58	4.00	53.39	
	V48	240.75	-1.50	4.46	0.45	7.00	30.00	2.50	3.00	4.74	4.00	54.65	
	V49	240.50	-1.75	2.77	0.28	7.00	30.00	2.50	3.00	4.55	4.00	52.35	
XII	V56	241.00	-1.25	2.00	0.20	7.00	40.00	2.50	4.00	5.57	4.00	64.02	64.98
	V57	241.00	-1.25	1.98	0.20	7.00	40.00	2.50	4.00	5.57	4.00	64.00	
	V70	239.00	-3.25	4.45	0.45	7.00	40.00	2.50	4.00	5.84	4.00	64.98	
XIII	V65	239.25	-3.00	6.54	0.65	7.00	40.00	2.50	4.00	6.07	4.00	67.76	67.98
	V66	239.25	-3.00	6.68	0.67	7.00	40.00	2.50	4.00	6.08	4.00	67.93	
	V67	239.25	-3.00	6.72	0.67	7.00	40.00	2.50	4.00	6.09	4.00	67.98	

Continuación

CONTROLADOR MONOCABLE													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VÁLVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Sub unidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservoirio	CARGA DINÁMICA (diseño)	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H		G	E	VÁLVULA	TURNO	
XIV	V71	239.00	-3.25	4.41	0.44	7.00	40.00	2.50	4.00	5.84	4.00	64.94	64.96
	V72	238.60	-3.65	4.64	0.46	7.00	40.00	2.50	4.00	5.86	4.00	64.81	
	V73	238.75	-3.50	4.64	0.46	7.00	40.00	2.50	4.00	5.86	4.00	64.96	
XV	V64	239.25	-3.00	2.93	0.29	7.00	40.00	2.50	4.00	5.67	4.00	63.40	63.60
	V68	239.25	-3.00	3.10	0.31	7.00	40.00	2.50	4.00	5.69	4.00	63.60	
XVI	V74	233.50	-8.75	23.22	2.32	7.00	18.00	2.50	1.80	5.48	4.00	55.58	55.58
	V80	234.25	-8.00	22.19	2.22	7.00	18.00	2.50	1.80	5.37	4.00	55.08	
	V85	233.60	-8.65	23.13	2.31	7.00	18.00	2.50	1.80	5.47	4.00	55.57	
XVII	V75	233.50	-8.75	21.08	2.11	7.00	18.00	2.50	1.80	5.25	4.00	52.99	53.81
	V76	235.00	-7.25	20.52	2.05	7.00	18.00	2.50	1.80	5.19	4.00	53.81	
	V78	235.75	-6.50	19.62	1.96	7.00	18.00	2.50	1.80	5.09	4.00	53.47	
XVIII	V77	235.00	-7.25	20.38	2.04	7.00	21.00	2.50	2.10	5.50	4.00	57.27	58.29
	V79	236.50	-5.75	19.98	2.00	7.00	21.00	2.50	2.10	5.46	4.00	58.29	
	V81	236.50	-5.75	19.95	2.00	7.00	21.00	2.50	2.10	5.45	4.00	58.25	
XIX	V86	234.00	-8.25	18.76	1.88	7.00	21.00	2.50	2.10	5.32	4.00	54.31	54.88
	V87	235.25	-7.00	18.20	1.82	7.00	21.00	2.50	2.10	5.26	4.00	54.88	
	V88	235.25	-7.00	17.62	1.76	7.00	21.00	2.50	2.10	5.20	4.00	54.18	
XX	V93	234.75	-7.50	18.09	1.81	7.00	21.00	2.50	2.10	5.25	4.00	54.25	55.75
	V94	235.50	-6.75	18.70	1.87	7.00	21.00	2.50	2.10	5.32	4.00	55.74	
	V95	235.50	-6.75	18.71	1.87	7.00	21.00	2.50	2.10	5.32	4.00	55.75	
XXI	V89	235.75	-6.50	11.68	1.17	7.00	21.00	2.50	2.10	4.54	4.00	47.49	47.49
	V90	235.75	-6.50	11.59	1.16	7.00	21.00	2.50	2.10	4.53	4.00	47.38	
	V91	236.00	-6.25	10.73	1.07	7.00	21.00	2.50	2.10	4.44	4.00	46.59	
XXII	V92	236.00	-6.25	8.21	0.82	7.00	21.00	2.50	2.10	4.16	4.00	43.54	44.82
	V97	238.00	-4.25	7.01	0.70	7.00	21.00	2.50	2.10	4.03	4.00	44.09	
	V98	237.75	-4.50	7.82	0.78	7.00	21.00	2.50	2.10	4.12	4.00	44.82	
XXIII	V99	238.25	-4.00	6.43	0.64	7.00	21.00	2.50	2.10	3.97	4.00	43.64	43.64
	V100	239.25	-3.00	4.63	0.46	7.00	21.00	2.50	2.10	3.77	4.00	42.46	
	V105	238.25	-4.00	5.42	0.54	7.00	21.00	2.50	2.10	3.86	4.00	42.42	
XXIV	V83	237.75	-4.50	13.84	1.38	7.00	21.00	2.50	2.10	4.78	4.00	52.11	52.92
	V82	238.25	-4.00	13.41	1.34	7.00	21.00	2.50	2.10	4.74	4.00	52.09	
	V84	238.50	-3.75	13.45	1.35	7.00	21.00	2.50	2.10	4.74	4.00	52.38	
	V96	237.50	-4.75	14.72	1.47	7.00	21.00	2.50	2.10	4.88	4.00	52.92	
XXV	V101	239.25	-3.00	5.12	0.51	7.00	21.00	2.50	2.10	3.82	4.00	43.06	43.73
	V103	240.25	-2.00	3.87	0.39	7.00	21.00	2.50	2.10	3.69	4.00	42.54	
	V104	239.50	-2.75	5.47	0.55	7.00	21.00	2.50	2.10	3.86	4.00	43.73	
	V106	241.25	-1.00	3.17	0.32	7.00	21.00	2.50	2.10	3.61	4.00	42.70	
CONTROLADOR CONVENCIONAL													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VÁLVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Sub unidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservoirio	CARGA DINÁMICA	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H		G	E	VÁLVULA	TURNO	
XXVI	V51	242.75	0.50	1.76	0.18	7.00	40.00	2.50	4.00	5.54	4.00	65.48	65.52
	V52	242.75	0.50	1.79	0.18	7.00	40.00	2.50	4.00	5.55	4.00	65.52	
	V58	241.00	-1.25	0.91	0.09	7.00	40.00	2.50	4.00	5.45	4.00	62.70	
	V59	241.50	-0.75	0.86	0.09	7.00	40.00	2.50	4.00	5.44	4.00	63.14	
XXVII	V60	241.75	-0.50	1.24	0.12	7.00	40.00	2.50	4.00	5.49	4.00	63.85	65.27
	V61	241.00	-1.25	3.03	0.30	7.00	40.00	2.50	4.00	5.68	4.00	65.27	
	V62	241.00	-1.25	3.02	0.30	7.00	40.00	2.50	4.00	5.68	4.00	65.25	
	V63	241.00	-1.25	3.03	0.30	7.00	40.00	2.50	4.00	5.68	4.00	65.27	
XXVIII	V113	240.75	-1.50	2.01	0.20	7.00	40.00	2.50	4.00	5.57	4.00	63.78	64.26
	V114	241.00	-1.25	2.20	0.22	7.00	40.00	2.50	4.00	5.59	4.00	64.26	
	V115	241.25	-1.00	1.88	0.19	7.00	40.00	2.50	4.00	5.56	4.00	64.12	

Continuación

CONTROLADOR CONVENCIONAL													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VALVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Subunidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservorio	CARGA DINÁMICA	
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H	G	E	VÁLVULA	TURNO		
												m	
XXIX	V112	241.75	-0.50	0.42	0.04	7.00	40.00	2.50	4.00	5.40	4.00	62.86	65.19
	V69	242.75	0.50	1.42	0.14	7.00	40.00	2.50	4.00	5.51	4.00	65.07	
	V116	242.75	0.50	1.52	0.15	7.00	40.00	2.50	4.00	5.52	4.00	65.19	
XXX	V50	242.75	0.50	0.53	0.05	7.00	35.00	2.50	3.50	4.86	4.00	57.94	57.94
	V53	242.00	-0.25	0.92	0.09	7.00	35.00	2.50	3.50	4.90	4.00	57.66	
	V54	242.00	-0.25	0.93	0.09	7.00	35.00	2.50	3.50	4.90	4.00	57.68	

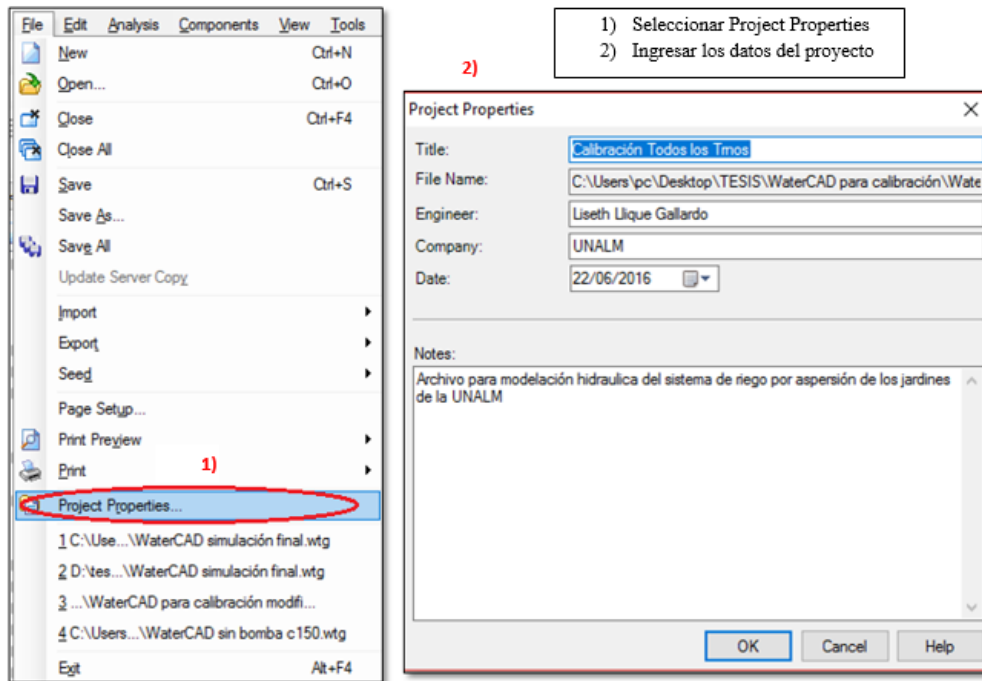
Anexo 6: Volúmenes de agua asignados a la UNALM para fines de riego

Día	Frecuencia Riego	Duración del Turno de Riego (horas)	Caudal Promedio Diario (l/s)	Volumen Promedio Diario (m3) (m3)
Lunes				
Martes	8 p.m. a 5 p.m.	9	342	11,080.80
Miércoles	1 p.m. a 5 p.m.	4	280	4,032
Jueves	8 p.m. a 5 p.m.	9	281	9,104.40
Viernes				
Sábado				
Domingo				
Promedio Semanal	3 días x semana	22		24,217
Prom Mensual				107,248

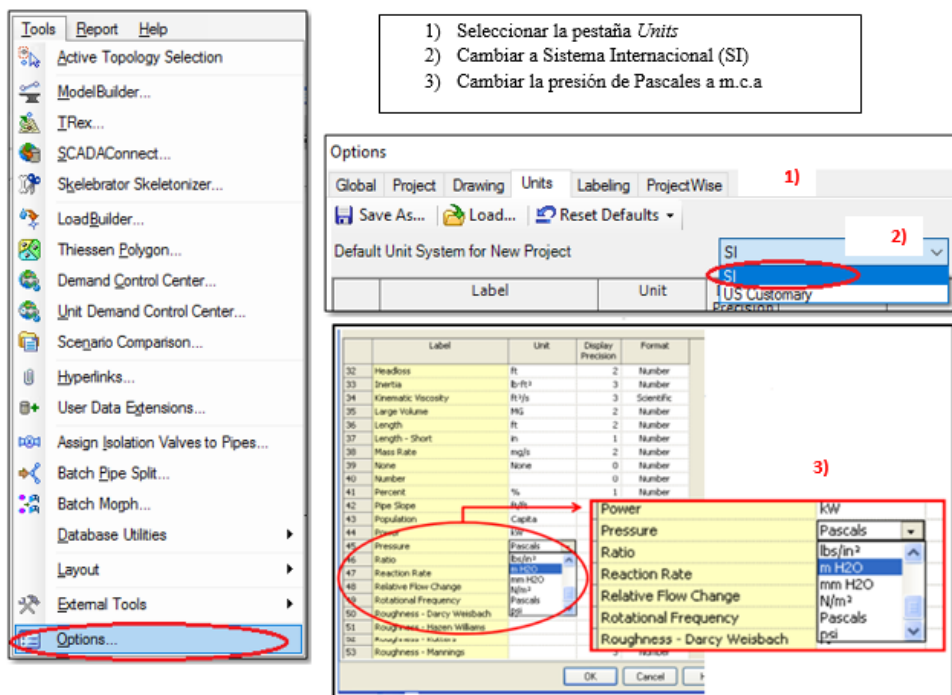
Anexo 7: Pasos para simulación hidráulica utilizando software WaterCAD v8i

Los pasos seguidos para la simulación de una red de distribución de agua instalada en WaterCAD son los siguientes:

- i. Se realizó la configuración del nuevo proyecto, nombre y unidades *File > Project Properties*

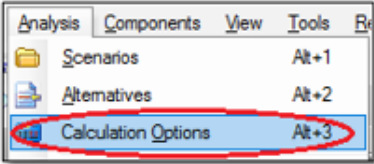


- ii. Se realizó configuración de unidades *Tools > Options > Units* (sistema internacional)

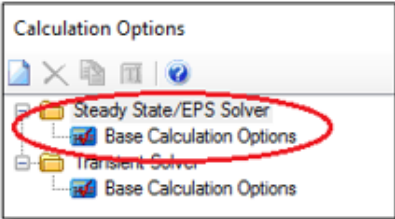


- iii. Configurar el líquido, la ecuación de pérdidas y el tipo de análisis a emplear. *Analysis* > *Calculation Options*

- 1) Seleccionar Calculation Options
- 2) Seleccionar Steady/EPS Solver
- 3) Ir a la ventana de propiedades, seleccionar:
 - a. Ecuación de pérdida de carga
 - b. Tipo de cálculo a realizar
 - c. Tipo de análisis



1)



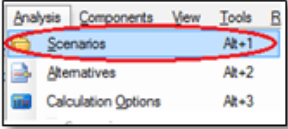
2)

Property Search 3)

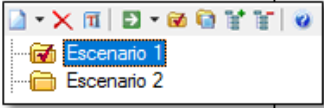
<General>	
ID	19
Label	Base Calculation Options
Notes	
Friction Method	Hazen-Williams a.
Output Selection Set	<All>
Calculation Type	Hydraulics Only b.
Adjustments	
Demand Adjustments	None
Unit Demand Adjustmer	None
Roughness Adjustment	None
Calculation Flags	
Display Status Message	True
Display Calculation Fla	True
Display Time Step Com	True
Calculation Times	
Simulation Start Date	01/10/2000
Time Analysis Type	EPS c.
Start Time	12:00:00 a.m.
Duration (min)	2,400.000
Hydraulic Time Step (m	15.000
Reporting Time Step	<All>
Hydraulics	
Engine Compatibility	WaterGEMS 2.00.12
Use Linear Interpolator	False

- iv. **Creación de escenarios y asignación de alternativas:** Se realiza la creación de los diferentes escenarios para la simulación hidráulica, a manera de contar con un archivo ordenado, a dichos escenarios se asignarán diferentes alternativas relativas a la demanda pues éstos contienen los patrones que representan la agrupación para cada escenario. Ingresar a: *Analysis* > *Scenarios*.

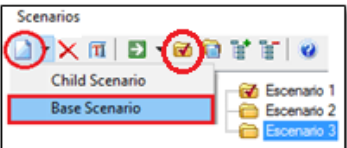
- 1) Seleccionar *Scenarios* y renombrar el *escenario base* con el nombre del escenario a simular. «Escenario 1»
- 2) Seleccionar *New* (papel en blanco) para generar los otros escenarios a simular. « Escenario 2» y « Escenario 3»
- 3) Seleccionar con *Make current* el escenario a simular.



1)



2)



3)

Para la creación de alternativas. *Ingresar a: Analysis > Alternatives.*

- 1) Seleccionar *Alternatives*, ir a la opción alternativa de demanda *Demand*.
- 2) Renombrar la alternativa base como «Escenario 1», esta alternativa será asignada al escenario denominado «Escenario 1»
- 3) Seleccionar en la alternativa demanda *New* y *Base alternative*, para crear alternativas de demanda correspondientes al «Escenario2» y «Escenario 3»
- 4) A cada una de las alternativas de demanda creadas se asignaran los patrones correspondientes que definen la agrupación de válvulas para cada escenario

Una vez abierta la red dentro de *WaterCAD* se procede a verificar la base de datos importados desde *EPANET* e ingresar datos faltantes.

- v. **En nodos:** Se verifica cotas, se introduce demandas y se asigna patrones. Los nodos en la red simulan las electroválvulas instaladas en campo, controlando cierta cantidad de emisores.

- 1) Ingresar a *Report > Element tables > Junction* y verificar las cotas según la etiqueta (*Label*) de cada válvula.
- 2) Para introducir demandas y patrones: *Tools > Demand Control Center > Demand/Pattern*. Se asigna un mismo patrón a cada válvula agrupada en el mismo turno.
 - a. Para generar las demandas en cada válvula seleccionamos *Initialize Demands for all Elements*.
 - b. Para asignar los patrones a cada válvula, ir a la pestaña *Pattern* y seleccionar el patrón correspondiente

ID	Label	Elevatic (m)
151: v1	151 v1	233.40
152: v2	152 v2	233.40
156: v3	150 v3	233.30
147: v4	147 v4	234.25
146: v5	146 v5	234.25
175: v6	179 v6	234.25
184: v7	184 v7	234.25
185: v8	183 v8	234.25

Junctions	Hydrants	Tanks	Surge Tanks
ID	Label	Demand (Base) (L/s)	Pattern (Demand)
1	600 V-1	5.89	TURN01
2	604 V-2	7.60	TURN01
3	339 V-3	7.52	TURN01

- vi. **En tuberías:** Se verifica rugosidad para tuberías de PVC empleó un factor de Hazen-Williams $C = 150$ (por ser tubería nueva), no es necesario ingresar la longitud ni el diámetro porque la importación se hizo con las dimensiones asignadas en *Epanet*.

1) Ingresar *View > Prototypes > Pipe*

2) Se crea un prototipo de tubería *Pipe Prototype-1*.

3) Para asignar las características de la tubería instalada en el sistema ir a la ventana de propiedades del prototipo creado.

4) Para definir el material de la tubería ir a *Engineering Libraries* y seleccionar *PVC*

5) Para verificar las características de la tubería *Report > Element tables > Pipe*

6) Revisar en *Flex Table* los valores de *Diameter*, *Length*, *Material*, *Hazen-Williams C*

- vii. **Curva de altura y de rendimiento de la bomba:** Para definir la curva característica de la bomba primero se procesaron los datos de caudal (l/s) y altura (m) de la bomba en Excel, modelo *B08M-H Ø145 Hidrostral*, está corresponde a la bomba instalada en el cabezal de riego.

Una vez obtenidos los puntos de caudal vs altura (curva de altura de la bomba) y los puntos de caudal vs eficiencia (curva de rendimiento de la Bomba) se ingresaron dichos datos en WaterCAD. *Components > Pump Definitions > New*

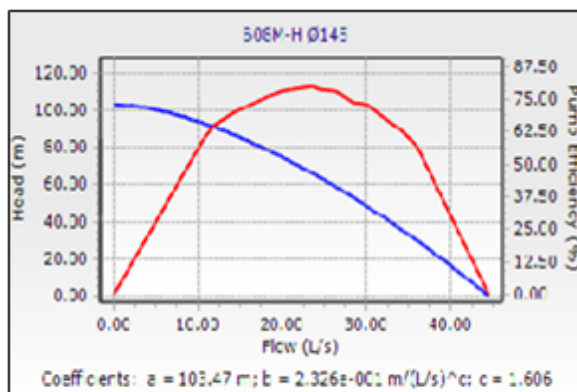
1) Ir a *New* y seleccionar para crear las curvas para la bomba del sistema, asignarle el nombre de la bomba.

2) Seleccionar la pestaña *Head > Multiple point*, para ingresar los datos de caudal (l/s) y altura (m), para definir la *Curva de Altura*.

3) Seleccionar la pestaña *Efficiency > Multiple Efficiency points*, para ingresar los datos caudal (l/s) y eficiencia (%), para definir la *Curva de Rendimiento*.

Flow (L/s)	Head (m)
0.00	106.17
2.00	104.29
4.00	102.13
6.00	98.69
8.00	95.49

Flow (L/s)	Efficiency (%)
10.60	60.00
12.00	65.00
14.40	70.00
16.80	74.00
17.60	75.00



2) y 3)

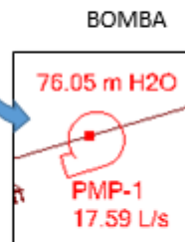
Curva de Altura. — (blue line)

Curva de Rendimiento — (red line)

4)

Motor Efficiency: 90.00

- 4) Seleccionar la pestaña *Motor > Motor Efficiency* ingresar el valor de eficiencia del motor igual a 90%.
- 5) Ir a la tabla de propiedades de la bomba, asignar:
- Elevación de la bomba.
 - Curva característica de la bomba.



5)

Properties - Pump - PMP-1

ID: 654
Label: PMP-1

Elevation (m): 242.25

Pump Definition: B08M-H Ø145

a.
b.

viii. **Patrones de los turnos:** Es la asignación del tiempo de apertura del nodo (válvulas) o grupos de nodos pertenecientes a un turno. Esta asignación se efectúa al realizar la simulación en periodo extendido EPS, el tamaño de cada intervalo asignado fue de una hora por cada turno de riego para facilitar el análisis de presiones. Se ingresa a *Components > Patterns > Hydraulic > New*

1) Se selecciona patrón hidráulico *Hydraulic*.

2) Se selecciona *New* y se comienza a definir cada patrón según cada turno de riego.

3) Seleccionar la pestaña *Pattern*.

a. El inicio debe marcarse a las 00:00 horas para evitar confusiones.

b. Cada intervalo de tiempo corresponde a una hora (60 min)

Time from Start (min)	Multiplier	
1	60.000	0.000
2	120.000	0.000

Es posible crear patrones para cada turno de riego, en ese caso, el número de intervalos es asignado a cada patrón según el tiempo de riego determinado con la lámina a reponer.

4) Los valores son ingresados en la pestaña *Hourly*. Para ingresar los datos, debe considerarse:

a. Se rellena con 1, en la columna del multiplicador (*Multiplier*), los intervalos en los que el turno estará abierto.

b. Se rellena con 0, en la columna del multiplicador (*Multiplier*), los intervalos en los que el turno estará cerrado.

5) Para asignar el tiempo de inicio, la duración total y los pasos de tiempo hidráulico con los que la simulación se realizó. Se ingresa a *Analysis > Calculation Options > Base Calculation Options*

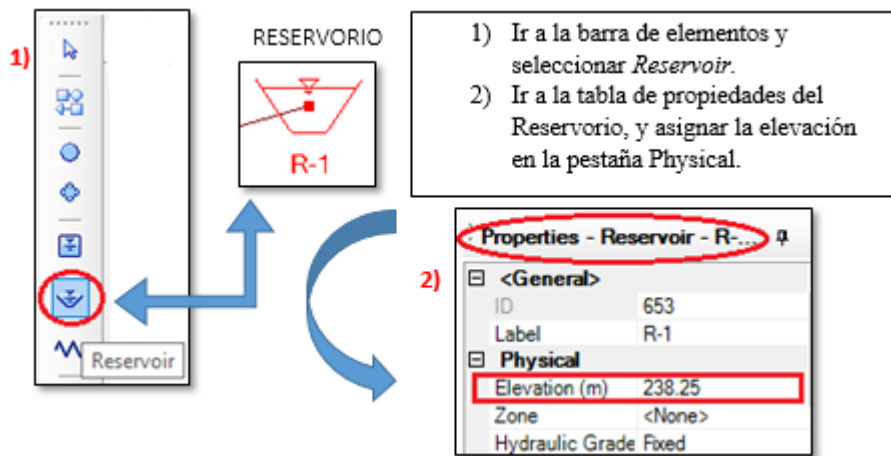
a. El inicio debe marcarse a las 00:00 horas

b. Ingresar el tiempo total de simulación para el análisis en periodo extendido (EPS)

Time from Start (min)	Multiplier	
4	28.000	1.000
5	35.000	1.000
6	42.000	1.000
7	49.000	0.000
8	56.000	0.000
9	63.000	0.000

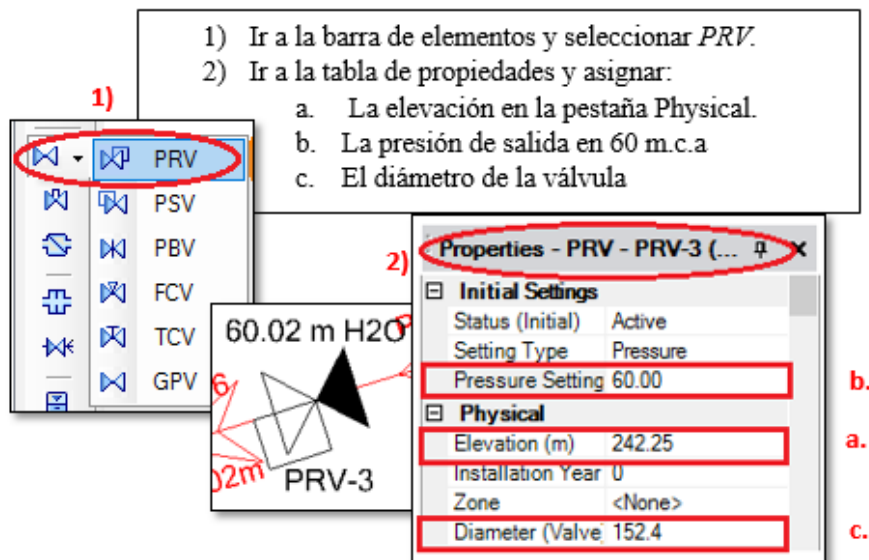
Properties - Calculation Op...	
Calculation Times	
Simulation Start	01/10/2000
Time Analysis T	EPS
Start Time	12:00:00 a.m.
Duration (min)	2,400.000
Hydraulic Time	15.000
Reporting Time	<All>

- ix. **En el Reservoir:** En el caso del Reservoir debe ingresarse la elevación, en la ventana de propiedades del Reservoir.



- x. **Para las válvulas:** Se trabajó con dos válvulas:

Válvula tipo PRV (válvula reductora de presión) para simular la válvula de alivio, pues este tipo de válvula en *WaterCAD* limita la presión de salida a un valor deseado, en el caso del sistema de riego el valor asignado fue de 60 m.c.a.



Válvula tipo PBV (válvula quebradora de presión) pues este tipo de válvula permite asumir una pérdida de carga específica en dicha válvula, este valor representará la pérdida generada en el cabezal de riego. El valor de pérdida de carga determinado en el cabezal es de siete metros para una agrupación de tres (3) o cuatro (4) válvulas por turno.

1) Ir a la barra de elementos y seleccionar *PBV*.
 2) Ir a la tabla de propiedades y asignar:

- La elevación en la pestaña Physical
- La pérdida de carga en el cabezal.
- El diámetro de la válvula

The image shows the Bentley WaterCAD V8i interface. On the left, the 'Element' toolbar has 'PBV' highlighted with a red circle. To the right, the 'Properties - PBV - PBV-5' dialog box is open, with three fields highlighted in red: 'Pressure Setting' (7.00), 'Elevation (m)' (242.25), and 'Diameter (Valve)' (152.4). A callout box shows a valve symbol with '53.18 m H2O' and 'PBV-5'.

xi. Finalmente se verifica la topología del modelo y se corre el software para el escenario correspondiente.

The image shows two screenshots of Bentley WaterCAD V8i. The top screenshot shows the software's toolbar with 'VALIDATE' and 'COMPUTE' buttons highlighted in red. The bottom screenshot shows the main interface with a network diagram and a dialog box that says 'No problems were found.' with an 'Accept' button. A callout box with '1) y 2)' points to the dialog box.

1) Verificar la topología del modelo con el botón *Validate*, no se encuentran problemas, el modelo está listo para ser procesado.
 2) Simular el modelo con el botón *Compute*, para cada uno de los escenarios.

Para la simulación de los diferentes escenarios se llevan a cabo los pasos antes mencionados.

Anexo 8: Proceso seguido para la comparación entre la presión consigna y la presión de llegada a cada válvula.

COTA DE RESERVORIO		242.25		PARAMETROS DE OPERACION "ESCENARIO 1" (PROGRAMACION ACTUAL)										
CONTROLADOR MONOCABLE														
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	COTA DE VALVULA	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH máx. en Sub unidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservorio	CARGA DINAMICA (diseño)		Presión en WaterCAD
			B	C	F	D	(Presión Consigna) H	G	E	VALVULA	TURNO	A	m.c.a	
Turno 3	V6	234.00	-8.25	12.54	1.25	7.00	35.00	2.50	3.50	6.18	4.00	63.72	63.72	48.75
	V7	234.40	-7.85	11.94	1.19	7.00	35.00	2.50	3.50	6.11	4.00	63.40	63.40	48.95
	V9	234.40	-7.85	11.87	1.19	7.00	35.00	2.50	3.50	6.11	4.00	63.31	63.31	49.02

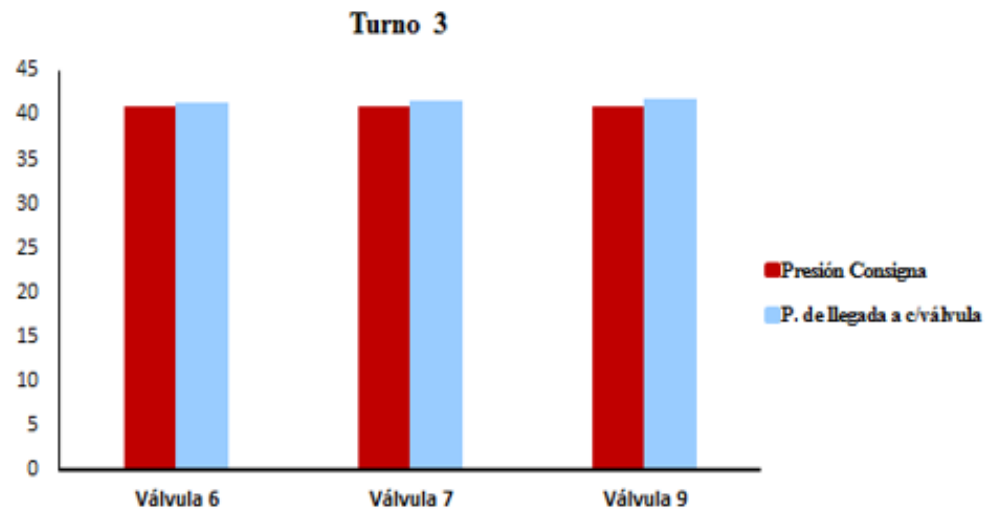
}
Presión de consigna: 41 m

HWaterCAD - (F+G)
→

P. de Llegada a c/válvula
m
41.32
41.64
41.73

Presión Consigna	P. de llegada a c/válvula	Sobre-presión
m	m	m
41.00	41.32	0.32
41.00	41.64	0.64
41.00	41.73	0.73

→ Comparación

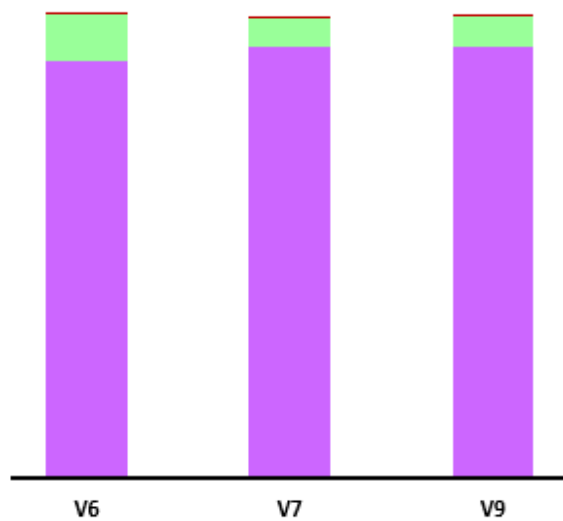


Anexo 9: Representación gráfica de la presión medida por válvula

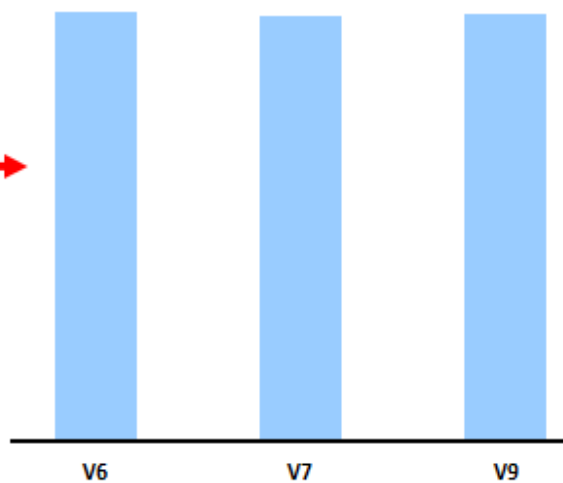
DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)							
TURNOS	Nº VÁLVULA CAMPO	COTA DE VALVULA	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL		DATOS MEDIDOS EN CAMPO		
			PRESIÓN MONITOREADA POR TURNO	PRESIÓN MEDIDA EN CAMPO (después de válvula)	PERDIDA DE CARGA POR VÁLVULA	PERDIDA DE CARGA POR CONTRACCIÓN SÚBITA	PERDIDA DE CARGA EN EL ARCO DE RIEGO
				m.c.a	m	m	m
				Hm	hv	hc	hv+hc
Turno 3	V6	234.00	54.70	39.00	3.31	0.11	3.42
	V7	234.40		40.00	2.03	0.08	2.11
	V9	234.40		40.00	2.17	0.09	2.26



PRESIÓN MEDIDA EN RED (antes de la válvula)	CARGA PIEZOMÉTRICA CAMPO
m.c.a	m
Hred	C+Hred
42.42	276.42
42.11	276.51
42.26	276.66



Presión en red →



- PERDIDA DE CARGA POR CONTRACCIÓN SUBITA
- PERDIDA DE CARGA POR VÁLVULA
- PRESIÓN MEDIDA EN CAMPO
- PRESIÓN MEDIDA EN RED

Anexo 10: Representación gráfica de la presión simulada por válvula

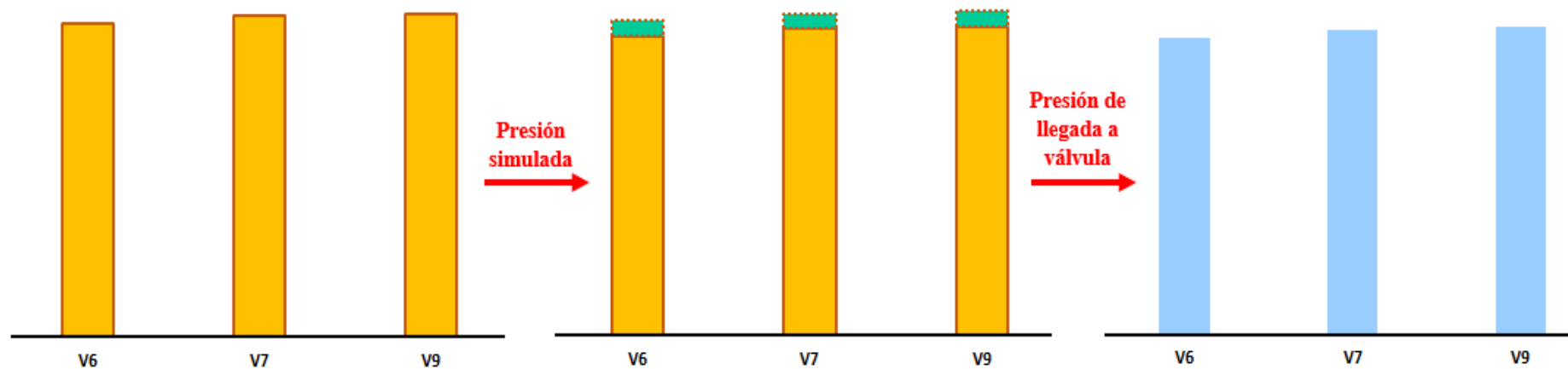
DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)				
TURNOS	Nº VÁLVULA CAMPO	COTA DE VALVULA	DATOS OBTENIDOS DE SIMULACION	
			PRESIÓN SIMULADA WaterCAD	PERDIDA POR SINGULARIDADES
			C=150	C=150
			m.s.n.m	m.c.a
C	H WaterCAD	hs		
Turno 3	V6	234.00	48.07	0.66
	V7	234.40	48.37	0.63
	V9	234.40	48.45	0.62

$H_{simulada_i}$	
PRESIÓN SIMULADA (ANTES DE LA VÁLVULA)	CARGA PIEZOMÉTRICA SIMULADA WaterCAD
C=150	C=150
m.c.a	m
$H_{simulada}$	Carga piezométrica WaterCAD
47.41	282.07
47.74	282.77
47.83	282.85



$H_{WaterCAD_i}$ $h_{singularidades red_i}$

$H_{WaterCAD_i}$
- $h_{singularidades red}$

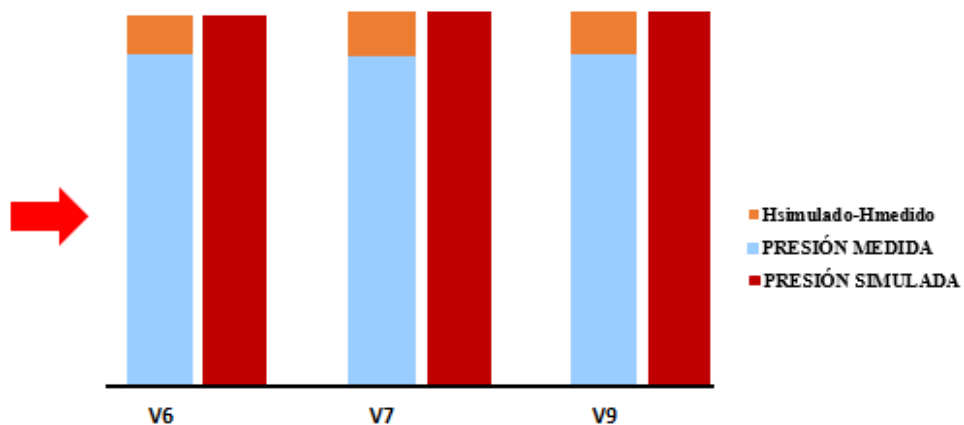


- PRESIÓN SIMULADA
- PRESIÓN SIMULADA WaterCAD
- PÉRDIDA POR SINGULARIDADES

Anexo 11: Representación gráfica de Hsimulada i - Hmedida i por válvula (ΔH)

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 1" (PROGRAMACION ACTUAL)							
TURNOS	Nº VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO		DATOS OBTENIDOS DE SIMULACION		DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA EN RED Y LA PRESIÓN SIMULADA	Error
		PRESIÓN MEDIDA EN RED (antes de la válvula)		PRESIÓN SIMULADA EN RED (antes de la válvula)			
		C=150		C=150			
		m.c.a		m.c.a			
Hred		Hsimulada		$\Delta H = Hred - Hsimulada$	$\Delta H/Hred$		
Turno 3	V6	42.42	47.41	4.99	12%		
	V7	42.11	47.74	5.63	13%		
	V9	42.26	47.83	5.57	13%		

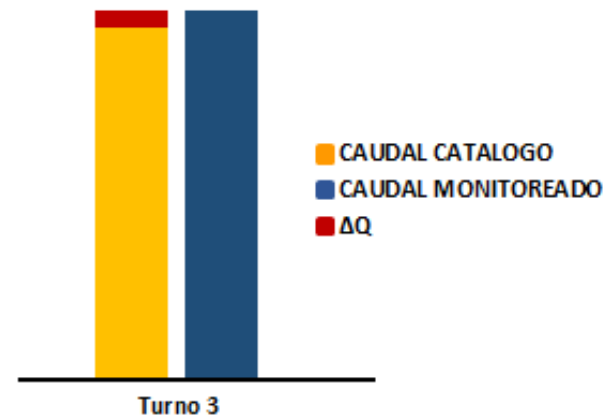
$$\frac{H_{simulada_1} - H_{medida_1}}{H_{medida_1}}$$



Anexo 12: Representación gráfica del caudal determinado por válvula

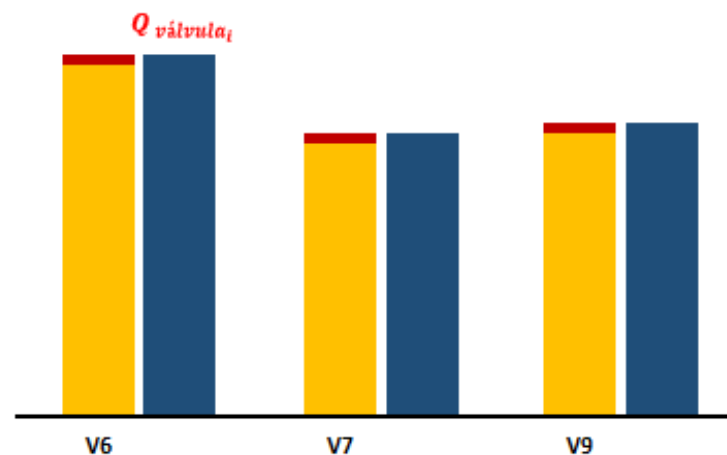
DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)					
TURNOS	Nº VÁLVULA CAMPO	CAUDAL CALCULADO SEGÚN CATALOGO TURNO	DATOS MEDIDOS		
			CAUDAL MONITOREADO POR TURNO	ΔQ	Error ΔQ
		l/s	l/s	l/s	%
		Qc	Qm	Qm-Qc	$\Delta Q/Qm$
Turno 3	V6	19.90	20.60	0.70	3%
	V7				
	V9				

$Q_{\text{Cátalogo turno}_1}$ $Q_{\text{Medido turno}_1}$ $\Delta Q_{\text{Turno}_1}$



DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)					
TURNOS	Nº VÁLVULA CAMPO	CAUDAL SEGÚN CATALOGO VÁLVULA		CAUDAL CALCULADO POR VÁLVULA	
		l/s	m3/h	l/s	m3/h
		Turno 3	V6	7.70	27.71
V7	5.98		21.53	6.21	22.37
V9	6.22		22.40	6.46	23.24

$Q_{\text{Cátalogo válvula}_1}$ $Q_{\text{Cátalogo válvula}_1} + \frac{\Delta Q_{\text{Turno}_1}}{N^\circ \text{ válvulas}_{\text{Turno}_1}}$

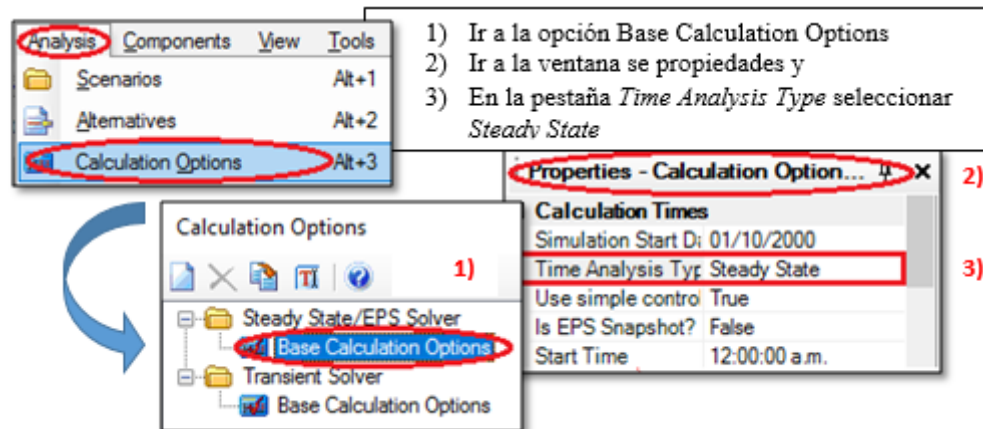


Anexo 13: Pasos para calibrar utilizando la herramienta Darwin calibrator en WaterCAD v8i

Los pasos seguidos para la calibración de una red real instalada de distribución de agua en WaterCAD son los siguientes:

iv. Pasos Previos:

- Se realiza la configuración del tipo de análisis a emplear. *Analysis > Calculation Options*, *flujo permanente*



- Creación de escenarios y asignación de alternativas: Se realiza la creación de los diferentes escenarios para la calibración hidráulica que comprenden «Turnos para calibración Escenario 1», «Turnos para calibración Escenario 2», «Turnos para calibración Escenario 3», a manera de contar con un archivo ordenado, estos escenarios corresponden al “Escenario 1”, “Escenario 2” y “Escenario 3” respectivamente. Para la creación de dichos escenarios se deben seguir los pasos descritos en la sección 3.3.2 a en el punto número *iv*; sin embargo, se creó un escenario por turno seleccionado para la calibración de cada escenario, pues el análisis debe hacerse en flujo permanente. La generación de dichos escenarios se realiza de la siguiente manera:

1) Seleccionar sobre el escenario *Tornos para Calibración E1 New > Child Scenario*, para crear escenarios hijos.

2) Se creará un *Child Scenario* por cada uno de los turnos escenario correspondiente.

- *NOTA:* Del mismo modo se deberá seguir los mismos pasos para la calibración de los «Escenario 2» y «Escenario 3»

Los escenarios con denominación “Turno N” representan a los turnos seleccionados para la calibración; por lo tanto, cada uno necesitó la asignación de una única alternativa de demanda. Por otro lado, estas alternativas no tendrán asignado ningún patrón pues el análisis se realiza en flujo permanente. Para la asignación de alternativas ingresar a: *Analysis > Alternatives*.

1) Seleccionar la alternativa de demanda *Demand > New > Base alternative* y crear la alternativa base *Tornos para Calibración E1*.

2) Sobre base *Tornos para Calibración E1* seleccionar *New > Child alternative*.

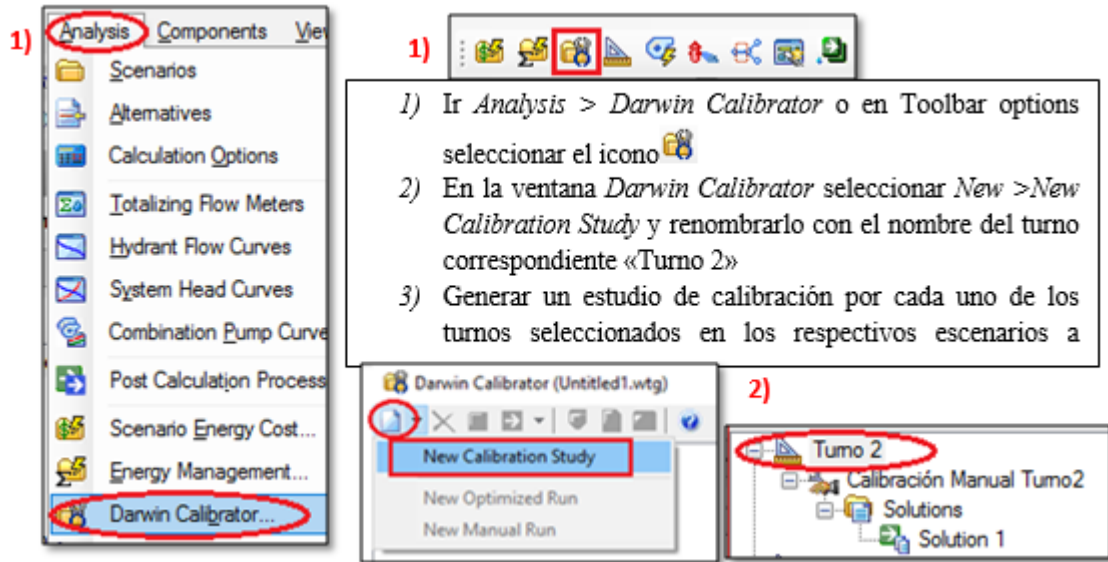
3) Crear una alternativa para cada demanda de turno monitoreado, éstos representan la demanda para cada uno de los turnos a calibrar del «Escenario 1»

4) Ir a *Tools > Demand Control Center* e ingresar los caudales correspondientes al turno a calibrar.

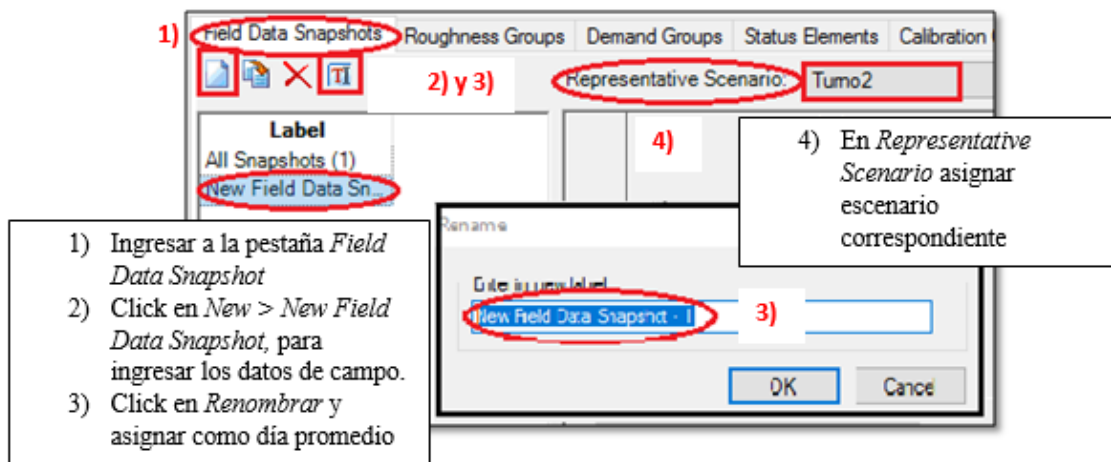
NOTA: Del mismo modo se deberá seguir los mismos pasos para la calibración de los «Escenario 2» y «Escenario 3»

Junctions	Hydrants	Tanks	Surge Tanks
ID	Label	Demand (Base) (L/s)	
1	590 V-41	7.63	
2	674 V-4	5.54	
3	676 V-5	5.54	

- v. **Uso del Darwin Calibrator/Calibración por turnos:** Se ingresa a la herramienta Darwin Calibrator, y se comienza a crear uno estudio de calibración por turno. *New > Calibration Study*



- La designación del escenario para el cual se realiza la calibración se realiza en la pestaña *Field Data Snapshots*, en la imagen se observa que el escenario a ser calibrado es el Turno 2 por lo que en *Representative Scenario* debe asignarse el escenario llamado «Turno 2». La configuración del periodo a calibrar se realiza como se muestra a continuación:



- **Datos de Campo:** Se realiza en la pestaña *Observed Target*, se selecciona la pestaña *New* para cada uno de los elementos que tengan algún dato medido en campo, de tal forma que los datos ingresados sean los empleados para la calibración.

Para cada una de las válvulas del turno a calibrar, se ingresa la altura piezométrica

1) **Observed Target** Boundary Overrides Demand Adjustments

2) Field Data Set

Field Data Set	Element	Attribute	Value
1 New Field Data Snapshot - 1	3) ...	Hydraulic Grade (m)	0.00

4) alue

Field Data Set	Element	Attribute	Value
Día promedio para el turno 2	V-4	Hydraulic Grade (m)	281.94
Día promedio para el turno 2	V-5	Hydraulic Grade (m)	281.94
Día promedio para el turno 2	V-41	Hydraulic Grade (m)	285.45

1) Ir a la pestaña *Observed Target*.

2) Click en el botón *New* para adicionar cada una de las válvulas correspondientes al turno a calibrar.

3) En la columna *Element*, ir al botón **...** para seleccionar los elementos (válvulas).

- Click en *Find*
- Click en o escribir la designación del elemento «V-4»
- Ubicar el elemento medido en campo y click en botón *ok*

4) En la columna *Value* ingresar el valor observado según corresponda a cada elemento. $Gradiente\ Hidráulica_{observada} = P_{observada} + Cota_{válvula}$
El valor a ingresar es la Gradiente hidráulica observada

Adicionalmente se asignó la presión por turno en la válvula «PRV», este dato es obtenido del manómetro de la válvula sostenedora de presión, pues representa la presión de salida de cabezal.

TURNOS	PRESION MONITOREADA POR TURNO
	M.C.B
CONTROLADOR MONOCABLE	
Rotores de 1/2" y 3/4"	
II	52.50

PRV-3

Initial Settings

Status (Initial) Active

Setting Type Pressure

Pressure Setting (l) 52.50

52.52 m H₂O

5m PRV-3

1) Ingresar a la tabla de propiedades de la válvula *PRV* y en la pestaña *Pressure Setting* ingresar el dato correspondiente a *Presión de salida* medido en cabezal

*Nota: El valor ingresado para la válvula *PBV* será igual a cero, pues la presión ingresada en *PRV* ya considera la pérdida de carga en cabezal

- **Grupos de ajuste:** El programa proporciona grupos de ajuste en demanda, rugosidad y estado. Debido a que el 1 parámetro a calibrar fue la rugosidad se creó un solo grupo, el cual contiene a todas las tuberías pues son de un mismo material (PVC), el coeficiente «C», disminuye conforme aumenta la rugosidad del material. Se ingresa a la pestaña *Roughness Groups*.

- 1) Click en la pestaña *Roughness Groups*.
- 2) Click en botón *New*
- 3) En la columna *Label* nombrar al grupo de tubería como *Tubería de PVC*.
- 4) En la columna *Element IDs*, click en el botón **...** para adicionar la red a calibrar.
- 5) Click en el botón **...** para seleccionar las tuberías.

- 1) Click **...**, seleccionar *Network > All pipes*.
- 2) Click **✓** de este modo todas las tuberías quedan seleccionadas, pues el material de toda la red es PVC.
- 3) Seleccionar *OK* y aparecerá la cantidad de tuberías seleccionadas.

ID	Label	Element IDs
1221	TUBERIA DE PVC	<Collection: 159 items>

- **Calibración:** puede ser optimizada o manual, para poder manejar el valor del coeficiente «C» se decidió trabajar con una calibración manual. El programa permite realizar la variación del parámetro mediante un multiplicador (*Multiply*) o colocando directamente su valor (*Set*), para el trabajo se optó por ingresar directamente el valor trabajando con la opción «Set», de la siguiente manera:

1) Seleccionar el turno a calibrar «Turno 2» (*Calibration Study*) *New* > *New Manual Run*

2) Nombrar a *New Manual Run* como «Calibración Manual Turno 2»

3) Ingresar a la pestaña *Roughness*.

a. Columna *Operation* seleccionar *SET*, pues esta opción permite fijar el valor del factor «C»

b. Columna *Value* asignar el valor del factor «C», con el cual se realizara la calibración. Estos valores fueron 145, 140, 135.

4) Click en el botón para obtener la solución ($H_{observada} - H_{simulada}$ y *Gradiente Hidráulica simulada*)

Roughness Adjustment Group	Is Active?	Operation	Value
1 TUBERIA DE PVC	✓	Set	135.000

1) Ir a *Solutions* para observar el *Fitness*, parámetro ofrecido por WaterCAD, mientras más cerca a cero «0» la calibración realizada será la mejor, como se observa se obtuvo una mejores resultados para un valor de C=135.

2) Ir a *Solution 1* dentro ir a la pestaña *Simulated Results* > *Hydraulic Grade* > *Hydraulic Grade RMSE* para observar la *desviación estándar* de los resultados

Solution	Fitness	C=
1 Solution 1	188.596	C=150
Solution 1	146.731	C=145
Solution 1	106.801	C=140
Solution 1	70.274	C=135

Snapshot	Hydraulic Grade RMSE (m)	C=
1 Día promedio para el tu...	4.19	C=150
Día promedio para el tu...	3.69	C=145
Día promedio para el tu...	3.15	C=140
Día promedio para el tu...	2.56	C=135

3) Adicionalmente en *Simulated Results* se obtienen las Gradientes Hidráulicas simuladas según el valor de factor «C» empleado.

Field Data Snapshot	Junction	Observed Hydraulic Grade (m)	C=150	C=145	C=140	C=135
1 Día promedio para...	V-4	281.94	286.71	286.18	285.60	284.95
2 Día promedio para...	V-5	281.94	286.72	286.19	285.61	284.96
3 Día promedio para...	V-41	285.45	288.09	287.65	287.16	286.62

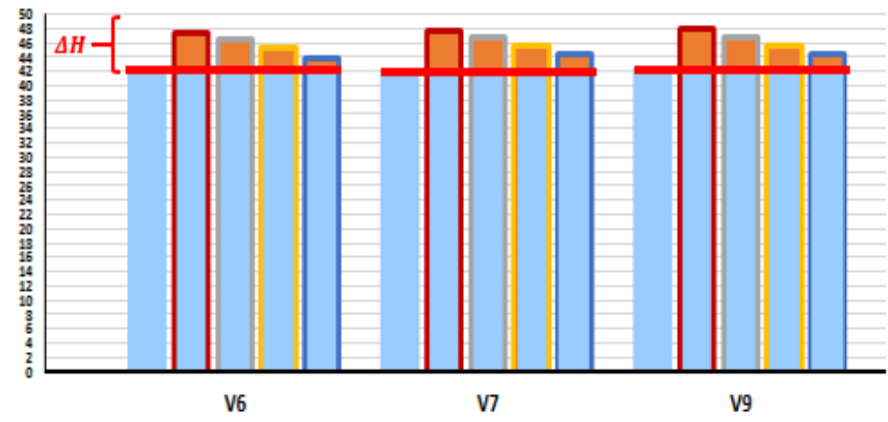
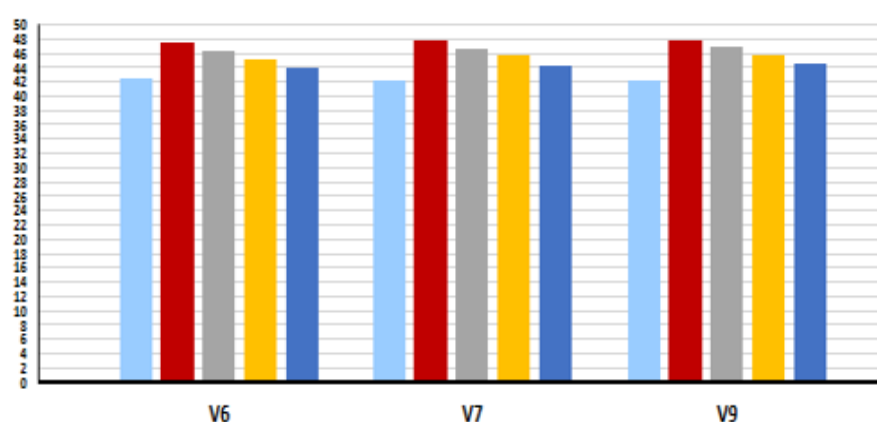
Anexo 14: Comparación gráfica de las presiones obtenidas con los diferentes valores del factor «C»

Estos datos son procesados mediante el uso de Excel de la siguiente manera:

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)														
TURNOS	Nº VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CAMPO	DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN				DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN MEDIDA EN RED Y LA PRESIÓN SIMULADA				Error			
		PRESION MEDIDA EN RED (ANTES DE LA VÁLVULA)	PRESIÓN SIMULADA (ANTES DE LA VÁLVULA)				C=150	C=145	C=140	C=135	C=150	C=145	C=140	C=135
			C=150	C=145	C=140	C=135								
		m.c.a	m.c.a	m.c.a	m.c.a	m.c.a	m	m	m	m	%	%	%	%
Hred	Hsimulada				ΔH = Hred - Hsimulada				ΔH/Hred					
Turno 3	V6	42.42	47.41	46.33	45.15	43.84	4.99	3.91	2.73	1.42	12%	9%	6%	3%
	V7	42.11	47.74	46.73	45.59	44.35	5.63	4.62	3.48	2.24	13%	11%	8%	5%
	V9	42.26	47.83	46.81	45.69	44.46	5.57	4.55	3.43	2.20	13%	11%	8%	5%

- PRESIÓN MEDIDA
- PRESIÓN SIMULADA C=150
- PRESIÓN SIMULADA C=145
- PRESIÓN SIMULADA C=140
- PRESIÓN SIMULADA C=135
- Hsimulado-Hmedido

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{\hspace{10em}}_{H_{simulada_i} - H_{medida_i}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\left(\frac{H_{simulada_i} - H_{medida_i}}{H_{medida_i}} \right)}
 \end{aligned}$$



Anexo 15: Representación gráfica del tiempo de riego calculado por turno

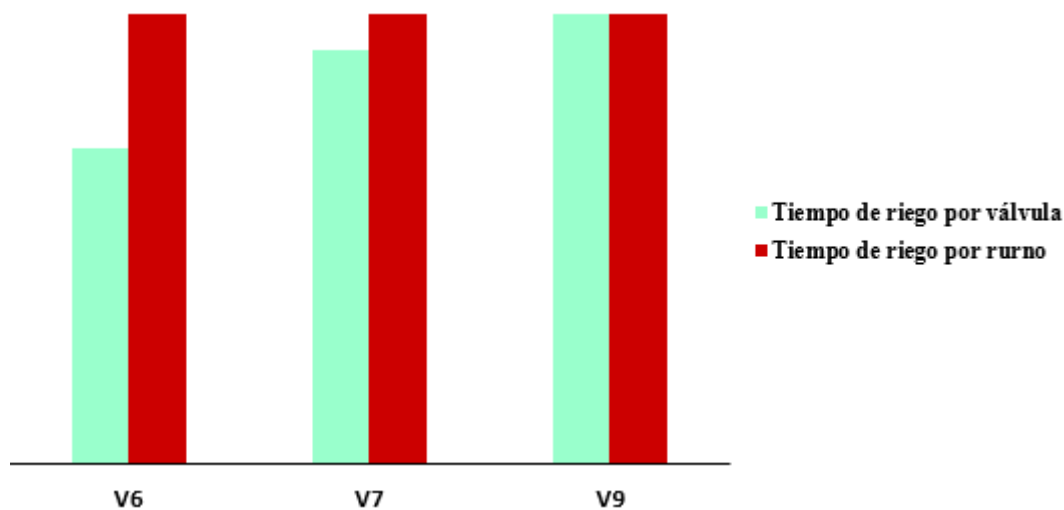
A continuación, se presenta el cálculo del tiempo de riego del *turno 3* para el mes de Enero del «Escenario 1», como ejemplo.

Lámina de Riego		
Mes		Enero
Evapotranspiración potencial (ET _o)	mm/día	3.87
Coefficiente de Cultivo (K _c)		1.00
Evapotranspiración cultivo (ET _c)	mm/día	3.87
Precipitación efectiva	mm/día	0.00
Lámina Neta de Riego	mm/día	3.87
Eficiencia de Riego	%	85%
Lamina Bruta a reponer	mm/día	4.55

$Lr_{neta} / 0.85$

Turno	Nº Válvula en campo	Precipitación horaria promedio por válvula	Tiempo de riego por válvula	Tiempo de riego por válvula	Tiempo de riego por turno
		mm/hr	hr	min/día	min/día
Rotores de 1/2" y 3/4"					
III	V6	10.58	0.43	26.00	37
	V7	8.26	0.55	34.00	
	V9	7.54	0.60	37.00	

$\frac{Lr_{reponer}}{Va_{válvula_i}}$ $Max (Tr_{válvulas})_{turno_i}$



Anexo 16: Parámetros de operación para los turnos del «Escenario 1» -Programación actual

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)																
CONTROLADOR MONOCABLE																
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN		TIEMPO DE RIEGO	DOSIS	TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD			
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO				mm/hr	min	m3/día	m.c.a
		A		l/s	m3/h	l/s	m3/h									
I	V1	64.35	64.39	4.48	16.13	16.68	60.05	7.08	7.08	30.00	30.02	Rotores de 1/2" y 3/4"	48.34			
	V2	64.39		6.27	22.57			9.04					48.30			
	V3	63.15		5.93	21.35			8.07					49.27			
II	V4	55.88	55.88	4.97	17.89	15.79	56.84	4.50	4.50	30.00	28.42	Rotores de 1/2" y 3/4"	54.89			
	V5	55.87		4.67	16.81			4.50					54.90			
	V41	55.54		6.15	22.14			13.63					55.14			
III	V6	63.72	63.72	7.24	26.06	18.67	67.21	10.58	7.54	30.00	33.61	Rotores de 1/2" y 3/4"	48.75			
	V7	63.40		5.64	20.30			8.26					48.95			
	V9	63.31		5.79	20.84			7.54					49.02			
IV	V8	63.59	64.20	6.60	23.76	20.79	74.84	7.97	7.97	30.00	37.42	Rotores de 1/2" y 3/4"	48.80			
	V14	64.06		6.93	24.95			11.08					48.18			
	V15	64.20		7.26	26.14			9.99					48.13			
V	V10	64.65	64.65	7.39	26.60	20.94	75.38	8.88	8.88	30.00	37.69	Rotores de 1/2" y 3/4"	47.69			
	V12	64.29		6.84	24.62			10.02					48.03			
	V13	62.86		6.71	24.16			9.42					49.08			
VI	V16	57.32	57.46	5.16	18.58	15.16	54.58	6.74	6.08	30.00	27.29	Rotores de 1/2" y 3/4"	53.70			
	V17	57.32		4.87	17.53			6.08					53.70			
	V18	57.46		5.13	18.47			7.88					53.53			
VII	V21	65.72	66.23	5.13	18.47	17.77	63.97	12.22	7.74	30.00	31.99	Rotores de 1/2" y 3/4"	46.49			
	V22	66.23		6.30	22.68			8.65					46.02			
	V23	63.65		6.34	22.82			7.74					48.39			
VIII	V24	57.07	57.07	7.15	25.74	16.38	58.97	10.89	10.89	30.00	29.48	Rotores de 1/2" y 3/4"	53.60			
	V46	57.04		9.23	33.23			14.32					53.51			
	V55															

Continuación

TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN		TIEMPO DE RIEGO	DOSIS	TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO				mm/hr
		A		l/s	m3/h	l/s	m3/h						
IX	V25	57.10	57.12	4.41	15.88	15.91	57.28	9.08	7.23	30.00	28.64	Rotores de 1/2" y 3/4"	53.69
	V27	56.55		6.08	21.89			7.23					53.32
	V28	57.12		5.42	19.51			7.48					53.72
X	V26	58.89	60.08	6.21	22.36	18.65	67.14	9.69	9.47	30.00	33.57	Rotores de 1/2" y 3/4"	52.19
	V33	60.08		5.81	20.92			9.47					51.44
	V42	59.80		6.63	23.87			9.53					51.69
XI	V29	66.82	66.82	6.70	24.12	19.98	71.93	10.97	7.86	30.00	35.96	Rotores de 1/2" y 3/4"	45.71
	V31	65.63		7.35	26.46			10.98					46.79
	V35	66.65		5.93	21.35			7.86					45.84
XII	V30	65.10	65.10	5.39	19.40	19.56	70.42	7.67	7.67	30.00	35.21	Rotores de 1/2" y 3/4"	47.24
	V32	64.42		7.12	25.63			11.42					47.89
	V36	64.16		7.05	25.38			9.33					48.02
XIII	V37	61.61	61.61	7.89	28.40	17.47	62.89	10.76	8.13	30.00	31.45	Rotores de 1/2" y 3/4"	50.06
	V39	61.14		6.32	22.75			8.20					50.61
	V40	60.72		3.26	11.74			8.13					51.03
XIV	V43	61.90	61.90	7.16	25.78	20.31	73.12	13.33	12.30	30.00	36.56	Rotores de 1/2" y 3/4"	49.34
	V44	60.17		7.52	27.07			14.37					51.00
	V45	59.41		5.63	20.27			12.30					51.63
XV	V47	59.12	60.79	6.32	22.75	21.99	79.16	9.50	9.50	30.00	39.58	Rotores de 1/2" y 3/4"	51.33
	V48	60.79		4.62	16.63			11.35					50.03
	V49	57.24		11.05	39.78			15.16					53.00
XVI	V56	69.42	69.42	5.62	20.23	17.66	63.58	9.00	9.00	15.00	15.89	Rotores de 1"	52.84
	V57	69.40		6.42	23.11			9.00					52.85
	V70	68.47		5.62	20.23			9.00					53.97
XVII	V64	69.87	70.10	7.38	26.57	14.76	53.14	21.38	21.38	15.00	13.28	Rotores de 1"	52.75
	V68	70.10		7.38	26.57			21.38					52.57

Continuación

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN		TIEMPO DE RIEGO	DOSIS	TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO				
		A		l/s	m3/h	l/s	m3/h	mm/hr					min
XVIII	V65	74.76	75.01	7.38	26.57	22.14	79.70	14.25	10.69	15.00	19.93	Rotores de 1"	48.74
	V66	74.95		7.38	26.57			10.69					48.58
	V67	75.01		7.38	26.57			10.69					48.53
XIX	V71	71.59	71.66	4.01	14.44	13.35	48.06	25.20	20.67	15.00	12.02	Rotores de 1"	51.37
	V72	71.51		4.67	16.81			20.67					51.51
	V73	71.66		4.67	16.81			20.67					51.36
XX	V74	61.82	61.82	9.46	34.06	24.93	89.75	64.63	46.64	7.00	10.47	Difusores boquilla regulable	34.97
	V75	61.76		8.04	28.94			46.64					35.02
	V85	61.24		7.43	26.75			58.14					35.43
XXI	V76	62.21	62.21	10.56	38.02	27.47	98.89	71.17	45.47	7.00	11.54	Difusores boquilla regulable	27.54
	V77	62.16		6.90	24.84			45.47					27.58
	V80	61.75		10.01	36.04			71.18					28.04
XXII	V78	61.36	61.77	8.99	32.36	29.50	106.20	58.35	44.68	7.00	12.39	Difusores boquilla regulable	22.34
	V79	61.77		6.37	22.93			44.68					21.88
	V81	61.72		14.14	50.90			74.39					21.92
XXIII	V82	43.45	43.72	8.48	30.53	20.17	72.61	70.82	46.23	7.00	8.47	Difusores boquilla regulable	48.99
	V83	42.93		5.89	21.20			46.23					49.50
	V84	43.72		5.80	20.88			48.46					48.72
XXIV	V86	55.08	55.08	8.28	29.81	25.32	91.15	48.90	48.90	7.00	10.63	Difusores boquilla regulable	39.43
	V88	54.40		8.77	31.57			65.13					39.78
	V93	54.66		8.27	29.77			68.91					39.64
XXV	V87	50.57	50.57	8.75	31.50	23.32	83.95	58.59	51.09	7.00	9.79	Difusores boquilla regulable	45.42
	V89	49.71		6.81	24.52			51.09					46.05
	V91	48.23		7.76	27.94			53.64					47.23
XXVI	V92	44.44	47.37	9.87	35.52	21.35	76.86	56.01	40.83	7.00	8.97	Difusores boquilla regulable	50.35
	V98	44.66		5.48	19.73			40.83					49.86
	V99	47.37		6.00	21.61			43.49					47.54

Continuación

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)														
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN		TIEMPO DE RIEGO	DOSIS	TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD	
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA	TURNO		VÁLVULA	TURNO	mm/hr					
		A		l/s	m3/h	l/s	m3/h							min
XXVII	V94	53.39	53.40	9.41	33.88	24.45	88.02	72.09	55.81	7.00	10.27	Difusores boquilla regulable	43.05	
	V95	53.40		7.76	27.94			55.81					43.04	
	V90	51.87		7.28	26.21			58.21					44.27	
XXVIII	V96	46.67	46.67	8.14	29.30	25.33	91.19	71.44	43.62	7.00	10.64	Difusores boquilla regulable	48.27	
	V97	45.29		7.12	25.63			43.62					49.33	
	V105	45.00		10.07	36.25			60.32					49.48	
XXIX	V100	42.05	43.51	6.92	24.91	22.11	79.60	60.12	40.44	7.00	9.29	Difusores boquilla regulable	51.78	
	V101	42.84		6.86	24.70			59.43					51.13	
	V104	43.51		8.33	29.99			40.44					50.52	
XXX	V103	38.73	40.54	5.83	20.99	13.56	48.82	49.65	49.65	7.00	5.70	Difusores boquilla regulable	54.32	
	V106	40.54		7.73	27.83			53.25					52.58	
CONTROLADOR CONVENCIONAL														
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA		Caudal				VELOCIDAD DE APLICACIÓN		TIEMPO	DOSIS	TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD	
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA	TURNO		VÁLVULA	TURNO	mm/hr					
		m		l/s	m3/h	l/s	m3/h							min
XXXI	V51	71.24	71.28	6.46	23.26	12.92	46.51	12.21	12.21	15.00	11.63	Rotores de 1"	51.02	
	V52	71.28		6.46	23.26			12.21					50.98	
XXXII	V50	57.93	57.93	5.96	21.46	14.70	52.92	7.33	6.74	30.00	26.46	Rotores de 1/2" y 3/4"	52.02	
	V53	57.64		5.16	18.58			6.74					52.39	
	V54	57.66		3.58	12.89			7.56					52.37	
XXXIII	V58	68.85	69.45	6.42	23.11	17.66	63.58	9.00	9.00	15.00	15.89	Rotores de 1"	53.31	
	V59	69.26		5.62	20.23			9.00					52.88	
	V60	69.45		5.62	20.23			9.00					52.68	
XXXIV	V61	71.04	71.04	5.62	20.23	16.86	60.70	9.00	9.00	15.00	15.17	Rotores de 1"	51.50	
	V62	71.03		5.62	20.23			9.00					51.51	
	V63	71.04		5.62	20.23			9.00					51.49	

Continuación

CONTROLADOR CONVENCIONAL													
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA		Caudal				VELOCIDAD DE APLICACIÓN		TIEMPO	DOSIS	TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO				m.c.a
		m		l/s	m3/h	l/s	m3/h	mm/hr					min
XXXV	V112	69.08	69.08	6.42	23.11	14.45	52.02	22.50	21.60	15.00	13.01	Rotores de 1"	52.98
	V115	68.72		8.03	28.91			21.60					53.36
XXXVI	V113	68.68	69.20	8.03	28.91	14.45	52.02	25.20	18.00	15.00	13.01	Rotores de 1"	53.48
	V114	69.20		6.42	23.11			18.00					53.01
XXXVII	V116	71.07	71.20	6.46	23.26	12.92	46.51	24.43	24.43	15.00	11.63	Rotores de 1"	51.05
	V69	71.20		6.46	23.26			24.43					51.16

Anexo 17: Parámetros de operación para los turnos del «Escenario 2»

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2"											
CONTROLADOR MONOCABLE											
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN PROMEDIO		TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD m.c.a
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO		
		m		l/s	m3/h	l/s	m3/h	mm/hr			
I	V1	64.37	64.41	4.48	16.13	16.68	60.06	7.08	7.08	Rotores de 1/2" y 3/4"	48.34
	V2	64.41		6.27	22.57			9.04			48.30
	V3	63.16		5.93	21.36			8.07			49.26
II	V4	56.46	56.46	4.67	16.80	16.57	59.66	4.50	4.50	Rotores de 1/2" y 3/4"	54.71
	V5	56.45		4.67	16.80			4.50			54.72
	V6	55.99		7.24	26.06			10.58			55.47
III	V7	62.54	62.54	5.64	20.30	18.03	64.91	8.26	7.54	Rotores de 1/2" y 3/4"	49.67
	V8	62.14		6.60	23.76			7.97			49.67
	V9	62.44		5.79	20.84			7.54			49.75
IV	V14	62.15	62.15	6.93	24.95	19.35	69.66	11.08	6.74	Rotores de 1/2" y 3/4"	49.76
	V15	62.05		7.26	26.14			9.99			50.04
	V16	61.93		5.16	18.58			6.74			49.91
V	V10	64.69	64.69	7.39	26.60	20.94	75.38	8.88	8.88	Rotores de 1/2" y 3/4"	47.68
	V12	64.32		6.84	24.62			10.02			48.02
	V13	62.90		6.71	24.16			9.42			49.07
VI	V17	57.81	58.18	4.87	17.53	16.08	57.89	6.08	6.08	Rotores de 1/2" y 3/4"	53.31
	V18	58.18		5.13	18.47			7.88			52.94
	V27	57.80		6.08	21.89			7.23			53.30
VII	V21	65.75	66.25	7.06	25.42	19.70	70.92	12.22	7.74	Rotores de 1/2" y 3/4"	46.49
	V22	66.25		6.30	22.68			8.65			46.01
	V23	63.67		6.34	22.82			7.74			48.38
VIII	V24	59.20	59.20	7.15	7.15	17.77	17.77	10.89	9.08	Rotores de 1/2" y 3/4"	51.85
	V25	58.05		4.41	4.41			9.08			52.93
	V26	58.27		6.21	6.21			9.69			52.70
IX	V28	56.78	60.66	5.42	19.51	17.41	62.68	7.48	7.48	Rotores de 1/2" y 3/4"	54.02
	V29	60.66		6.70	24.12			10.97			50.79
	V30	60.63		5.29	19.04			7.67			50.82
X	V31	62.22	62.36	7.35	26.46	20.28	73.01	10.98	9.47	Rotores de 1/2" y 3/4"	49.62
	V32	62.36		7.12	25.63			11.42			49.51
	V33	58.34		5.81	20.92			9.47			52.90
XI	V36	65.71	65.80	7.05	6.58	21.26	20.79	8.13	8.13	Rotores de 1/2" y 3/4"	46.66
	V37	65.80		7.89	7.89			13.63			46.63
	V39	65.09		6.32	6.32			9.53			47.36
XII	V40	54.55	58.11	3.26	11.74	16.04	57.74	9.33	8.20	Rotores de 1/2" y 3/4"	56.13
	V41	58.11		6.15	22.14			10.76			53.17
	V42	57.95		6.63	23.87			8.20			53.22
XIII	V35	61.30	63.34	5.93	21.35	20.61	74.20	7.86	7.86	Rotores de 1/2" y 3/4"	50.27
	V43	63.34		7.16	25.78			13.33			48.23
	V44	61.12		7.52	27.07			14.37			50.24
XIV	V47	59.14	60.82	6.32	22.75	21.99	79.16	9.50	9.50	Rotores de 1/2" y 3/4"	51.32
	V48	60.82		4.62	16.63			11.35			50.02
	V49	57.28		11.05	39.78			15.16			52.99

Continuación

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2"											
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN PROMEDIO		TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA	TURNO	mm/hr	m.c.a		
		m		l/s	m3/h	l/s	m3/h				
XV	V45	56.03	56.40	5.57	20.05	14.80	53.28	12.30	12.30	Rotores de 1/2" y 3/4"	54.41
	V46	56.40		9.23	33.23			14.32			54.05
XVI	V56	64.02	64.98	5.29	19.04	16.62	59.83	9.00	9.00	Rotores de 1"	52.97
	V57	64.00		6.04	21.74			9.00			52.97
	V70	64.98		5.29	19.04			9.00			54.19
XVII	V65	67.76	67.98	6.93	24.95	20.79	74.84	14.25	10.69	Rotores de 1"	49.50
	V66	67.93		6.93	24.95			10.69			49.36
	V67	67.98		6.93	24.95			10.69			49.31
XVIII	V71	64.94	64.96	3.78	13.61	12.58	45.29	25.20	20.67	Rotores de 1"	51.86
	V72	64.81		4.40	15.84			20.67			52.03
	V73	64.96		4.40	15.84			20.67			51.88
XIX	V64	63.40	63.60	6.93	24.95	13.86	49.90	21.38	21.38	Rotores de 1"	53.09
	V68	63.60		6.93	24.95			21.38			52.93
XX	V74	64.31	64.31	9.46	34.06	26.90	96.84	64.63	46.64	Difusores boquilla regulable	27.67
	V80	63.63		10.01	36.04			46.64			28.10
	V85	64.28		7.43	26.75			58.14			27.68
XXI	V75	60.38	61.21	8.04	28.94	27.59	99.32	71.17	45.47	Difusores boquilla regulable	29.01
	V76	61.21		10.56	38.02			45.47			28.06
	V78	60.69		8.99	32.36			71.18			28.37
XXII	V77	57.27	58.29	6.90	24.84	27.41	98.68	58.35	44.68	Difusores boquilla regulable	31.83
	V79	58.29		6.37	22.93			44.68			30.72
	V81	58.25		14.14	50.90			74.39			30.75
XXIII	V83	45.12	45.92	5.89	21.20	20.17	72.61	46.23	46.23	Difusores boquilla regulable	49.46
	V82	45.64		8.48	30.53			70.82			48.95
	V84	45.92		5.80	20.88			48.46			48.68
XXIV	V86	54.31	54.88	8.28	29.81	25.80	92.88	48.90	48.90	Difusores boquilla regulable	38.82
	V87	54.88		8.75	31.50			58.59			38.13
	V88	54.18		8.77	31.57			65.13			38.71
XXV	V93	54.25	55.75	8.27	29.77	25.44	91.58	68.91	55.81	Difusores boquilla regulable	39.70
	V94	55.74		9.41	33.88			72.09			38.34
	V95	55.75		7.76	27.94			55.81			38.33
XXVI	V89	47.49	47.49	6.81	24.52	21.85	78.66	51.09	51.09	Difusores boquilla regulable	47.85
	V90	47.38		7.28	26.21			58.21			47.94
	V91	46.59		7.76	27.94			53.64			48.55
XXVII	V96	47.54	54.05	8.14	29.30	25.13	90.47	71.44	43.62	Difusores boquilla regulable	45.60
	V92	45.07		9.87	35.53			56.01			47.89
	V97	46.15		7.12	25.63			43.62			46.66
XXVIII	V98	43.06	44.27	5.48	19.73	21.55	80.92	40.83	40.83	Difusores boquilla regulable	51.17
	V99	44.27		6.00	21.60			43.49			50.09
	V105	42.73		10.07	36.25			60.32			51.32
XXIX	V100	42.08	42.86	6.92	24.91	22.11	80.92	60.12	40.44	Difusores boquilla regulable	51.77
	V101	42.86		6.86	24.70			59.43			51.12
	V104	43.54		8.33	29.99			40.44			50.51

Continuación

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2"											
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN PROMEDIO		TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD m.c.a
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO		
		m		l/s	m3/h	l/s	m3/h	mm/hr			
XXX	V103	38.74	40.55	5.83	20.99	13.56	48.82	49.65	49.65	Difusores boquilla regulable	54.32
	V106	40.55		7.73	27.83			53.25			52.58

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2"											
CONTROLADOR CONVENCIONAL											
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN PROMEDIO		TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD m.c.a
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO		
		m		l/s	m3/h	l/s	m3/h	mm/hr			
XXXI	V50	57.94	57.94	5.96	21.46	14.70	52.92	7.33	6.74	Rotores de 1/2" y 3/4"	52.02
	V53	57.66		5.16	18.58			6.74			52.38
	V54	57.68		3.58	12.89			7.56			52.37

XXXII	V58	62.69	63.31	6.04	21.74	16.62	59.83	9.00	9.00	Rotores de 1"	53.39
	V59	63.12		5.29	19.04			9.00			52.94
	V60	63.31		5.29	19.04			9.00			52.31

XXXIII	V61	64.64	64.65	5.29	19.04	15.87	57.13	9.00	9.00	Rotores de 1"	51.27
	V62	64.64		5.29	19.04			9.00			51.27
	V63	64.65		5.29	19.04			9.00			51.26

XXXIV	V51	65.00	66.03	6.07	21.85	12.14	43.70	12.21	12.21	Rotores de 1"	50.80
	V52	66.03		6.07	21.85			12.21			50.76

XXXV	V113	63.78	66.12	7.56	27.22	13.60	76.18	25.20	18.00	Rotores de 1"	52.54
	V114	65.26		6.04	21.74			18.00			52.09
	V115	66.12		7.56	27.22			21.60			52.16

XXXVI	V112	62.86	67.19	6.04	21.74	18.18	65.45	22.50	22.50	Rotores de 1"	53.12
	V69	66.07		6.07	21.85			24.43			51.12
	V116	67.19		6.07	21.85			24.43			51.02

Anexo 18: Parámetros de operación para los turnos del «Escenario 3»

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 3"											
CONTROLADOR MONOCABLE											
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN PROMEDIO		TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD (m.c.a)
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO		
		m		l/s	m3/h	l/s	m3/h	mm/hr			
I	V1	61.28	61.32	3.98	14.34	18.99	68.38	7.08	4.50	Rotores de 1/2" y 3/4"	45.86
	V2	61.32		5.57	20.04			9.04			45.83
	V3	60.34		5.28	18.99			8.07			46.58
	V4	59.57		4.17	15.01			4.50			47.30
II	V5	50.70	57.21	4.17	15.01	20.77	74.78	4.50	4.50	Rotores de 1/2" y 3/4"	54.46
	V6	57.21		6.44	23.17			10.58			49.12
	V7	57.03		5.02	18.07			8.26			49.20
	V9	56.96		5.15	18.54			7.54			49.25
III	V8	60.06	60.74	5.88	21.15	23.08	83.09	7.97	6.74	Rotores de 1/2" y 3/4"	46.70
	V14	60.71		6.16	22.18			11.08			45.94
	V15	60.74		6.45	23.23			9.99			45.98
	V16	60.32		4.59	16.54			6.74			46.23
IV	V10	59.19	59.19	6.57	23.65	21.57	77.64	8.88	6.08	Rotores de 1/2" y 3/4"	47.18
	V12	58.86		6.09	21.91			10.02			47.51
	V17	57.88		4.34	15.61			6.08			48.25
	V18	57.43		4.57	16.47			7.88			48.55
V	V13	54.04	55.64	5.97	21.48	23.50	84.59	9.42	7.74	Rotores de 1/2" y 3/4"	45.40
	V21	55.29		6.28	22.60			12.22			42.96
	V22	55.64		5.60	20.18			8.65			42.51
	V23	54.29		5.65	20.32			7.74			44.68
VI	V24	55.55	55.55	6.35	22.85	21.20	76.31	10.89	7.23	Rotores de 1/2" y 3/4"	49.85
	V25	54.59		3.92	14.10			9.08			50.77
	V26	54.73		5.52	19.87			9.69			50.61
	V27	53.79		5.41	19.49			7.23			51.60
VII	V28	52.69	60.05	4.82	17.34	21.81	78.53	7.48	7.48	Rotores de 1/2" y 3/4"	51.78
	V29	60.05		5.96	21.46			10.97			46.29
	V30	60.03		4.71	16.95			7.67			46.31
	V32	58.87		6.33	22.78			11.42			47.36
VIII	V31	54.62	58.28	6.54	23.54	23.06	83.02	10.98	9.47	Rotores de 1/2" y 3/4"	50.88
	V33	58.28		5.16	18.58			9.47			47.93
	V41	58.08		5.47	19.69			13.63			48.19
	V42	58.04		5.89	21.21			9.53			48.13
IX	V36	60.34	60.52	6.27	22.58	21.81	78.51	9.33	8.13	Rotores de 1/2" y 3/4"	46.07
	V37	60.52		7.02	25.27			10.76			45.96
	V39	59.96		5.62	20.24			8.20			46.58
	V40	59.54		2.90	10.43			8.13			47.00
X	V35	56.12	56.57	5.28	18.99	25.18	90.65	7.86	7.86	Rotores de 1/2" y 3/4"	47.48
	V44	56.57		6.69	24.07			13.33			46.92
	V45	56.06		5.00	18.01			14.37			47.34
	V46	55.89		8.21	29.57			12.30			47.41
XI	V43	52.11	54.65	6.36	22.89	25.92	93.31	14.32	9.50	Rotores de 1/2" y 3/4"	48.43
	V47	53.39		5.62	20.22			9.50			46.99
	V48	54.65		4.11	14.78			11.35			46.15
	V49	52.35		9.84	35.41			15.16			47.98
XII	V56	64.02	64.98	5.29	19.04	16.62	59.84	9.00	9.00	Rotores de 1"	52.97
	V57	64.00		6.04	21.76			9.00			52.97
	V70	64.98		5.29	19.04			9.00			54.19
XIII	V65	67.76	67.98	6.93	24.96	20.80	74.88	14.25	10.69	Rotores de 1"	49.50
	V66	67.93		6.93	24.96			10.69			49.36
	V67	67.98		6.93	24.96			10.69			49.31

Continuación

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 3"											
CONTROLADOR MONOCABLE											
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA (diseño)		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN PROMEDIO		TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD (m.c.a)
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO		
				m	l/s	m3/h	l/s				
XIV	V71	64.94	64.96	3.78	13.60	12.57	45.26	25.20	20.67	Rotores de 1"	51.86
	V72	64.81		4.40	15.83			20.67			52.03
	V73	64.96		4.40	15.83			20.67			51.88
XV	V64	63.40	63.60	6.93	24.96	13.87	49.92	21.38	21.38	Rotores de 1"	53.09
	V68	63.60		6.93	24.96			21.38			52.93
XVI	V74	55.58	55.58	8.71	31.36	24.56	88.40	71.17	45.47	Difusores boquilla regulable	38.13
	V80	55.08		8.77	31.56			45.47			38.41
	V85	55.57		7.08	25.49			71.18			38.11
XVII	V75	52.99	53.81	7.91	28.49	25.57	92.05	58.35	44.68	Difusores boquilla regulable	37.61
	V76	53.81		9.25	33.30			44.68			36.68
	V78	53.47		8.41	30.26			74.39			36.82
XVIII	V77	57.27	58.29	6.90	24.84	27.41	98.68	64.63	46.64	Difusores boquilla regulable	31.82
	V79	58.29		6.37	22.93			46.64			30.72
	V81	58.25		14.14	50.90			58.14			30.75
XIX	V86	54.31	54.88	8.28	29.79	25.79	92.85	48.90	48.90	Difusores boquilla regulable	38.82
	V87	54.88		8.75	31.49			58.59			38.13
	V88	54.18		8.77	31.57			65.13			38.71
XX	V93	54.25	55.75	8.27	29.77	25.45	91.61	68.91	55.81	Difusores boquilla regulable	39.70
	V94	55.74		9.41	33.89			72.09			38.34
	V95	55.75		7.76	27.95			55.81			38.33
XXI	V89	47.49	47.49	6.81	24.52	21.85	78.67	51.09	51.09	Difusores boquilla regulable	47.85
	V90	47.38		7.28	26.20			58.21			47.94
	V91	46.59		7.76	27.95			53.64			48.55
XXII	V92	43.54	44.82	9.87	35.52	22.47	80.88	56.01	40.83	Difusores boquilla regulable	51.11
	V97	44.09		7.12	25.63			43.62			50.32
	V98	44.82		5.48	19.73			40.83			49.75
XXIII	V99	43.64	43.64	6.00	21.60	22.99	82.76	43.49	43.49	Difusores boquilla regulable	50.65
	V100	42.46		6.92	24.91			60.12			51.45
	V105	42.42		10.07	36.25			60.32			51.41
XXIV	V83	52.11	52.92	5.76	20.75	26.63	95.88	46.23	46.23	Difusores boquilla regulable	29.55
	V82	52.09		7.49	26.97			70.82			29.48
	V84	52.38		5.66	20.38			48.46			29.22
	V96	52.92		7.72	27.78			71.44			28.83
XXV	V101	43.06	43.73	6.86	24.70	28.74	103.47	59.43	40.44	Difusores boquilla regulable	39.08
	V103	42.54		5.83	20.97			49.65			39.33
	V104	43.73		8.33	29.99			40.44			38.47
	V106	42.70		7.73	27.82			53.25			39.13
CONTROLADOR CONVENCIONAL											
XXVI	V51	65.48	65.52	6.07	21.84	23.47	84.48	22.50	18.00	Rotores de 1"	50.80
	V52	65.52		6.07	21.84			25.20			50.76
	V58	62.70		6.04	21.76			18.00			53.39
	V59	63.14		5.29	19.04			21.60			52.94
XXVII	V60	63.85	65.27	5.29	19.04	21.16	76.16	12.21	9.00	Rotores de 1"	52.31
	V61	65.27		5.29	19.04			12.21			51.27
	V62	65.25		5.29	19.04			9.00			51.27
	V63	65.27		5.29	19.04			9.00			51.26

Continuación

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 3"											
CONTROLADOR CONVENCIONAL											
TURNO	N° VALVULA EN CAMPO	CARGA DINÁMICA		CAUDAL				VELOCIDAD DE APLICACIÓN PROMEDIO		TIPO DE EMISOR	Presión en WaterCAD (m.c.a)
		VÁLVULA	TURNO	VÁLVULA		TURNO		VÁLVULA	TURNO		
		m		l/s	m3/h	l/s	m3/h	mm/hr			
XXVIII	V113	63.78	64.26	7.56	27.20	21.16	76.16	25.20	18.00	Rotores de 1"	52.54
	V114	64.26		6.04	21.76			18.00			52.09
	V115	64.12		7.56	27.20			21.60			52.16
XXIX	V112	62.86	65.19	6.04	21.76	18.18	65.44	22.50	22.50	Rotores de 1"	53.12
	V69	65.07		6.07	21.84			24.43			51.12
	V116	65.19		6.07	21.84			24.43			51.02
XXX	V50	57.94	57.94	5.96	21.44	14.69	52.88	7.33	6.74	Rotores de 1/2" y 3/4"	52.02
	V53	57.66		5.16	18.57			6.74			52.38
	V54	57.68		3.58	12.87			7.56			52.37

Anexo 19: Datos monitoreados para «Escenario 1»

Los cuadros presentados a continuación, muestran los distintos datos obtenidos de campo y los determinados a través de estos.

DATOS MONITOREADOS "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)													
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
CONTROLADOR MONOCABLE													
I	1	1	55.00	56.00	57.00	48.46	20.64	21.01	Funcionando	38.00	16/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	2	2	55.00	56.00	56.00	47.16	21.20			37.00			
	3	3	56.00	56.00	57.00	47.20	21.19			38.00			
II	4	4	52.00	52.50	54.00	52.32	19.11	18.72	Funcionando	46.00	16/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	5	5	52.00	52.00	61.00	53.74	18.61			46.00			
	6	41	53.00	53.00	61.00	54.18	18.46			47.00			
III	7	6	54.00	55.00	57.00	48.97	20.42	20.60	Funcionando	39.00	16/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	8	7	53.00	54.00	57.00	48.67	20.55			40.00			
	9	9	53.00	55.00	57.00	48.00	20.83			40.00			
VI	16	16	55.00	54.00	59.00	56.40	17.73	17.79	Funcionando	45.00	16/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	17	17	50.00	52.00	54.00	56.10	17.83			46.00			
	18	18	51.00	53.00	54.00	56.09	17.83			45.00			
VII	19	21	54.00	54.00	57.00	45.83	21.82	21.76	Funcionando	37.00	17/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	20	22	54.00	54.00	57.00	46.04	21.72			36.00			
	21	23	54.00	54.00	57.00	46.02	21.73			39.00			
IX	25	25	52.00	52.00	58.00	45.58	21.94	21.98	Funcionando	42.00	17/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	26	27	52.00	52.00	58.00	45.40	22.03			41.00			
	27	28	51.50	51.50	58.00	45.48	21.99			42.00			
X	28	26	50.00	51.00	56.00	45.12	22.16	22.15	Funcionando	40.00	17/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	29	33	49.00	50.00	56.00	45.17	22.14			39.00			
	30	42	49.00	50.00	56.00	45.18	22.13			39.00			

Continuación

TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
XI	31	29	57.00	57.00	59.00	44.20	22.62	22.61	Funcionando	38.00	09/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	32	31	56.50	57.00	59.00	44.20	22.62			39.00			
	33	35	56.50	51.00	59.50	44.30	22.57			39.00			
XII	34	30	53.00	54.00	57.00	44.62	22.41	22.31	Funcionando	38.00	09/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	35	32	54.00	54.00	57.00	44.94	22.25			38.00			
	36	36	53.50	54.00	57.50	44.91	22.27			39.00			
XIII	37	37	55.00	55.00	58.00	49.10	20.37	20.27	Funcionando	42.00	09/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	38	39	54.00	55.50	58.00	49.55	20.18			43.00			
	39	40	55.00	56.00	58.00	49.35	20.26			45.00			
XIV	40	43	50.00	51.00	54.00	42.95	23.28	23.18	Funcionando	37.00	09/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	41	44	50.00	51.00	54.00	43.38	23.05			39.00			
	42	45	50.00	51.00	54.00	43.10	23.20			41.00			
XV	43	47	49.00	50.00	52.00	40.72	24.56	24.47	Funcionando	42.00	09/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	44	48	49.00	50.00	52.00	41.20	24.27			41.00			
	45	49	49.00	50.00	53.00	40.70	24.57			41.00			
XVII	49	64	53.00	54.00	55.00	55.91	17.89	17.88	Funcionando	43.00	10/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	50	68	52.00	53.00	55.00	55.98	17.86			43.00			
	LIBRE		50.00	51.00	56.00	55.85	17.91						
XVIII	52	65	56.00	58.00	60.50	42.88	23.32	24.72	Funcionando	45.00	10/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	53	66	57.00	58.00	60.00	38.87	25.73			45.00			
	54	67	57.00	58.00	60.00	39.85	25.09			46.00			
XIX	55	71	54.00	54.00	55.00	61.26	16.32	16.31	Funcionando	47.00	10/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	56	72	54.00	54.00	55.00	61.37	16.29			46.00			
	57	73	54.00	54.00	55.00	61.30	16.31			46.00			
XX	58	74	50.00	51.00	54.00	36.75	27.21	27.23	Funcionando	16.00	11/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	59	75	50.00	51.00	54.00	36.88	27.11			16.00			
	61	85	50.00	51.00	54.00	36.56	27.36			17.00			

Continuación

TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
XXI	61	76	40.00	40.00	45.00	31.48	31.77	32.00	No funciona	13.00	11/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	62	77	40.00	40.00	45.00	31.28	31.97			15.00			
	63	80	40.00	40.00	45.00	31.00	32.26			15.00			
XXII	64	78	41.00	42.00	47.00	32.20	31.06	30.99	No funciona	18.00	11/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	65	79	41.00	41.00	46.00	32.40	30.86			18.00			
	66	81	44.00	43.00	47.00	32.20	31.06			18.00			
XXIII	67	82	54.00	54.00	57.00	42.17	23.72	23.70	Funcionando	40.00	11/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	68	83	51.00	53.00	57.00	42.09	23.76			40.00			
	69	84	50.00	52.00	56.00	42.33	23.62			40.00			
XXIV	70	86	47.00	48.00	52.00	36.13	27.68	27.66	No funciona	18.00	11/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	71	88	46.00	48.00	50.50	36.16	27.65			18.00			
	72	93	46.00	48.00	50.40	36.16	27.65			18.00			
XXV	73	87	48.00	48.00	52.00	37.67	26.55	26.56	No funciona	21.00	14/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	74	89	48.00	48.00	52.00	37.62	26.58			21.00			
	75	91	47.00	48.00	53.00	37.68	26.54			22.00			
XXVI	76	92	50.00	51.00	56.00	36.30	27.55	27.38	No funciona	37.00	14/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	77	98	52.00	53.00	56.00	36.64	27.29			38.00			
	78	99	52.00	52.00	56.00	36.62	27.31			35.00			
XXVII	79	94	52.00	52.00	54.00	37.57	26.62	26.67	No funciona	27.00	14/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	80	95	52.00	52.00	54.00	37.50	26.67			27.00			
	81	90	52.00	52.00	54.00	37.40	26.74			29.00			
XXVIII	82	96	43.00	44.00	51.00	35.38	28.26	28.32	No funciona	26.00	14/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	83	97	42.00	44.00	51.00	35.27	28.35			29.00			
	84	105	42.00	44.00	52.00	35.28	28.34			28.00			
XXIX	85	100	41.00	47.00	47.00	34.05	29.37	28.87	No funciona	37.00	14/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	86	101	46.00	47.00	50.00	35.01	28.57			36.00			
	87	104	46.00	47.00	51.00	34.88	28.67			35.00			

Continuación

TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
XXX	88	103	55.00	55.00	56.50	45.94	21.77	21.86	Funcionando	47.00	14/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	89	106	55.00	55.00	56.50	45.90	21.79			45.00			
			55.00	55.00	56.50	45.38	22.04						

DATOS MONITOREADOS "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)													
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
CONTROLADOR CONVENCIONAL													
XXXIII	5	58	57.00	58.00	59.00	52.62	19.00	18.99	Funcionando	54.00	18/05/2016	Rotores de 1"	45.00
		59	55.00	58.00	58.00	52.46	19.06			55.00			
		60	56.00	58.00	58.00	52.87	18.91			54.00			
XXXIV	8	61	58.00	58.00	60.00	56.16	17.81	17.75	Funcionando	54.00	18/05/2016	Rotores de 1"	45.00
		62	57.00	58.00	60.00	56.66	17.65			54.00			
		63	58.00	58.00	60.00	56.24	17.78			54.00			

Anexo 20: Datos Monitoreados para «Escenario 2»

DATOS MONITOREADOS "ESCENARIO 2" (AGRUPACIÓN 3 VÁLVULAS)													
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
CONTROLADOR MONOCABLE													
I	1	1	55.00	56.00	57.00	48.46	20.64	21.01	Funcionando	38.00	16/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	2	2	55.00	56.00	56.00	47.16	21.20			37.00			
	3	3	56.00	56.00	57.00	47.20	21.19			38.00			
II	4	4	55.00	54.00	58.00	42.11	23.75	24.08	Funciona	43.00	15/10/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	5	5	55.00	54.00	60.00	42.19	23.70			43.00			
	7	6	53.00	54.00	58.00	40.30	24.81			44.00			
VII	19	21	54.00	54.00	57.00	45.83	21.82	21.76	Funcionando	37.00	17/05/2016	Rotores de 1/2" y 3/4"	30.00
	20	22	54.00	54.00	57.00	46.04	21.72			36.00			
	21	23	54.00	54.00	57.00	46.02	21.73			39.00			
XVII	52	65	56.00	58.00	60.50	42.88	23.32	24.72	Funcionando	45.00	10/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	53	66	57.00	58.00	60.00	38.87	25.73			45.00			
	54	67	57.00	58.00	60.00	39.85	25.09			46.00			
XVIII	55	71	54.00	54.00	55.00	61.26	16.32	16.31	Funcionando	47.00	10/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	56	72	54.00	54.00	55.00	61.37	16.29			46.00			
	57	73	54.00	54.00	55.00	61.30	16.31			46.00			
XIX	49	64	53.00	54.00	55.00	55.91	17.89	17.88	Funcionando	43.00	10/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	50	68	52.00	53.00	55.00	55.98	17.86			43.00			
	LIBRE		50.00	51.00	56.00	55.85	17.91						
XXIII	67	82	54.00	54.00	57.00	42.17	23.72	23.70	Funcionando	40.00	11/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	68	83	51.00	53.00	57.00	42.09	23.76			40.00			
	69	84	50.00	52.00	56.00	42.33	23.62			40.00			
XXIV	70	86	43.00	47.00	48.00	34.25	29.20	29.11	No funciona	19.00	06/08/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	73	87	42.00	45.00	53.00	34.19	29.25			19.00			
	71	88	42.00	45.00	48.00	34.60	28.90			19.00			

Continuación

TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
XXV	72	93	54.00	53.00	56.00	35.82	27.92	27.84	No funciona	26.00	06/08/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	79	94	49.00	52.00	53.00	35.84	27.90			25.00			
	80	95	50.00	51.00	52.00	36.10	27.70			26.00			
XXVI	74	89	45.00	46.00	49.00	34.47	29.01	28.45	No funciona	24.00	06/08/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	81	90	45.00	46.00	50.00	35.66	28.04			24.00			
	75	91	45.00	46.00	49.00	35.30	28.33			26.00			
XXIX	85	100	41.00	47.00	47.00	34.05	29.37	28.87	No funciona	37.00	14/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	86	101	46.00	47.00	50.00	35.01	28.57			36.00			
	87	104	46.00	47.00	51.00	34.88	28.67			35.00			
XXX	88	103	55.00	55.00	56.50	45.94	21.77	21.86	Funcionando	47.00	14/05/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	89	106	55.00	55.00	56.50	45.90	21.79			45.00			
			55.00	55.00	56.50	45.38	22.04						
DATOS MONITOREADOS "ESCENARIO 2" (AGRUPACIÓN 3 VÁLVULAS)													
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
CONTROLADOR CONVENCIONAL													
XXXII	5	58	57.00	58.00	59.00	52.62	19.00	18.99	Funcionando	54.00	18/05/2016	Rotores de 1"	45.00
		59	55.00	58.00	58.00	52.46	19.06			55.00			
		60	56.00	58.00	58.00	52.87	18.91			54.00			
XXXIII	7	61	58.00	58.00	60.00	56.16	17.81	17.75	Funcionando	54.00	18/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	8	62	57.00	58.00	60.00	56.66	17.65			54.00			
		63	58.00	58.00	60.00	56.24	17.78			54.00			

Anexo 21: Datos Monitoreados para «Escenario 3»

DATOS MONITOREADOS "ESCENARIO 3" (AGRUPACIÓN 3 Y 4 VÁLVULAS)													
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
CONTROLADOR MONOCABLE													
II	5	5	54.0	54.0	59.0	36.0	27.8	27.84	No funciona	42.0	16/07/2016	Rotor de 1/2" y 3/4"	30.00
	7	6	54.0	54.0	57.0	38.0	26.3			33.0			
	8	7	54.0	54.0	57.0	34.0	29.4			34.0			
	9	9								34.0			
III	10	8	49.0	49.0	54.0	34.0	29.4	29.50	No funciona	25.0	16/07/2016	Rotor de 1/2" y 3/4"	30.00
	11	14	50.0	49.0	54.0	34.5	29.0			25.0			
	12	15	49.0	49.0	53.0	33.2	30.1			24.0			
	16	16								24.0			
VI	22	24	43.0	42.0	49.0	31.2	32.1	31.00	No funciona	24.0	16/07/2016	Rotor de 1/2" y 3/4"	30.00
	25	25	43.0	42.0	49.0	33.5	29.9			26.0			
	28	26	42.0	42.0	48.0					25.0			
	26	27								28.0			
VII	27	28	44.0	43.0	49.0	33.3	30.0	29.80	No funciona	30.0	15/10/2016	Rotor de 1/2" y 3/4"	30.00
	31	29	44.0	43.0	50.0	33.6	29.7			22.0			
	34	30	43.0	43.0	48.0	33.7	29.6			23.0			
	35	32								22.0			
VIII	32	31	50.0	50.0	56.0	37.0	27.0	26.55	Funciona	38.0	16/07/2016	Rotor de 1/2" y 3/4"	30.00
	29	33	49.0	50.0	55.0	38.0	26.3			36.0			
	6	41	50.0	50.0	57.0	38.0	26.3			36.0			
	30	42								35.0			
IX	36	36	47.0	49.0	50.0	34.8	28.7	28.50	No funciona	27.0	19/07/2016	Rotor de 1/2" y 3/4"	30.00
	37	37	49.0	49.0	52.0	35.5	28.2			26.0			
	38	39	47.0	49.0	51.0	34.9	28.6			27.0			
	39	40								28.0			
X	33	35	45.0	46.0	54.0	35.6	28.1	29.63	No funciona	33.0	16/07/2016	Rotor de 1/2" y 3/4"	30.00
	40	43	46.0	46.0	50.0	32.8	30.5			32.0			
	41	44	46.0	46.0	49.0	33.0	30.3			34.0			

Continuación

TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL DE RIEGO Y CAMPO										
			Presión (válvula sostenedora)		Presión (manómetro cerca de la bomba)	Tiempo por vuelta (medidor Woltman)	Volumen promedio por turno	Caudal promedio por turno	Observación en válvula de Alivio	Presión en válvula de campo	Fecha de Monitoreo	Tipo de Emisor	Tiempo de Riego
			m.c.a (antes)	m.c.a (después)	m.c.a	segundos	litros	l/s		m.c.a			min
CONTROLADOR MONOCABLE													
XIII	52	65	56.00	58.00	60.50	42.88	23.32	24.72	Funcionando	45.00	10/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	53	66	57.00	58.00	60.00	38.87	25.73			45.00			
	54	67	57.00	58.00	60.00	39.85	25.09			46.00			
XIV	55	71	54.00	54.00	55.00	61.26	16.32	16.31	Funcionando	47.00	10/05/2016	Rotores de 1"	45.00
	56	72	54.00	54.00	55.00	61.37	16.29			46.00			
	57	73	54.00	54.00	55.00	61.30	16.31			46.00			
XV	49	64	53.00	54.00	55.00	55.91	17.89	17.88	Funcionando	43.00	06/11/2015	Rotores de 1"	45.00
	50	68	52.00	53.00	55.00	55.98	17.86			43.00			
	LIBRE		50.00	51.00	56.00	55.85	17.91						
XIX	70	86	43.00	47.00	48.00	34.36	29.10	29.11	No funciona	19.00	06/08/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	73	87	42.00	45.00	53.00	34.35	29.11			19.00			
	71	88	42.00	45.00	48.00	34.34	29.12			19.00			
XX	72	93	53.00	52.00	58.00	35.87	27.88	27.84	No funciona	26.00	06/08/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	79	94	50.00	52.00	58.00	35.90	27.86			25.00			
	80	95	50.00	52.00	56.00	36.00	27.78			26.00			
XXI	74	89	45.00	46.00	49.00	35.86	27.89	28.45	No funciona	24.00	06/08/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	81	90	45.00	46.00	53.00	34.84	28.70			24.00			
	75	91	45.00	46.00	49.00	34.74	28.79			26.00			
XXIV	68	83	44.0	44.0	50.0	32.0	31.3	30.32	No funciona	22.0	16/07/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	67	82	44.0	44.0	53.0	34.0	29.4			23.0			
	69	84	44.0	44.0	49.0	33.0	30.3			23.0			
	82	96								21.0			
XXV	86	101	31.0	33.0	37.0	30.2	33.1	33.10	No funciona	23.0	19/07/2016	Difusores boquilla regulable	15.00
	88	103	32.0	33.0	36.0	30.5	32.8			23.0			
	87	104	32.0	33.0	38.0	29.9	33.4			23.0			
	89	106								22.0			

Anexo 22: Datos procesados de campo empleados para la calibración del «Escenario 1»

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 1" (PROGRAMACIÓN ACTUAL)											
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL			DATOS MEDIDOS EN CAMPO					
			CAUDAL MONITOREADO POR TURNO	CAUDAL POR VÁLVULA	PRESIÓN MONITOREADA POR TURNO	PRESIÓN MONITOREADA (DESPUES DE VÁLVULA)	PERDIDA DE CARGA POR VÁLVULA	PERDIDA DE CARGA POR CONTRACCIÓN SUBITA	PERDIDA DE CARGA EN EL ARCO DE RIEGO	PRESIÓN EN RED (ANTES DE LA VÁLVULA)	CARGA PIEZOMÉTRICA CAMPO
			l/s	l/s	m.c.a	m.c.a	m	m	m	m.c.a	m
			Qm			Hm	lv	hc	lv+hc	Hred	C+Hred
CONTROLADOR MONOCABLE											
Rotores de 1/2" y 3/4"											
Turno 1	1	V1	21.01	5.89	56.00	38.00	1.84	0.06	1.90	39.90	273.30
	2	V2		7.60		37.00	3.07	0.10	3.17	40.17	273.57
	3	V3		7.52		38.00	3.01	0.12	3.13	41.13	274.63
Turno 2	4	V4	18.72	5.54	52.50	46.00	1.63	0.06	1.69	47.69	281.94
	5	V5		5.54		46.00	1.63	0.06	1.69	47.69	281.94
	6	V41		7.63		47.00	3.10	0.10	3.20	50.20	285.45
Turno 3	7	V6	20.60	7.93	54.70	39.00	3.31	0.11	3.42	42.42	276.42
	8	V7		6.21		40.00	2.03	0.08	2.11	42.11	276.51
	9	V9		6.46		40.00	2.17	0.09	2.26	42.26	276.66
Turno 6	16	V16	17.79	6.05	53.00	45.00	1.93	0.07	2.00	47.00	282.90
	17	V17		5.72		46.00	1.73	0.07	1.80	47.80	283.70
	18	V18		6.02		45.00	1.91	0.07	1.99	46.99	283.24
Turno 7	19	V21	21.76	7.76	54.00	37.00	3.19	0.12	3.31	40.31	277.81
	20	V22		6.93		36.00	2.52	0.10	2.62	38.62	276.47
	21	V23		7.07		39.00	2.64	0.10	2.74	41.74	278.24
Turno 9	25	V25	21.98	6.33	51.83	42.00	2.10	0.08	2.18	44.18	281.18
	26	V27		8.13		41.00	3.45	0.14	3.59	44.59	280.59
	27	V28		7.52		42.00	3.01	0.12	3.13	45.13	281.88
Turno 10	28	V26	22.15	7.44	50.33	40.00	2.95	0.11	3.06	43.06	280.31
	29	V33		6.92		39.00	2.51	0.08	2.60	41.60	277.45
	30	V42		7.79		39.00	3.21	0.11	3.32	42.32	278.07
Turno 11	31	V29	22.61	7.51	55.00	38.00	3.01	0.10	3.11	41.11	277.96
	32	V31		8.31		39.00	3.58	0.14	3.72	42.72	278.97
	33	V35		6.79		39.00	2.40	0.09	2.50	41.50	278.40
Turno 12	34	V30	22.31	6.20	54.00	38.00	2.02	0.07	2.09	40.09	276.94
	35	V32		8.03		38.00	3.38	0.13	3.52	41.52	277.77
	36	V36		8.08		39.00	3.42	0.13	3.55	42.55	279.30
Turno 13	37	V37	20.27	8.99	55.50	42.00	4.13	0.16	4.29	46.29	282.79
	38	V39		7.33		43.00	2.86	0.11	2.97	45.97	281.57
	39	V40		3.95		45.00	0.92	0.03	0.95	45.95	281.10
Turno 14	40	V43	23.18	8.11	51.00	37.00	3.44	0.13	3.58	40.58	279.58
	41	V44		8.48		39.00	3.72	0.15	3.87	42.87	280.87
	42	V45		6.59		41.00	2.25	0.09	2.35	43.35	281.35
Turno 15	43	V47	24.47	7.08	50.00	42.00	2.64	0.10	2.75	44.75	286.00
	44	V48		5.24		41.00	1.44	0.06	1.50	42.50	283.25
	45	V49		12.15		41.00	4.50	0.29	4.79	45.79	286.29
0.09											
Rotores de 1"											
Turno 17	49	V64	17.88	8.94	52.50	43.00	4.09	0.16	4.25	47.25	286.50
	50	V68		8.94		43.00	4.09	0.16	4.25	47.25	286.50
	LIBRE										
Turno 18	52	V65	24.72	8.21	58.00	45.00	3.51	0.14	3.65	48.65	287.90
	53	V66		8.21		45.00	3.51	0.14	3.65	48.65	287.90
	54	V67		8.30		46.00	3.58	0.14	3.72	49.72	288.97

TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL			DATOS MEDIDOS EN CAMPO					
			CAUDAL MONITOREADO POR TURNO	CAUDAL POR VÁLVULA	PRESIÓN MONITOREADA POR TURNO	PRESIÓN MONITOREADA (DESPUES DE VÁLVULA)	PERDIDA DE CARGA POR VÁLVULA	PERDIDA DE CARGA POR CONTRACCIÓN SUBITA	PERDIDA DE CARGA EN EL ARCO DE RIEGO	PRESIÓN EN RED (ANTES DE LA VÁLVULA)	CARGA PIEZOMÉTRICA CAMPO
			l/s	l/s	m.c.a	m.c.a	m	m	m	m.c.a	m
			Qm			Hm	hv	hc	hv+hc	Hred	C+Hred
Rotores de 1"											
Turno 19	55	V71	16.31	5.02	54.00	47.00	1.31	0.05	1.36	48.36	287.36
	56	V72		5.65		46.00	1.69	0.07	1.75	47.75	286.35
	57	V73		5.65		46.00	1.69	0.07	1.75	47.75	286.50

Difusores de boquilla regulable											
Turno 20	58	V74	27.23	10.23	51.00	16.00	4.50	0.21	4.71	20.71	254.21
	59	V75		8.81		16.00	3.99	0.16	4.15	20.15	253.65
	61	V85		8.19		17.00	3.50	0.14	3.63	20.63	254.23

Turno 21	61	V76	32.00	12.07	40.00	13.00	4.50	0.29	4.79	17.79	252.79
	62	V77		8.41		15.00	3.35	0.14	3.49	18.49	253.49
	63	V80		11.52		15.00	4.50	0.26	4.76	19.76	254.01

Turno 22	64	V78	31.00	9.49	42.00	18.00	4.54	0.18	4.72	22.72	258.47
	65	V79		6.87		18.00	2.42	0.10	2.52	20.52	257.02
	66	V81		14.64		18.00	4.50	0.42	4.92	22.92	259.42

Turno 23	67	V82	23.70	9.10	53.00	40.00	4.22	0.17	4.39	44.39	282.64
	68	V83		7.34		40.00	2.87	0.11	2.98	42.98	280.73
	69	V84		7.26		40.00	2.80	0.11	2.90	42.90	281.40

Turno 24	70	V86	27.66	9.13	48.00	18.00	4.24	0.14	4.39	22.39	256.39
	71	V88		9.52		18.00	4.50	0.18	4.68	22.68	257.93
	72	V93		9.01		18.00	4.15	0.17	4.32	22.32	257.07

Turno 25	73	V87	26.56	9.83	48.00	21.00	4.50	0.17	4.67	25.67	260.92
	74	V89		7.89		21.00	3.28	0.13	3.41	24.41	260.16
	75	V91		8.85		22.00	4.01	0.16	4.17	26.17	262.17

Turno 26	76	V92	27.38	12.09	52.00	37.00	4.50	0.28	4.78	41.78	277.78
	77	V98		7.39		38.00	2.91	0.09	3.01	41.01	278.76
	78	V99		7.90		35.00	3.29	0.12	3.41	38.41	276.66

Turno 27	79	V94	26.67	9.92	52.00	27.00	4.50	0.20	4.70	31.70	267.20
	80	V95		8.57		27.00	3.79	0.15	3.94	30.94	266.44
	81	V90		8.18		29.00	3.49	0.13	3.62	32.62	268.37

Turno 28	82	V96	28.32	8.97	44.00	26.00	4.12	0.16	4.28	30.28	267.78
	83	V97		8.05		29.00	3.39	0.13	3.53	32.53	270.53
	84	V105		11.30		28.00	4.50	0.25	4.75	32.75	271.25

Turno 29	85	V100	28.87	9.15	47.00	37.00	4.26	0.18	4.43	41.43	280.68
	86	V101		8.79		36.00	3.97	0.15	4.12	40.12	279.37
	87	V104		10.94		35.00	4.50	0.23	4.73	39.73	279.23

Turno 30	88	V103	21.86	9.50	55.00	47.00	4.50	0.19	4.69	51.69	291.94
	89	V106		12.36		45.00	4.50	0.30	4.80	49.80	291.05
		LIBRE									

TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL			DATOS MEDIDOS EN CAMPO					
			CAUDAL MONITOREADO POR TURNO	CAUDAL POR VÁLVULA	PRESIÓN MONITOREADA POR TURNO	PRESIÓN MONITOREADA (DESPUES DE VÁLVULA)	PERDIDA DE CARGA POR VÁLVULA	PERDIDA DE CARGA POR CONTRACCIÓN SUBITA	PERDIDA DE CARGA EN EL ARCO DE RIEGO	PRESIÓN EN RED (ANTES DE LA VÁLVULA)	CARGA PIEZOMÉTRICA CAMPO
			l/s	l/s	m.c.a	m.c.a	m	m	m	m.c.a	m
			Qm			Hm	hv	hc	hv+hc	Hred	C+Hred
CONTROLADOR CONVENCIONAL											
Turno 33	5	V58	18.99	6.89	58.00	54.00	2.49	0.10	2.59	56.59	297.59
		V59		6.08		55.00	1.95	0.08	2.02	57.02	298.52
	6	V60		6.02		54.00	1.91	0.08	1.99	55.99	297.74

Turno 34	7	V61	17.75	5.92	58.00	54.00	1.85	0.07	1.92	55.92	296.92
		V62		5.92		54.00	1.85	0.07	1.92	55.92	296.92
		V63		5.92		54.00	1.85	0.07	1.92	55.92	296.92

Anexo 23: Datos procesados de campo empleados para la calibración del «Escenario 2»

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 2"												
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VÁLVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL			DATOS MEDIDOS EN CAMPO						
			CAUDAL MONITOREADO POR TURNO	CAUDAL POR VÁLVULA	PRESIÓN MONITOREADA POR TURNO	PRESIÓN MONITOREADA (DESPUES DE VÁLVULA)	PERDIDA DE CARGA POR VÁLVULA	PERDIDA DE CARGA POR CONTRACCIÓN SUBITA	PERDIDA DE CARGA EN EL ARCO DE RIEGO	PRESIÓN EN RED (ANTES DE LA VÁLVULA)	CARGA PIEZOMÉTRICA CAMPO	
			l/s	l/s	m.c.a	m.c.a	m	m	m	m	m.c.a	m
			Qm			Hm	lv	hc	lv+hc	Hred	C+Hred	
CONTROLADOR MONOCABLE												
Rotores de 1/2" y 3/4"												
Turno 1	1	V1	21.01	5.89	56.00	38.00	1.84	0.06	1.90	39.90	273.30	
	2	V2		7.60		37.00	3.07	0.10	3.17	40.17	273.57	
	3	V3		7.52		38.00	3.01	0.12	3.13	41.13	274.63	
Turno 2	4	V4	24.08	6.93	54.00	43.00	2.52	0.10	2.62	45.62	279.87	
	5	V5		7.09		43.00	2.65	0.10	2.76	45.76	280.01	
	7	V6		10.06		44.00	4.50	0.18	4.68	48.68	282.68	
Turno 7	19	V21	21.76	7.76	54.00	37.00	3.19	0.12	3.31	40.31	277.81	
	20	V22		6.93		36.00	2.52	2.49	5.01	41.01	278.86	
	21	V23		7.07		39.00	2.64	0.10	2.74	41.74	278.24	
Rotores de 1"												
Turno 17	52	V65	24.72	8.21	58.00	45.00	3.51	0.14	3.65	48.65	287.90	
	53	V66		8.21		45.00	3.51	0.14	3.65	48.65	287.90	
	54	V67		8.30		46.00	3.58	0.14	3.72	49.72	288.97	
Turno 18	55	V71	16.31	5.02	54.00	47.00	1.31	0.05	1.36	48.36	287.36	
	56	V72		5.65		46.00	1.69	0.07	1.75	47.75	286.35	
	57	V73		5.65		46.00	1.69	0.07	1.75	47.75	286.50	
Turno 19	49	V64	17.88	8.94	52.70	43.00	4.09	0.16	4.25	47.25	286.50	
	50	V68		8.94		43.00	4.09	0.16	4.25	47.25	286.50	
	LIBRE											
Difusores de boquilla regulable												
Turno 23	67	V82	23.70	9.10	53.00	40.00	4.22	0.17	4.39	44.39	282.64	
	68	V83		7.34		40.00	2.87	0.11	2.98	42.98	280.73	
	69	V84		7.26		40.00	2.80	0.11	2.90	42.90	281.40	
Turno 24	70	V86	29.11	9.38	45.70	19.00	4.45	0.15	4.60	23.60	257.60	
	73	V87		9.85		19.00	4.50	0.17	4.67	23.67	258.92	
	71	V88		9.87		19.00	4.50	0.19	4.69	23.69	258.94	
Turno 25	72	V93	27.84	9.28	52.00	26.00	4.37	0.18	4.55	30.55	265.30	
	79	V94		9.89		25.00	4.50	0.20	4.70	29.70	265.20	
	80	V95		8.66		26.00	3.84	0.15	3.99	29.99	265.49	
Turno 26	74	V89	28.45	9.11	46.00	24.00	4.23	0.17	4.40	28.40	264.15	
	81	V90		9.29		24.00	4.37	0.17	4.55	28.55	264.30	
	75	V91		10.06		26.00	4.50	0.21	4.71	30.71	266.71	
Turno 29	85	V100	28.87	9.15	47.00	37.00	4.26	0.18	4.43	41.43	280.68	
	86	V101		8.79		36.00	3.97	0.15	4.12	40.12	279.37	
	87	V104		10.94		35.00	4.50	0.23	4.73	39.73	279.23	
Turno 30	88	V103	21.86	9.50	55.00	47.00	4.50	0.19	4.69	51.69	291.94	
	89	V106		12.36		45.00	4.50	0.30	4.80	49.80	291.05	
	LIBRE											
CONTROLADOR CONVENCIONAL												
Turno 32	5	V58	18.99	6.89	58.00	54.00	2.49	0.10	2.59	56.59	297.59	
		V59		6.08		55.00	1.95	0.08	2.02	57.02	298.52	
	6	V60		6.02		54.00	1.91	0.08	1.99	55.99	297.74	
Turno 33	7	V61	17.75	5.92	58.00	54.00	1.85	0.07	1.92	55.92	296.92	
		V62		5.92		54.00	1.85	0.07	1.92	55.92	296.92	
	8	V63		5.92		54.00	1.85	0.07	1.92	55.92	296.92	

Anexo 24: Datos Procesados de campo empleados para la calibración del «Escenario 3»

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 3" (AGRUPACIÓN 3 Y 4 VÁLVULAS)												
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL			DATOS MEDIDOS EN CAMPO						
			CAUDAL MONITOREADO POR TURNO	CAUDAL POR VÁLVULA	PRESIÓN MONITOREADA POR TURNO	PRESIÓN MONITOREADA (DESPUES DE VÁLVULA)	PERDIDA DE CARGA POR VÁLVULA	PERDIDA DE CARGA POR CONTRACCIÓN SUBITA	PERDIDA DE CARGA EN EL ARCO DE RIEGO	PRESIÓN EN RED (ANTES DE LA VÁLVULA)	CARGA PIEZOMÉTRICA CAMPO	
			l/s	l/s	m.c.a	m.c.a	m	m	m	m	m.c.a	m
			Qm			Hm	hv	hc	hv+hc	Hred	C+Hred	
CONTROLADOR MONOCABLE												
Rotores de 1/2" y 3/4"												
Turno 2	5	V5	27.84	6.17	54.00	42.00	2.00	0.08	2.08	44.08	278.33	
	7	V6		8.24		33.00	3.53	0.12	3.64	36.64	270.64	
	8	V7		6.64		34.00	2.28	0.09	2.37	36.37	270.77	
	9	V9		6.79		34.00	2.40	0.09	2.50	36.50	270.90	
Turno 3	10	V8	29.50	7.49	49.00	25.00	2.99	0.11	3.11	28.11	262.51	
	11	V14		7.81		25.00	3.23	0.12	3.35	28.35	264.10	
	12	V15		8.15		24.00	3.46	0.13	3.60	27.60	262.95	
	16	V16		6.05		24.00	1.93	0.07	2.00	26.00	261.90	
Turno 6	22	V24	31.00	8.93	42.00	24.00	4.09	0.14	4.22	28.22	266.07	
	25	V25		6.20		26.00	2.02	0.08	2.10	28.10	265.10	
	28	V26		8.00		25.00	3.36	0.13	3.49	28.49	265.74	
	26	V27		7.87		28.00	3.27	0.13	3.39	31.39	267.39	
Turno 7	27	V28	29.80	6.71	43.00	30.00	2.34	0.09	2.43	32.43	269.18	
	31	V29		7.99		22.00	3.36	0.11	3.47	25.47	262.32	
	34	V30		6.68		23.00	2.31	0.08	2.39	25.39	262.24	
	35	V32		8.41		22.00	3.66	0.14	3.81	25.81	262.06	
Turno 8	32	V31	26.55	7.51	50.00	38.00	3.00	0.11	3.12	41.12	277.37	
	29	V33		5.96		36.00	1.88	0.06	1.94	37.94	273.79	
	6	V41		6.30		36.00	2.08	0.07	2.15	38.15	273.40	
	30	V42		6.78		35.00	2.40	0.08	2.48	37.48	273.23	
Turno 9	36	V36	28.50	8.05	49.00	27.00	3.39	0.13	3.52	30.52	267.27	
	37	V37		8.89		26.00	4.05	0.16	4.21	30.21	266.71	
	38	V39		7.32		27.00	2.84	0.11	2.95	29.95	265.55	
	39	V40		4.26		28.00	1.03	0.04	1.07	29.07	264.22	
Turno 10	33	V35	29.63	6.26	46.00	33.00	2.06	0.08	2.14	35.14	272.04	
	40	V44		7.85		32.00	3.25	0.13	3.38	35.38	273.38	
	41	V45		5.96		34.00	1.88	0.07	1.95	35.95	273.95	
	42	V46		9.56		32.00	4.50	0.20	4.70	36.70	275.20	
Rotores de 1"												
Turno 13	52	V65	24.72	8.21	58.00	45.00	3.51	0.14	3.65	48.65	287.90	
	53	V66		8.21		45.00	3.51	0.14	3.65	48.65	287.90	
	54	V67		8.30		46.00	3.58	0.14	3.72	49.72	288.97	
Turno 14	55	V71	16.31	5.02	54.00	47.00	1.31	0.05	1.36	48.36	287.36	
	56	V72		5.65		46.00	1.69	0.07	1.75	47.75	286.35	
	57	V73		5.65		46.00	1.69	0.07	1.75	47.75	286.50	
Turno 15	49	V64	17.88	8.94	52.70	43.00	4.09	0.16	4.25	47.25	286.50	
	50	V68		8.94		43.00	4.09	0.16	4.25	47.25	286.50	
		LIBRE										

Continuación

DATOS CALIBRACIÓN HIDRAULICA "ESCENARIO 3" (AGRUPACIÓN 3 Y 4 VÁLVULAS)											
TURNOS	N° ESTACION CONTROLADOR	N° VALVULA CAMPO	DATOS MEDIDOS EN CABEZAL			DATOS MEDIDOS EN CAMPO					
			CAUDAL MONITOREADO POR TURNO	CAUDAL POR VÁLVULA	PRESIÓN MONITOREADA POR TURNO	PRESIÓN MONITOREADA (DESPUES DE VÁLVULA)	PERDIDA DE CARGA POR VÁLVULA	PERDIDA DE CARGA POR CONTRACCIÓN SUBITA	PERDIDA DE CARGA EN EL ARCO DE RIEGO	PRESIÓN EN RED (ANTES DE LA VÁLVULA)	CARGA PIEZOMÉTRICA CAMPO
			Qm			Hm	hv	hc	hv+hc	Hred	C+Hred
Difusores de boquilla regulable											
Turno 19	70	V86	29.11	9.38	45.70	19.00	4.45	0.15	4.60	23.60	257.60
	73	V87		9.85		19.00	4.50	0.17	4.67	23.67	258.92
	71	V88		9.87		19.00	4.50	0.19	4.69	23.69	258.94
Turno 20	72	V93	27.84	9.28	52.00	26.00	4.37	0.15	4.52	30.52	265.27
	79	V94		9.89		25.00	4.50	0.17	4.67	29.67	265.17
	80	V95		8.66		26.00	3.87	0.15	4.02	30.02	265.52
Turno 21	74	V89	28.45	9.11	46.00	24.00	4.23	0.14	4.37	28.37	264.12
	81	V90		9.29		24.00	4.37	0.15	4.52	28.52	264.27
	75	V91		10.06		26.00	4.50	0.18	4.68	30.68	266.68
Turno 24	67	V82	30.32	8.98	44.00	22.00	4.13	0.16	4.29	26.29	264.54
	68	V83		6.39		23.00	2.14	0.08	2.22	25.22	262.97
	69	V84		6.30		23.00	2.08	0.08	2.16	25.16	263.66
	82	V96		8.64		21.00	3.85	0.15	4.00	25.00	262.50
Turno 25	86	V101	33.10	7.95	33.00	23.00	3.32	0.13	3.45	26.45	265.70
	87	V104		9.42		23.00	4.48	0.18	4.65	27.65	267.15
	88	V103		6.92		23.00	2.51	0.10	2.61	25.61	265.86
	89	V106		8.82		22.00	3.99	0.15	4.15	26.15	267.40

Anexo 25: Especificaciones de operación de los diferentes emisores instalados en los jardines de la UNALM



"Las boquillas HE-VAN de Rain Bird nos ayudan a usar el agua de manera eficiente en situaciones de variación de presión y presencia de vientos. Los chorros son más gruesos y el patrón de regado a corta distancia es más uniforme. Mis clientes quedan más satisfechos".

Ing. Marco Antonio Barocio,
Equipos y sistemas de irrigación,
Guadalajara, México

Productos principales							
Aplicaciones primarias	Aspersores de arco fijo			Aspersores de arco variable		Boquillas rotativas	
	MPR	Boquillas SQ	Serie U	VAN	HE-VAN	Rotativa	R-VAN
	Estándar	Estándar	Mejor	Estándar	Lo mejor	Estándar	Lo mejor
Césped	●	●	●	●	●	●	●
Pendientes						●	●
Franjas angostas	●	●					
Áreas pequeñas		●					
Canteros en paisajes	●	●	●	●	●	●	●
Altamente eficiente			●		●	●	●
Mucho viento			●		●	●	●
Alta presión					●	●	●



Sugerencias para ahorrar agua

- Las Serie U son boquillas de doble orificio que ofrecen una mejor y más uniforme distribución. El agua que sale de ambos orificios se combina para formar un caudal continuo y eliminar las zonas sin regar. Así se obtiene una cobertura más uniforme en toda el área de riego.
- Las boquillas HE-VAN son completamente ajustables de 0 a 360 grados con una alta uniformidad y eficiencia. Las boquillas HE-VAN pueden reducir la cantidad de variaciones necesarias para cubrir casi cualquier tipo de situación o complejidad del terreno. Disponible en radios de 8' a 15', esta boquilla de alta eficiencia satisface sus necesidades.
- Las boquillas rotativas proporcionan una distribución eficaz a través de caudales rotativos que suministran agua de manera uniforme con bajo nivel de precipitación, lo cual reduce de manera significativa el escurrimiento y la erosión.

Boquillas plásticas MPR

Boquillas con nivel de precipitación ajustado

Características

- Niveles de precipitación ajustados en todos los juegos y patrones de las series 5, 8, 10, 12 y 15 para una distribución de agua más uniforme y flexibilidad en el diseño.
- Las boquillas MPR son instaladas por más contratistas que todas las demás marcas en conjunto
- Identifique rápidamente el radio y el arco con las boquillas Top Color-coded™ aun cuando el sistema no esté funcionando
- Garantía comercial de tres años.

Rango operativo

- Espaciamento: de 3 a 15 pies (de 0.9 a 4.6 m)¹
- Presión: de 15 a 30 psi (de 1 a 2.1 bares)
- Presión óptima: 30 psi (2.1 bares)²



Boquillas MPR de Rain Bird®, el estándar de la industria



Boquilla MPR y malla

Modelos

- Serie 5: boquillas de un cuarto, media y circunferencia completa
- Serie 5: Boquillas burbujeadoras
- Serie 8: boquillas de un cuarto, media y circunferencia completa
- Serie 8 FLT: Diseñada para aplicaciones de trayectoria más baja, tales como áreas con viento
- Boquillas Serie 10
- Boquillas Serie 12
- Serie 15: boquillas de un cuarto, media y circunferencia completa
- Boquillas de franja Serie 15

¹ Estos rangos están basados en la presión adecuada de las boquillas.

² Rain Bird recomienda usar cuerpos de aspersores 1800 PRS para mantener el rendimiento óptimo de las boquillas en situaciones de presión más alta.







Cómo especificar

5 F

Patrón
F: Completo
H: Medio
Q: Un cuarto

Rango de radio MPR

5: 5 pies (1.5 m)
8: 8 pies (2.4 m)
12: 12 pies (3.7 m)
15: 15 pies (4.6 m)

Serie 15 Strip		SIST. MÉTRICO		
<i>Trayectoria de 30°</i>				
Boquilla	Presión bares	A x L m	Flujo m ³ /h	Flujo l/m
	1.0	1.2 x 4.0	0.10	1.7
	1.5	1.2 x 4.3	0.11	2.0
	2.0	1.2 x 4.3	0.13	2.3
	2.1	1.2 x 4.6	0.14	2.3
	1.0	1.2 x 7.9	0.20	3.4
	1.5	1.2 x 8.5	0.23	4.0
	2.0	1.2 x 8.5	0.25	4.5
	2.1	1.2 x 9.2	0.27	4.6
	1.0	0.8 x 3.2	0.08	1.3
	1.5	1.0 x 3.9	0.09	1.6
	2.0	1.2 x 4.5	0.11	1.8
	2.1	1.2 x 4.6	0.11	1.9
	1.0	0.8 x 3.2	0.08	1.3
	1.5	1.0 x 3.9	0.09	1.6
	2.0	1.2 x 4.5	0.11	1.8
	2.1	1.2 x 4.6	0.11	1.9
	1.0	1.2 x 7.9	0.20	3.4
	1.5	1.2 x 8.5	0.23	4.0
	2.0	1.2 x 8.5	0.25	4.5
	2.1	1.2 x 9.2	0.27	4.6
	1.0	2.7 x 4.6	0.30	5.1
	1.5	2.7 x 4.9	0.33	5.8
	2.0	2.7 x 5.5	0.36	6.5
	2.1	2.7 x 5.5	0.39	6.5

Boquillas Serie VAN

Boquillas de arco variable

Características

- Una simple vuelta del collar central sin utilizar herramientas especiales aumenta o reduce el ajuste de arco, lo que las hace ideales para regar áreas de formas irregulares
- Identifique rápidamente el radio con las boquillas Top Color-coded™ aun cuando el sistema no esté funcionando
- Las Series 12, 15, y 18-VAN tienen niveles de precipitación equiparados con las boquillas MPR de Rain Bird
- Garantía comercial de tres años.

Rango operativo

- Espaciamiento: de 3 a 18 pies (de 0.9 m a 5.5 m)¹
- Presión: de 15 a 30 psi (de 1.0 a 2.1 bares)
- Presión óptima: 30 psi (2.1 bares)²



Modelos

- Serie 4-VAN: 4 pies
- Serie 6-VAN: 6 pies
- Serie 8-VAN: 8 pies
- Serie 10-VAN: 10 pies
- Serie 12-VAN: 12 pies
- Serie 15-VAN: 15 pies
- Serie 18-VAN: 18 pies

¹ Estos rangos están basados en la presión adecuada de las boquillas.

² Rain Bird recomienda usar cuerpos de aspersores 1800 PRS para mantener el rendimiento óptimo de las boquillas en situaciones de presión más alta.



Fácil de ajustar

Cómo especificar

8 VAN

Rango de radio





- 4: 4 pies (1.2 m)
- 6: 6 pies (1.8 m)
- 8: 8 pies (2.4 m)
- 10: 10 pies (3.0 m)
- 12: 12 pies (3.7 m)
- 15: 15 pies (4.6 m)
- 18: 18 pies (5.5 m)





Tipo de boquilla





VAN: boquilla de arco variable





Serie 4 VAN		SIST. MÉTRICO					
Trayectoria de 0°							
Boquilla	Presión bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h	
	1.0	0.9	0.14	2.3	189	218	
	1.5	1.0	0.17	2.8	183	215	
	2.0	1.2	0.20	3.3	152	176	
	2.1	1.2	0.20	3.3	152	176	
	1.0	0.9	0.12	2.0	198	229	
	1.5	1.0	0.14	2.3	187	216	
	2.0	1.2	0.16	2.7	148	171	
	2.1	1.2	0.17	2.8	157	181	
	1.0	0.9	0.07	1.2	173	200	
	1.5	1.0	0.09	1.5	180	208	
	2.0	1.2	0.10	1.7	139	161	
	2.1	1.2	0.10	1.7	139	161	
	1.0	0.9	0.05	0.8	247	285	
	1.5	1.0	0.06	0.9	240	277	
	2.0	1.2	0.06	1.1	167	193	
	2.1	1.2	0.07	1.1	194	224	





Serie 6 VAN		SIST. MÉTRICO					
Trayectoria de 0°							
Boquilla	Presión bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h	
	1.0	1.2	0.19	3.2	144	166	
	1.5	1.5	0.23	3.8	112	129	
	2.0	1.8	0.27	4.5	91	105	
	2.1	1.8	0.27	4.5	91	105	
	1.0	1.2	0.18	3.0	167	193	
	1.5	1.5	0.21	3.5	124	143	
	2.0	1.8	0.24	4.1	99	114	
	2.1	1.8	0.25	4.2	103	119	
	1.0	1.2	0.10	1.6	139	161	
	1.5	1.5	0.11	1.9	98	113	
	2.0	1.8	0.13	2.2	80	92	
	2.1	1.8	0.14	2.3	86	99	
	1.0	1.2	0.06	1.0	167	193	
	1.5	1.5	0.07	1.2	124	143	
	2.0	1.8	0.08	1.4	99	114	
	2.1	1.8	0.08	1.4	99	114	

Serie 8 VAN		SIST. MÉTRICO					
Trayectoria de 5°							
Boquilla	Presión bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h	
	1.0	1.8	0.27	4.6	91	105	
	1.5	2.1	0.32	5.4	79	91	
	2.0	2.3	0.38	6.3	78	90	
	2.1	2.4	0.39	6.4	74	86	
	1.0	1.8	0.25	4.2	103	119	
	1.5	2.1	0.30	4.9	91	105	
	2.0	2.3	0.34	5.8	86	99	
	2.1	2.4	0.35	5.9	81	94	
	1.0	1.8	0.19	3.2	117	135	
	1.5	2.1	0.23	3.8	104	120	
	2.0	2.3	0.26	4.4	98	113	
	2.1	2.4	0.27	4.5	94	109	
	1.0	1.8	0.12	1.9	148	171	
	1.5	2.1	0.14	2.3	127	147	
	2.0	2.3	0.16	2.7	121	140	
	2.1	2.4	0.16	2.7	111	128	

Serie 10 VAN		SIST. MÉTRICO					
Trayectoria de 10°							
Boquilla	Presión bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h	
	1.0	2.1	0.44	7.3	96	111	
	1.5	2.4	0.53	9.0	89	103	
	2.0	2.7	0.57	9.8	76	88	
	2.1	3.1	0.59	9.8	63	73	
	1.0	2.1	0.33	5.5	96	111	
	1.5	2.4	0.4	6.8	89	103	
	2.0	2.7	0.43	7.8	76	88	
	2.1	3.1	0.48	7.9	68	79	
	1.0	2.1	0.22	3.7	96	111	
	1.5	2.4	0.27	4.6	89	103	
	2.0	2.7	0.29	5.3	76	88	
	2.1	3.1	0.33	5.5	71	82	
	1.0	2.1	0.11	1.8	96	111	
	1.5	2.4	0.13	2.3	89	103	
	2.0	2.7	0.14	2.7	76	88	
	2.1	3.1	0.17	2.8	73	85	

Serie 15 VAN		SIST. MÉTRICO					
Trayectoria de 23°							
Boquilla	Presión bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h	
	1.0	3.4	0.60	9.8	52	60	
	1.5	3.9	0.72	11.8	47	55	
	2.0	4.5	0.84	13.7	41	48	
	2.1	4.6	0.84	14.0	40	46	
	1.0	3.4	0.45	7.4	52	60	
	1.5	3.9	0.54	8.8	47	55	
	2.0	4.5	0.63	10.3	41	48	
	2.1	4.6	0.63	10.5	40	46	
	1.0	3.4	0.30	4.9	52	60	
	1.5	3.9	0.36	5.9	47	55	
	2.0	4.5	0.42	6.9	41	48	
	2.1	4.6	0.42	7.0	40	46	
	1.0	3.4	0.15	2.5	52	60	
	1.5	3.9	0.18	2.9	47	55	
	2.0	4.5	0.21	3.4	41	48	
	2.1	4.6	0.21	3.5	40	46	

Serie 12 VAN		SIST. MÉTRICO					
Trayectoria de 15°							
Boquilla	Presión bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h	
	1.0	2.7	0.35	5.80	48	55	
	1.5	3.2	0.44	7.37	43	50	
	2.0	3.6	0.52	8.75	41	47	
	2.1	3.7	0.54	9.02	40	46	
	1.0	2.7	0.26	4.35	48	55	
	1.5	3.2	0.33	5.53	43	50	
	2.0	3.6	0.39	6.56	41	47	
	2.1	3.7	0.41	6.76	40	46	
	1.0	2.7	0.17	2.90	48	55	
	1.5	3.2	0.22	3.69	43	50	
	2.0	3.6	0.26	4.37	41	47	
	2.1	3.7	0.27	4.51	40	46	
	1.0	2.7	0.09	1.45	48	55	
	1.5	3.2	0.11	1.84	43	50	
	2.0	3.6	0.13	2.19	41	47	
	2.1	3.7	0.14	2.25	40	46	

Serie 18 VAN		SIST. MÉTRICO					
Trayectoria de 26°							
Boquilla	Presión bares	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h	
	1.0	4.3	0.96	15.9	52	60	
	1.5	4.8	1.07	18.0	47	55	
	2.0	5.4	1.20	19.8	41	48	
	2.1	5.5	1.21	20.1	40	46	
	1.0	4.3	0.72	12.0	52	60	
	1.5	4.8	0.80	13.5	47	55	
	2.0	5.4	0.90	14.8	41	48	
	2.1	5.5	0.91	15.1	40	46	
	1.0	4.3	0.48	8.0	52	60	
	1.5	4.8	0.54	9.0	47	55	
	2.0	5.4	0.60	9.9	41	48	
	2.1	5.5	0.61	10.1	40	46	
	1.0	4.3	0.24	4.0	52	60	
	1.5	4.8	0.27	4.5	47	55	
	2.0	5.4	0.30	5.0	41	48	
	2.1	5.5	0.30	5.0	40	46	

Boquillas rotativas

Índice de precipitación de 0.6 pulg./h (15.2 mm/h) en un rango de 13 a 24 pies (4 a 7.3 m)



Características

- La mayor uniformidad de distribución mantiene verde el jardín sin regar en exceso
- Chorros gruesos y grandes gotas que resisten el viento y maximizan la cobertura de la zona objetivo
- Una baja precipitación de 0.6"/hr reduce o elimina el escurrimiento en pendientes y suelos arcillosos duros con un 35% menos tiempo de operación que los productos de los principales competidores
- Niveles de precipitación ajustados y áreas pequeñas de césped que se pueden zonificar combinando las boquillas rotativas Serie R, los rotadores RVAN y Serie 5000 con el juego de boquillas MPR
- Garantía comercial de tres años

Rango operativo

- Espaciamiento: de 13 pies o 24 pies (de 4.0 m a 7.3 m)¹
- Rango de presión: de 20 a 55 psi (de 1.4 a 3.8 bares)
- Presión de operación recomendada: 45 psi (3.1 bares)²

Modelos

- Hay tres patrones diferentes disponibles en dos rangos de radio:
 - de 13' a 18' (de 4.0m a 5.5m)
 - de 17' a 24' (de 5.2m a 7.3 m)

¹ Estos rangos están basados en la presión adecuada de las boquillas.

² Rain Bird recomienda usar cuerpos de aspersores 1800 P45 para mantener el rendimiento óptimo de la boquilla en situaciones de presión más alta.



Boquillas rotativas

Tornillo de acero inoxidable que permite la reducción del radio para acomodar las diversas necesidades paisajísticas.

Serie R13-18 (Negro)			SIST. MÉTRICO		
Arco	Presión bares	Radio* m	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h
	1.4	4.0	4.95	19	22
	1.7	4.3	5.53	18	21
	2.1	4.8	6.06	15	18
	2.4	5.0	6.54	15	18
	2.8	5.2	6.99	15	18
	3.1	5.4	7.42	15	18
	3.4	5.5	7.82	15	18
	1.4	4.0	2.47	19	22
	1.7	4.3	2.76	18	21
	2.1	4.8	3.03	15	18
	2.4	5.0	3.27	15	18
	2.8	5.2	3.50	15	18
	3.1	5.4	3.71	15	18
	3.4	5.5	3.91	15	18
	1.4	4.0	1.24	19	22
	1.7	4.3	1.38	18	21
	2.1	4.8	1.51	15	18
	2.4	5.0	1.64	15	18
	2.8	5.2	1.75	15	18
	3.1	5.4	1.85	15	18
	3.4	5.5	1.95	15	18

Serie R17-24 (Amarillo)			SIST. MÉTRICO		
Arco	Presión bares	Radio* m	Caudal l/m	Precip mm/h	Precip mm/h
	1.4	5.2	9.27	20	23
	1.7	5.8	10.37	18	21
	2.1	6.4	11.36	16	19
	2.4	6.7	12.26	16	19
	2.8	6.9	13.10	16	19
	3.1	7.1	13.89	16	19
	3.4	7.3	14.65	16	19
	1.4	5.2	4.62	20	23
	1.7	5.8	5.19	18	21
	2.1	6.4	5.68	16	19
	2.4	6.7	6.17	16	19
	2.8	6.9	6.55	16	19
	3.1	7.1	6.97	16	19
	3.4	7.3	7.34	16	19
	1.4	5.2	2.31	20	23
	1.7	5.8	2.57	18	21
	2.1	6.4	2.84	16	19
	2.4	6.7	3.07	16	19
	2.8	6.9	3.29	16	19
	3.1	7.1	3.48	16	19
	3.4	7.3	3.67	16	19

Productos principales	Rotores de carcasa cerrada				Rotores de carcasa abierta
	Serie 3504	Serie 5000	Serie 8005	Falcon™ Serie 6504	Maxi-Paw™ Serie 2045A
Aplicaciones primarias					
Césped de 15' a 30' (4.57 m a 9.14 m)	●	●			
Césped de 25' a 50' (7.62 m a 15.2 m)		●	●	●	●
Césped de más de 50' (15.2 m)			●	●	
Uso residencial	●	●			●
Uso comercial		●	●	●	●
Áreas propensas a vandalismo/daños			●		
Pendientes	●	●	●	●	●
Cubierta vegetal/Arbustos	●	●			
Campos deportivos			●	●	
Regulación de presión		●			
Áreas con mucho viento	●	●	●	●	●
Césped más alto		●	●		
Agua no potable	●	●	●	●	●

Serie 3500

Rotor residencial compacto. Gran valor y conveniencia

Características

- Las boquillas Rain Curtain™ brindan una distribución uniforme en todo el radio que incluye gotas de gran tamaño resistentes al viento y riego suave cercano al cabezal que se traduce en un césped más verde con menos agua
- Junta limpiadora de gran tamaño que impide filtraciones y protege los componentes internos de los residuos
- Ajuste de arco por la parte superior del rotor con solo un destornillador plano
- Garantía comercial de 3 años.

Especificaciones de operación

- Índice de precipitación: de 0.37 a 0.83 pulgadas por hora (de 9 a 21 mm/h)
- Radio: de 15 a 35 pies (de 4.6 a 10.7 cm)
- El radio puede reducirse hasta un 25% con el tornillo de reducción del radio.
- Presión: de 25 a 55 psi (de 1.7 a 3.8 bares)
- Índice de caudal: de 0.54 a 4.6 gpm (de 2.0 a 17.4 l/m)
- Entrada con rosca hembra inferior NPT de 1/2" (1.3 cm)
- Ajuste de retomo de círculo completo y círculo parcial de 40° a 360°.

Modelos

- Las unidades de círculo parcial (PC) son ajustables desde 40 a 360 grados.
- 3504-PC: círculo parcial/completo con retorno de 4°
 - 3504-PC-SAM: círculo parcial/completo con retorno de 4° con SAM™
 - 3504-PC-SAM-NP: círculo parcial/completo con retorno de 4° con SAM y tapa NP
 - 3500-S-SAM: círculo parcial/completo con retorno de 4°, modelo para arbustos con SAM



de 0.37 a 0.83 pulg./h
(de 9 a 21 mm/h)



de 25 a 55 psi (de 1.7
a 3.8 bares)



de 0.54 a 4.6 gpm (de
2.0 a 17.4 l/m) (de
0.12 a 1.04 m³/h)



4" (10.2 cm)
Adaptador para
arbustos: 7" (17.8 cm)
4": 6 3/8" (16.8 cm)
1/2" NPT (20/27)

Rendimiento de boquillas Serie 3504					SIST. MÉTRICO	
Presión bares	Boquilla	Radio m	Caudal m ³ /h	Caudal l/m	■ Precip mm/h	▲ Precip mm/h
1.7	0.75	4.6	0.12	2.04	12	14
	1.0	6.1	0.17	2.91	9	11
	1.5	7.0	0.24	4.01	10	11
	2.0	8.2	0.32	5.30	9	11
	3.0	8.8	0.49	8.21	13	15
	4.0	9.4	0.67	11.24	15	17
2.0	0.75	4.8	0.13	2.24	12	13
	1.0	6.2	0.19	3.14	10	11
	1.5	7.0	0.26	4.35	11	12
	2.0	8.2	0.34	5.74	10	12
	3.0	9.1	0.53	8.87	13	15
	4.0	9.7	0.73	12.17	16	18
2.5	0.75	5.2	0.16	2.58	12	13
	1.0	6.4	0.21	3.55	10	12
	1.5	7.0	0.30	4.94	12	14
	2.0	8.2	0.39	6.51	12	13
	3.0	9.4	0.60	10.03	13	16
	4.0	10.1	0.83	13.82	16	19
3.0	0.75	5.2	0.17	2.86	13	15
	1.0	6.4	0.24	3.93	12	13
	1.5	7.3	0.33	5.49	12	14
	2.0	8.2	0.43	7.17	13	15
	3.0	9.4	0.67	11.13	15	17
	4.0	10.6	0.92	15.32	16	19
3.5	0.75	5.4	0.19	3.09	13	15
	1.0	6.6	0.26	4.27	12	14
	1.5	7.3	0.36	5.97	13	15
	2.0	8.4	0.47	7.79	13	15
	3.0	9.6	0.71	11.90	15	18
	4.0	10.7	1.00	16.66	18	20
3.8	0.75	5.5	0.19	3.22	13	15
	1.0	6.7	0.27	4.47	12	14
	1.5	7.3	0.37	6.25	14	16
	2.0	8.5	0.49	8.14	13	15
	3.0	9.8	0.74	12.30	16	18
	4.0	10.7	1.04	17.41	18	21

Serie 5000

Diseñados para ser el rotor más confiable y de mejor rendimiento de la industria

Características

- Junta limpiadora de gran tamaño que impide filtraciones y protege los componentes internos de los residuos
- Las boquillas Rain Curtain™ brindan una distribución uniforme en todo el radio que incluye gotas más grandes resistentes al viento y riego suave cercano al cabezal que se traduce en un césped más verde con menos agua
- Historial probado de rendimiento y confiabilidad en millones de instalaciones
- Puerto de ajuste de arco autolimpiante que evita la acumulación de residuos
- Garantía comercial de 5 años.

Especificaciones de operación

- Índice de precipitación: de 0.20 a 1.01 pulg./hr (de 5 a 26 mm/h)
- Radio: de 15 a 35 pies (de 4.6 a 10.7 cm)
- El radio puede reducirse hasta un 25% con el tornillo de reducción del radio.
- Presión: de 25 a 65 psi (de 1.7 a 4.5 bares)
- Índice de caudal: de 0.76 a 9.63 gpm (de 3.0 a 36.6 l/m; de 0.17 a 2.19 m³/h)

Características opcionales

- Todas las características de la Serie 5000 más:
 - Corto de flujo Plus (PL) – "Cubierta Verde" Evita contratiempos en el trabajo al descargar y enjuagar las boquillas sin necesidad de ir y venir hacia el controlador o las válvulas.
 - PRS (R) con tecnología optimizadora de flujo. El regulador de presión de 45 psi reduce las cuentas de agua, proporciona el caudal exacto en cada rotor, ecualiza las líneas laterales, y elimina la atomización y nebulización
 - Válvula de retención SAM Seal-A-Matic
 - Vástago retráctil de acero inoxidable (SS) que ayuda a prevenir el vandalismo en áreas públicas con césped (disponible en modelos de 4 y 6")
 - Tapa violeta (NP) para sistemas no potables



Serie 5000



de 0.20 a 1.01 pulg./hr (de 5 a 26 mm/h)



de 25 a 65 psi (de 1.7 a 4.5 bares)



de 0.76 a 9.63 gpm (de 3.0 a 36.6 l/m) (de 0.17 a 2.19 m³/h)



Adaptador para arbores: 4" (10.2 cm) 6" (15.2 cm) 12" (30.5 cm)

Adaptador para arbores: 7 3/4" (19.7 cm) 4": 7 3/8" (18.5 cm) 6": 9 3/8" (24.5 cm) 12": 16 3/8" (42.9 cm) 3/4" (20/27) NPT

**Rendimiento de las boquillas Rain Curtain™
de ángulo estándar con PRS de la serie 5000**

SIST. MÉTRICO

Presión bares	Boquilla	Radio m	Caudal m³/h	Caudal l/m	■ Precip mm/h	▲ Precip mm/h
2.0	1.5	10.2	0.28	4.8	5	6
	2.0	10.8	0.36	6.0	6	7
	2.5	10.9	0.44	7.2	7	9
	3.0	11.2	0.55	9.0	9	10
	4.0	11.6	0.71	12.0	11	12
	5.0	12.1	0.91	15.0	12	14
	6.0	12.4	1.05	17.4	14	16
	8.0	11.8	1.45	24.0	21	24
2.5	1.5	10.4	0.31	5.4	6	7
	2.0	11.0	0.41	6.6	7	8
	2.5	11.3	0.50	8.4	8	9
	3.0	11.2	0.62	10.2	9	11
	4.0	12.3	0.81	13.2	11	13
	5.0	12.7	1.03	17.4	13	15
	6.0	13.2	1.21	20.4	14	16
	8.0	13.3	1.63	27.0	19	21
3.0	1.5	10.6	0.34	6.0	6	7
	2.0	11.2	0.45	7.8	7	8
	2.5	11.3	0.56	9.6	9	10
	3.0	12.1	0.69	11.4	9	11
	4.0	12.7	0.89	15.0	11	13
	5.0	13.5	1.13	18.6	12	14
	6.0	13.9	1.34	22.2	14	16
	8.0	14.1	1.79	30.0	18	21
3.5	1.5	10.7	0.37	6.0	7	8
	2.0	11.3	0.49	8.4	8	9
	2.5	11.3	0.60	10.2	9	11
	3.0	12.2	0.74	12.6	10	12
	4.0	12.8	0.97	16.2	12	14
	5.0	13.7	1.23	20.4	13	15
	6.0	14.2	1.45	24.0	14	17
	8.0	14.9	1.93	32.4	18	20
4.0	1.5	10.6	0.40	6.6	7	8
	2.0	11.1	0.52	9.0	8	10
	2.5	11.3	0.64	10.8	10	12
	3.0	12.2	0.80	13.2	11	12
	4.0	12.8	1.04	17.4	13	15
	5.0	13.7	1.32	22.2	14	16
	6.0	14.9	1.55	25.8	15	17
	8.0	15.2	2.06	34.2	18	21
4.5	1.5	10.4	0.42	7.2	8	9
	2.0	10.7	0.55	9.0	10	11
	2.5	11.3	0.68	11.4	11	12
	3.0	12.2	0.84	13.8	11	13
	4.0	12.8	1.10	18.0	13	15
	5.0	13.7	1.40	23.4	15	17
	6.0	14.6	1.64	28.2	15	18
	8.0	15.2	2.19	36.6	19	22

Serie Falcon® 6504

Confiable y económico

Características

- Vástago de trinquete igual que en cuerpos de aspersores estándares.
- Boquillas Rain Curtain de 3 puertos codificadas por color para un riego óptimo de largo y mediano alcance y cercano al cabezal.
- Válvula de retención Seal-A-Matic.
- Estator autoajustable que no requiere reemplazo al cambiar las boquillas
- Resorte retráctil de acero inoxidable y gran resistencia que garantiza una buena retracción
- Garantía de 5 años.

Opciones


- **Vástago de acero inoxidable (SS)** que previene el vandalismo en áreas de césped públicas
- **Tapa violeta (NP)** para sistemas de agua no potable
- **Versión de alta velocidad (HS) con tapa color marrón** para eliminación de polvo


Especificaciones de operación


- Índice de precipitación: de 0.37 a 1.14 pulgadas por hora (de 9 a 29 mm/h)
- Radio: de 39 a 65 pies (de 11.9 a 19.8 m)
- Presión: de 30 a 90 psi (de 2.1 a 6.2 bares)
- Caudal: de 2.9 a 21.7 gpm (de 0.66 a 4.93 m³/h; de 10.8 a 82.2 l/m)
- Entrada de rosca hembra NPT o BSP de 1" (2.5 cm) (26/34)
- Dispositivo de retención SAM que admite hasta 10 pies (3.1 m) de cambio de elevación
- Boquillas Rain Curtain™: 04 (negro), 06 (celeste), 08 (verde oscuro), 10 (gris), 12 (beige), 14 (verde claro), 16 (marrón oscuro), 18 (azul oscuro)





Serie Falcon® 6504

 de 0.37 a 1.14 pulg./h
(de 9 a 29 mm/h)

 de 30 a 90 psi (de 2.1 a 6.2 bares)

 de 2.9 a 21.7 gpm (de 10.8 a 82.2 l/m) (de 0.66 a 4.93 m³/h)

 4" (10.2 cm)

 8½" (21.6 cm)

 1" (26/34) NPT o BSP

Rendimiento de boquillas Falcon® 6504							SIST. MÉTRICO	
Presión bares	Boquilla	Radio m	Caudal m ³ /h	Caudal l/m	▲ Precip mm/h	▲ Precip mm/h		
2.1	● 4	11.9	0.66	10.98	9	11		
	● 6	13.1	0.95	15.90	11	13		
2.5	● 4	12.3	0.72	11.92	10	11		
	● 6	13.5	1.05	17.56	12	13		
	● 8	14.9	1.50	25.20	13	16		
	● 10	15.5	1.84	30.60	15	18		
	● 12	16.2	2.20	36.60	17	19		
	● 14	16.8	2.57	42.60	18	21		
	● 16	16.8	2.86	47.40	20	24		
	● 18	18.0	3.11	51.60	19	22		
3.0	● 4	12.5	0.78	13.02	10	12		
	● 6	14.1	1.16	19.34	12	13		
	● 8	15.1	1.56	26.04	14	16		
	● 10	15.8	1.92	31.99	15	18		
	● 12	16.4	2.31	38.44	17	20		
	● 14	17.2	2.68	44.63	18	21		
	● 16	17.4	3.00	49.95	20	23		
	● 18	18.0	3.25	54.11	20	23		
3.5	● 4	12.5	0.85	14.09	11	13		
	● 6	14.9	1.26	20.96	11	13		
	● 8	15.5	1.69	28.24	14	16		
	● 10	16.2	2.08	34.70	16	18		
	● 12	16.8	2.52	41.98	18	21		
	● 14	18.0	2.91	48.45	18	21		
	● 16	18.6	3.27	54.53	19	22		
	● 18	18.1	3.53	58.78	22	25		
4.0	● 4	12.5	0.89	14.91	11	13		
	● 6	14.4	1.34	22.33	13	15		
	● 8	15.5	1.83	30.44	15	17		
	● 10	16.6	2.23	37.17	16	19		
	● 12	17.3	2.72	45.28	18	21		
	● 14	18.5	3.12	52.01	18	21		
	● 16	19.1	3.50	58.37	19	22		
	● 18	19.0	3.81	63.45	21	24		

Presión bares	Boquilla	Radio m	Caudal m ³ /h	Caudal l/m	▲ Precip mm/h	▲ Precip mm/h
4.5	● 4	12.5	0.96	15.94	12	14
	● 6	14.6	1.40	23.33	13	15
	● 8	15.5	1.95	32.43	16	19
	● 10	17.1	2.37	39.44	16	19
	● 12	17.7	2.89	48.17	18	21
	● 14	18.6	3.32	55.38	19	22
	● 16	19.2	3.71	61.82	20	23
	● 18	19.5	4.03	67.12	21	24
5.0	● 4	12.7	1.01	16.84	13	15
	● 6	14.9	1.47	24.50	13	15
	● 8	15.7	2.05	34.16	17	19
	● 10	17.2	2.50	41.64	17	19
	● 12	18.1	3.04	50.72	19	21
	● 14	18.6	3.51	58.49	20	23
5.5	● 4	13.1	1.04	17.39	12	14
	● 6	14.9	1.56	25.79	14	16
	● 8	16.1	2.13	35.54	16	19
	● 10	16.8	2.63	43.84	19	22
	● 12	18.6	3.18	52.92	18	21
	● 14	18.6	3.67	61.23	21	25
6.0	● 16	19.2	4.10	68.40	22	26
	● 18	19.8	4.44	74.07	23	26
6.0	● 18	19.8	4.79	79.77	24	28
6.2	● 18	19.8	4.93	82.13	25	29

FUENTE: Adaptado de RAIN BIRD 2015

Anexo 26: Pérdida de carga para la válvula Serie 200-PGA Angulo 5.1cm

Pérdida de carga válvula Serie 200-PGA Angulo 5.1 cm		
Caudal	Pérdida de carga	
m ³ /h	bares	m.c.a
9	0.07	0.7
12	0.07	0.7
15	0.1	1
18	0.13	1.3
21	0.18	1.8
24	0.23	2.3
27	0.3	3
30	0.36	3.6
34	0.45	4.5

FUENTE: Rain Bird-Catálogo de productos de riego paisajístico (2015)

Anexo 28: Recibo de tarifa de agua con fines agrarios de la UNALM

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO
JUNTA DE USUARIOS DEL SECTOR HIDRAULICO RIMAC
 Av. Las Torres Lote 15 HUACHIPA - LIMA - LIMA
 WWW.IURIMAC.COM TELEFONO 01-3562734 - RPC 997551704
TARIFA DE AGUA CON FINES AGRARIOS
 Según LEY DE RECURSOS HÍDRICOS - LEY N° 29338 - AG

R.U.C. 20211325276
RECIBO
 001-Nº 137195

OMISIÓN DE USUARIOS: ATE
 COMITÉ DE USUARIOS:

PERIODO: 2017	Frac. 01/01	Autoridad Nacional del Agua	Administración Local de Agua
DATOS DEL USUARIO Y CONSUMO		DETALLE DEL IMPORTE	
REGISTRO JUSHR N°:	010090	RETRIBUCIÓN ECONÓMICA	3,510.00
NOMBRE DEL USUARIO: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		TARIFA DE AGUA:	
NOMBRE DEL PREDIO: Av. Universidad s/n - La Molina		Comisión de Usuarios	50,559.00
VOLUMEN M ³ : 1,350,000.00		Junta de Usuarios	34,840.00
TARIFA S/. x M ³ : 0.05815407		Fiscalización JUSHR	2,332.00
DISTRIBUCIÓN ECO. S/. x M ³ : 0.00260		Junta Nacional de Usuarios	777.00
CARGA DE AGUA S/:		Aportes Voluntarios:	0.00
CARGA DE AGUA S/:		TOTAL A PAGAR S/.	82,018.00
FECHA DE EMISIÓN: 25/01/2017		FECHA DE VENCIMIENTO: 08/02/2017	

MENSAJE AL USUARIO JUSHR

DEUDA ANTERIOR: Vencida la fecha de pago, se cobrará un 1% mensual, y la cobranza se hará por vía coercitiva y/o corte de la dotación de agua de riego, según consta en la ley N° 29338 y el D.S 001-2010-AG, Ley de Recursos Hídricos y su reglamento respectivamente.

FORMAS DE PAGO DE TARIFA CON FINES AGRARIOS: (Informes de pagos: cobranza@jurimac.com)

Vía depósito en el BBVA Continental: COMO CUENTA RECAUDADORA de la JUNTA DE USUARIOS DEL SECTOR HIDRAULICO RIMAC, deberá presentar su recibo en ventanilla, e indicar los siguientes datos: Numero de recibo, Código de Usuario JUSHR (indicar código de usuario en forma obligatoria), apellidos y nombres completos y/o razón social, luego solicitar su voucher con los datos del Usuario.

En la oficina de cobranza del local de la JUSHR - Sitio en Av Las Torres Lt. 15 Huachipa-Lima, y/o Comisión

NOTAS: - La cancelación de este recibo solo reconoce el cumplimiento de la indicada obligación, más no la propiedad del terreno en el que se utiliza el agua.
 - Pasado los 15 días de recepción del presente documento, no hay lugar a reclamos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 OF. ADMINISTRATIVA - SERV. GENERALES
RECIBIDO
 Fecha: 03-02-17
 Cort: M. B. Carrasco
 La recepción de este documento no implica su aceptación.

02 de Febrero del 2017

Consultas a: informes@jurimac.com

CARGO	Frac. 01/01	1ª NOTIFICACIÓN DE PAGO	001 - 137195
TARIFA DE AGUA CON FINES AGRARIOS			
JUNTA DE USUARIOS DEL SECTOR HIDRAULICO RIMAC			
COMISIÓN - COMITÉ DE USUARIOS: ATE			
Recibo Nº: 137195	Periodo: 2017	Recibido por:	FECHA:
Nombre del Usuario: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA		D.N.I.:	
Nombre del Predio: Av. Universidad s/n - La Molina		FIRMA	
REGISTRO N°: 010090	Total S/:	PREVIA VERIFICACIÓN DE DATOS CON EL DNI ORIGINAL	
	82,018.00	[Firma]	

encargado de las finanzas y el cobro de la tarifa de agua hasta que se efectúe las elecciones y entre en vigencia la nueva Junta Directiva, en caso de requerir mayor información al respecto comunicarse con el Sr. Jesús Sánchez B (Administrador) al teléfono 997589811.

Atentamente,

Comisión de Regantes Sub-Sector
de Riego - Ate

M. B. Carrasco Moreno
TESORERO

Los correspondientes al uso para nuestra Comisión de de uso de agua de Regadío -137195, por el importe de recibo).

Realizadas en el recibo, ya por la o por parte de la Junta de cumplir con las actividades carácter tributarios que son

de realicen a la brevedad en farás, distrito de la Molina.


de acordado, deben realizarlo Carrasco Moreno quien es el

Anexo 29: Recibo de energía eléctrica de la UNALM

684

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LA MOLINA S/N
LA MOLINA - LIMA

R.U.C.: 20147897406 TELEFONO: 6447105
 Recibo Nro. 197415039 M - ENL-15393



LUZ DEL SUR
 AV. CANAVAL Y MOREYRA 380 SAN ISIDRO - LIMA
 RUC 2033180005 www.luzdesur.com.pe

N° SUMINISTRO

312427

DATOS DEL SUMINISTRO


Sucursal	SANTA ANITA	Conexión	Subterránea C5.4
Ruta	30-749-0377	Potencia	Contratada 950.00 KW
Tarifa	MT3	Facturación	Variable
Nivel Tensión	10 KV	Medidor	Trifásico
Alimentador	PL-05		Electrónico 3 hilos

DETALLE DE LOS IMPORTES FACTURADOS

Descripción	Precio Unitario	Consumo	Importe
Cargo Fijo			3.15
Mant. y Reposición de Coñexión			27.16
Consumo de Energía Hora Punta	0.2151	54640.00	11,753.06
Consumo de Energía Fuera Punta	0.1786	304160.00	54,322.98
Consumo de Energía Reactiva Inductiva	0.0426	62600.00	2,666.76
Potencia Generación Fuera de Punta	32.0955	1026.00	32,929.98
Potencia Distribución Fuera de Punta	10.4565	1010.00	10,561.07
Alumbrado Público			920.00
Interés Compensatorio			382.94
I.G.V.			20,442.09
Electrificación Rural (Ley N° 28749)	0.0081	358800.00	2,906.28
Interés Moratorio			14.69
SUBTOTAL DEL MES			136,930.16
DEVOLUCIÓN			(368.59)
TOTAL LUZ DEL SUR			136,561.57

REGISTRO DE DEMANDA / CONSUMO

Historia de Consumo



Importe 2 Últimos meses Facturados
 Dic-16 S/ 130,859.40 Ene-17 S/ 121,282.27

Energía Activa (kW.h)			
		Horas Punta	Fuera Punta
Lectura Actual	(25/02/2017)	1759.170	9937.900
Lectura Anterior	(25/01/2017)	1731.850	9785.820
Diferencia entre lecturas		27.320	152.080
Factor de Medición		2000	2000
Consumo a facturar		54640.00	304160.00

Demanda (kW)			
		Horas Punta	Fuera Punta
Lectura Actual	(25/02/2017)	0.3160	0.5130
Lectura Anterior	(25/01/2017)	0.0000	0.0000
Diferencia entre lecturas		0.3160	0.5130
Factor de Medición		2000	2000
Potencia Registrada		632.0000	1026.0000

Calificación	Fuera de Punta
Factor de Calificación	0.390
N° Horas de punta	135 horas

Energía Reactiva (kVAR.h)		
		Inductiva
Lectura Actual	(25/02/2017)	4530.220
Lectura Anterior	(25/01/2017)	4445.100
Diferencia entre lecturas		85.120
Factor de Medición		2000
Consumo Registrado		170240.00
Consumo a facturar		62600.00

Historia de Consumos y Demandas

	Mr	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Se	Oc	Nv	Di	En	Fe
KW.h - FP	267480	288200	277000	284540	255960	242020	281580	271480	280560	275380	257680	304160
KW.h - HP	49080	53580	55340	56280	48700	42020	52840	49520	51700	52360	48200	54640
Max - kW	994.00	994.00	962.00	902.00	902.00	878.00	924.00	938.00	974.00	994.00	950.00	1038.00

13 MAR. 2017

Ajuste sencillo mes anterior 0.07
 Ajuste sencillo mes actual -0.04


TOTAL A PAGAR S/	**136,561.60
FECHA EMISIÓN	FECHA VENCIMIENTO
28-FEB-2017	15-MAR-2017

MENSAJES AL CLIENTE

El total a pagar incluye: Recargo por FOSE (Ley 27510) S/ 2,950.72

Secuencia 00090
 Suministro 0312427 4
 Vencimiento 15-MAR-2017
 Cuenta 30-749-0377
 Tarifa MT3
 20170225 **136,561.60
 SANTA ANITA
 Total a Pagar **136,561.60

S/ ****136,561.60**



03124274 02000013656160

Anexo 30: Funcionamiento en campo de los diferentes emisores instalados en los jardines de la UNALM



Aspersor rotor emergente de ½” y ¾”



Aspersor rotor emergente de 1”

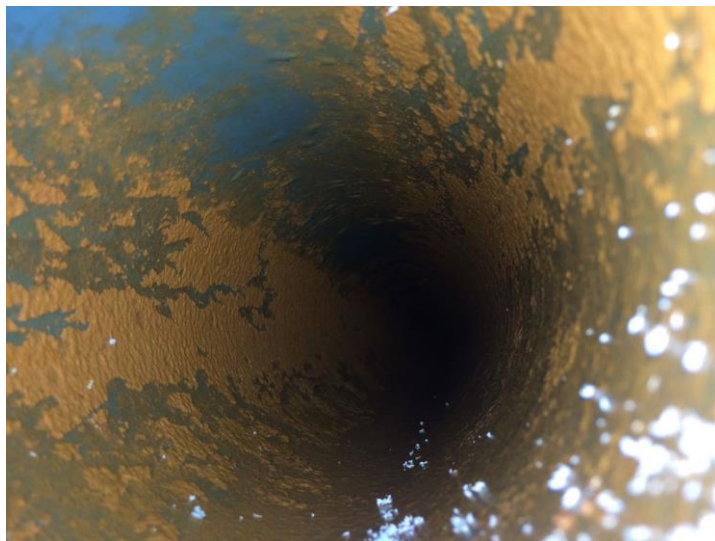


Aspersor difusor de 1/2" Rain Bird serie VAN



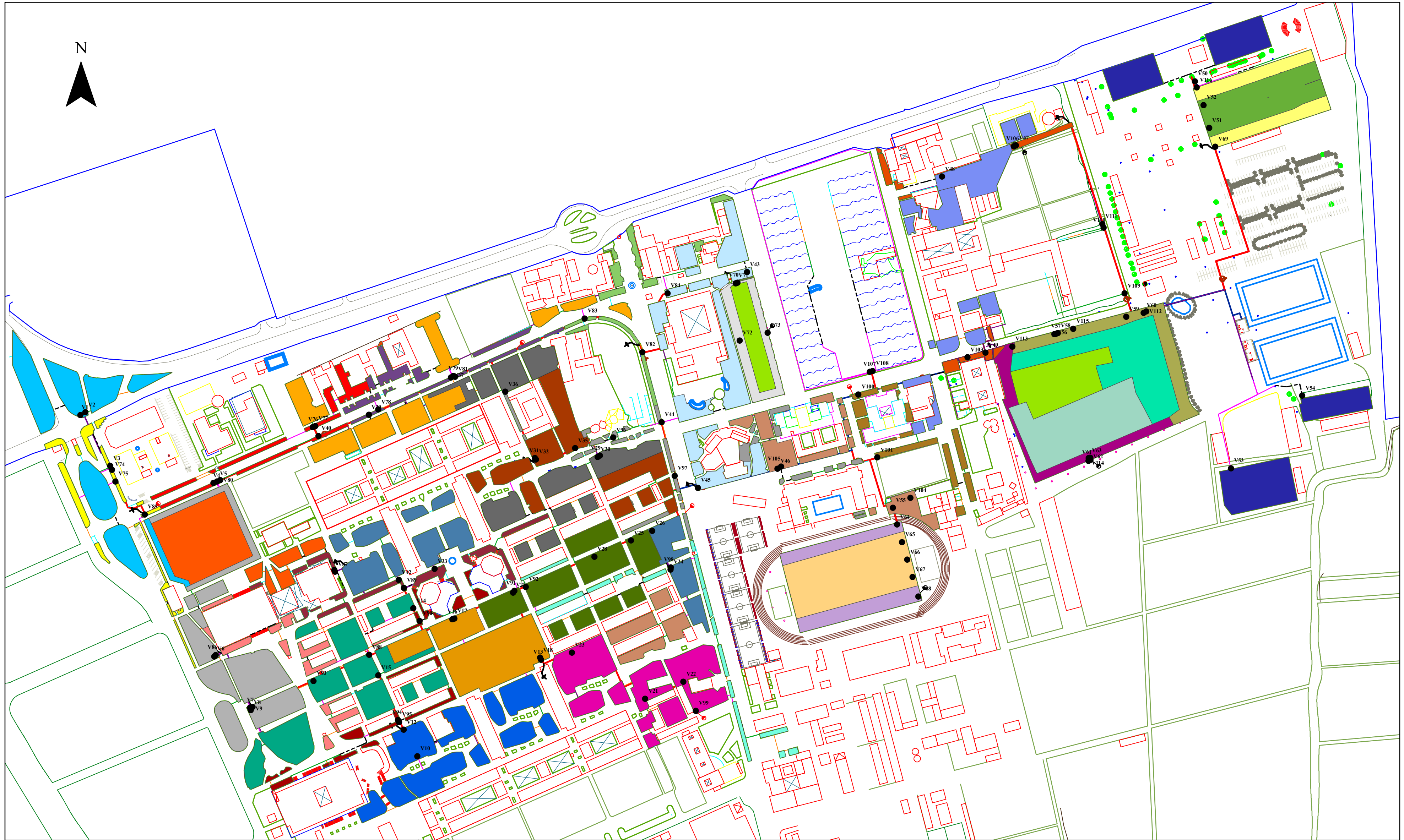
Rotator de 1/2" trabajando con rotores de 1/2" y 3/4"

Anexo 31: Acumulación de arcilla en tuberías de la red del sistema de riego



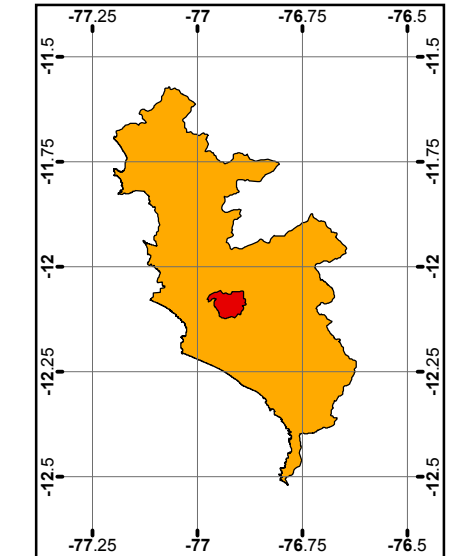
Tubería matriz Ø 140mm. Referencia Puerta N°1

DISTRIBUCIÓN DE TURNOS «ESCENARIO 1»



TURNO	Nº VALVULA EN CAMPO
I	V1
	V2
	V3
II	V4
	V5
	V41
III	V6
	V7
	V9
IV	V8
	V14
	V15
V	V10
	V12
	V13
VI	V16
	V17
	V18
VII	V21
	V22
	V23
VIII	V24
	V46
	V55
IX	V25
	V27
	V28
X	V26
	V35
	V42
XI	V39
	V31
	V35
XII	V30
	V32
	V36
XIII	V37
	V39
	V40
XIV	V43
	V44
	V45
XV	V47
	V48
	V49
XVI	V56
	V70
XVII	V64
	V68
XVIII	V65
	V66
	V67
XIX	V71
	V72
	V73
XX	V74
	V75
	V85
XXI	V76
	V77
	V80
XXII	V78
	V79
	V81
XXIII	V82
	V83
	V84
XXIV	V86
	V88
	V93
XXV	V87
	V89
	V91
XXVI	V92
	V98
	V99
XXVII	V94
	V95
	V90
XXVIII	V96
	V97
	V105
XXIX	V100
	V101
	V104
XXX	V103
	V106
XXXI	V51
	V52
XXXII	V50
	V53
	V54
XXXIII	V58
	V59
	V60
XXXIV	V61
	V62
	V63
XXXV	V112
	V115
XXXVI	V113
	V114
XXXVII	V116
	V69

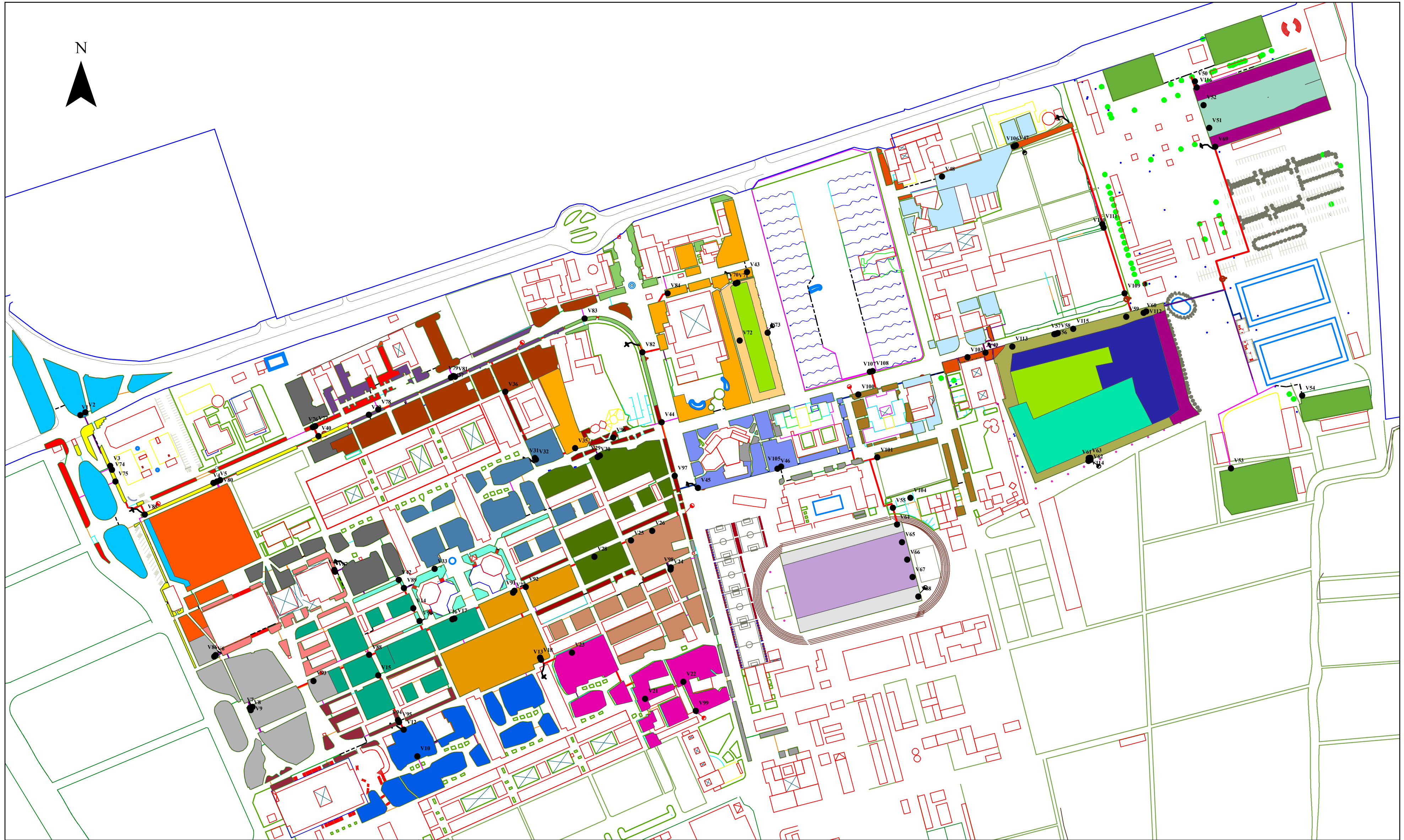
PLANO DE UBICACIÓN S/E



Turno de riego		LEYENDA	
Turno 1	Turno 13	Turno 25	Área construida
Turno 2	Turno 14	Turno 26	Área verde
Turno 3	Turno 15	Turno 27	Reservorio
Turno 4	Turno 16	Turno 28	Pistas y veredas
Turno 5	Turno 17	Turno 29	Tuberías
Turno 6	Turno 18	Turno 30	160 mm
Turno 7	Turno 19	Turno 31	140 mm
Turno 8	Turno 20	Turno 32	110 mm
Turno 9	Turno 21	Turno 33	90 mm
Turno 10	Turno 22	Turno 34	75 mm
Turno 11	Turno 23	Turno 35	● Electroválvula
Turno 12	Turno 24	Turno 36	● Acople rápido
		Turno 37	

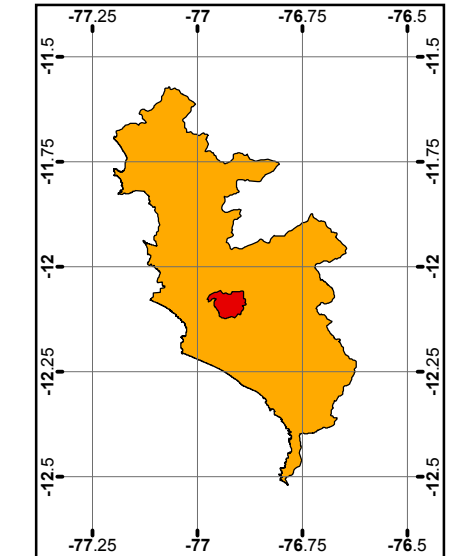
TESISTA: Bach. Rosa Liseth Llique Gallardo	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	Nº DE LÁMINA: E-1
TEMA DE TESIS: Calibración hidráulica y Programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM		LÁMINA: Distribución de turnos para «Escenario 1»
UBICACIÓN: Distrito: La Molina Provincia: Lima Departamento: Lima	FECHA: Noviembre de 2017	ESCALA: 1:2,500

DISTRIBUCIÓN DE TURNOS «ESCENARIO 2»



TURNO	Nº VALVULA EN CAMPO
I	V1
	V2
	V3
II	V4
	V5
	V6
III	V7
	V8
	V9
IV	V14
	V15
	V16
V	V10
	V12
	V13
VI	V17
	V18
	V27
VII	V21
	V22
	V23
VIII	V24
	V25
	V26
IX	V28
	V29
	V30
X	V31
	V32
	V33
XI	V36
	V37
	V39
XII	V40
	V41
	V42
XIII	V43
	V44
XIV	V47
	V48
	V49
XV	V45
	V46
XVI	V56
	V57
	V70
XVII	V65
	V66
	V67
XVIII	V71
	V72
	V73
XIX	V64
	V68
XX	V74
	V80
	V85
XXI	V75
	V76
	V78
XXII	V77
	V79
	V81
XXIII	V83
	V85
	V84
XXIV	V86
	V87
	V88
XXV	V93
	V94
	V95
XXVI	V89
	V90
	V91
XXVII	V96
	V97
	V98
XXVIII	V98
	V99
	V102
XXIX	V100
	V101
	V104
XXX	V103
	V106
XXXI	V50
	V53
	V54
XXXII	V58
	V59
	V60
XXXIII	V61
	V62
	V63
XXXIV	V51
	V52
XXXV	V113
	V114
	V116
XXXVI	V112
	V69
	V116

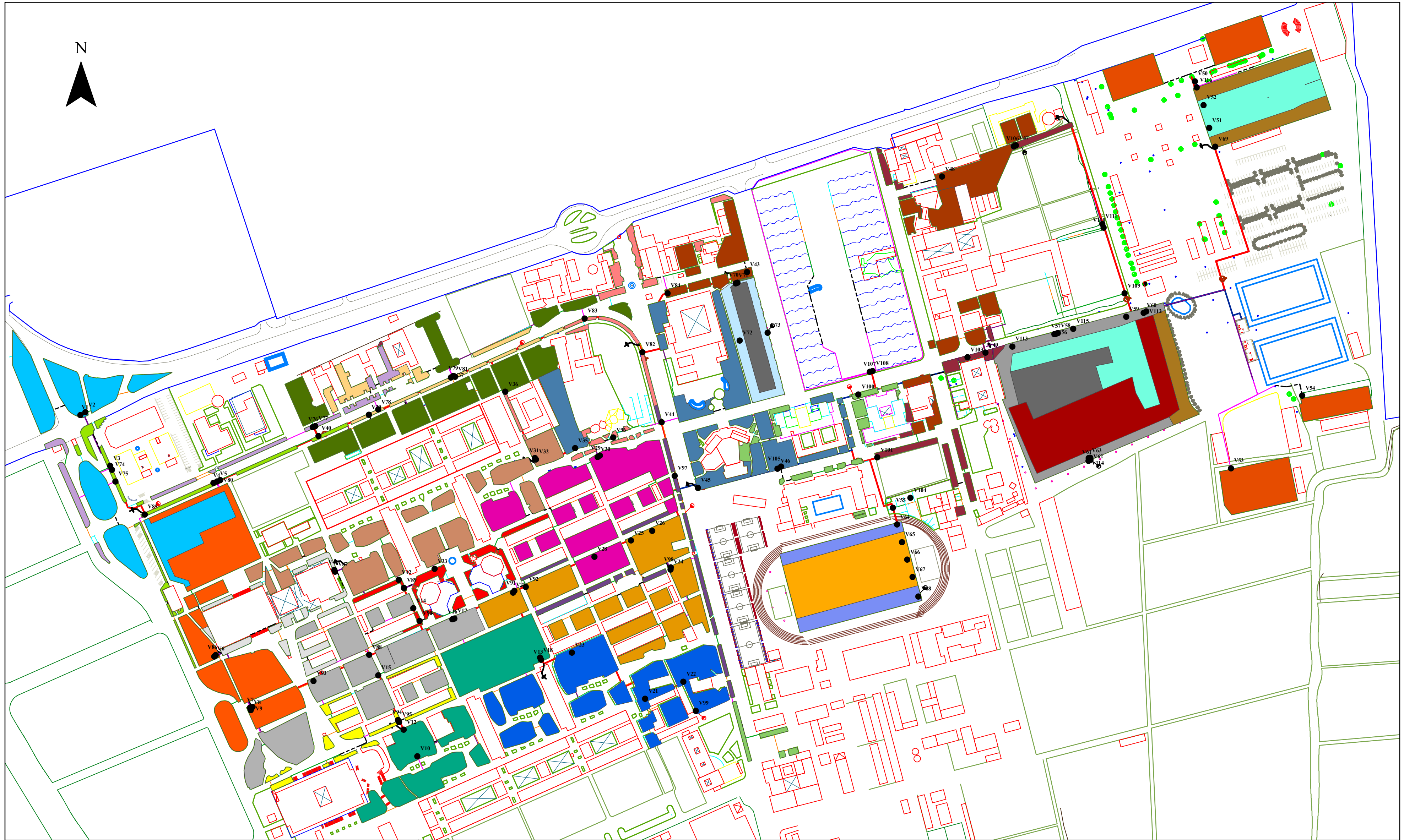
PLANO DE UBICACIÓN S/E



Turno de riego		LEYENDA	
Turno 1	Turno 13	Turno 25	Área construida
Turno 2	Turno 14	Turno 26	Área verde
Turno 3	Turno 15	Turno 27	Reservorio
Turno 4	Turno 16	Turno 28	Pistas y veredas
Turno 5	Turno 17	Turno 29	Tuberías
Turno 6	Turno 18	Turno 30	160 mm
Turno 7	Turno 19	Turno 31	140 mm
Turno 8	Turno 20	Turno 32	110 mm
Turno 9	Turno 21	Turno 33	90 mm
Turno 10	Turno 22	Turno 34	75 mm
Turno 11	Turno 23	Turno 35	Electroválvula
Turno 12	Turno 24	Turno 36	Acople rápido

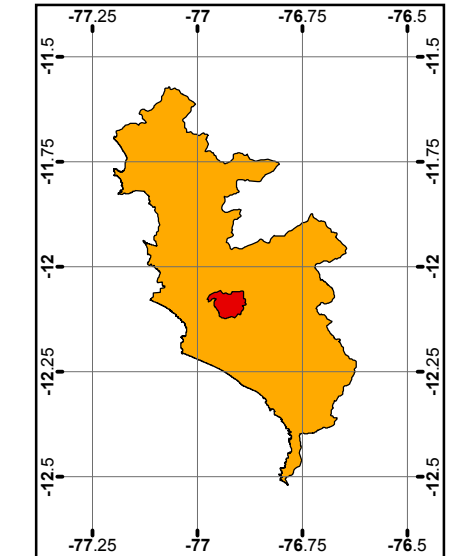
TESISTA: Bach. Rosa Liseth Llique Gallardo	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	Nº DE LÁMINA: E-2
TEMA DE TESIS: Calibración hidráulica y Programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM		LÁMINA: Distribución de turnos para «Escenario 2»
UBICACIÓN: Distrito: La Molina Provincia: Lima Departamento: Lima	FECHA: Noviembre de 2017	ESCALA: 1:2,500

DISTRIBUCIÓN DE TURNOS «ESCENARIO 3»



TURNO	Nº VALVULA EN CAMPO
I	V1
I	V2
I	V3
I	V4
II	V5
II	V6
II	V7
II	V9
III	V8
III	V14
III	V15
III	V16
IV	V10
IV	V12
IV	V17
IV	V18
V	V13
V	V21
V	V22
V	V23
VI	V24
VI	V25
VI	V26
VI	V27
VII	V28
VII	V29
VII	V30
VII	V32
VIII	V31
VIII	V33
VIII	V41
VIII	V42
IX	V36
IX	V37
IX	V39
IX	V40
X	V35
X	V44
X	V45
X	V46
XI	V43
XI	V47
XI	V48
XI	V49
XII	V56
XII	V57
XII	V70
XIII	V65
XIII	V66
XIII	V67
XIV	V71
XIV	V72
XIV	V73
XV	V64
XV	V68
XVI	V74
XVI	V80
XVI	V85
XVII	V75
XVII	V76
XVII	V78
XVIII	V77
XVIII	V79
XVIII	V81
XIX	V86
XIX	V87
XIX	V88
XX	V93
XX	V94
XX	V95
XXI	V89
XXI	V90
XXI	V91
XXII	V92
XXII	V97
XXII	V98
XXIII	V99
XXIII	V100
XXIII	V105
XXIV	V83
XXIV	V82
XXIV	V84
XXIV	V96
XXV	V101
XXV	V103
XXV	V104
XXV	V106
XXVI	V51
XXVI	V52
XXVI	V58
XXVI	V59
XXVII	V60
XXVII	V61
XXVII	V62
XXVII	V63
XXVIII	V113
XXVIII	V114
XXVIII	V115
XXIX	V112
XXIX	V69
XXIX	V116
XXX	V50
XXX	V53
XXX	V54
XXXI	107
XXXI	108
XXXII	109
XXXII	110
XXXII	111

PLANO DE UBICACIÓN S/E



LEYENDA			
Turno de riego	Turno 11	Turno 21	Área construida
Turno 1	Turno 12	Turno 22	Área verde
Turno 2	Turno 13	Turno 23	Reservorio
Turno 3	Turno 14	Turno 24	Pistas y veredas
Turno 4	Turno 15	Turno 25	Tuberías
Turno 5	Turno 16	Turno 26	160 mm
Turno 6	Turno 17	Turno 27	140 mm
Turno 7	Turno 18	Turno 28	110 mm
Turno 8	Turno 19	Turno 29	90 mm
Turno 9	Turno 20	Turno 30	75 mm
Turno 10			● Electroválvula
			● Acople rápido

TESISTA: Bach. Rosa Liseth Llique Gallardo	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	Nº DE LÁMINA: E-3
TEMA DE TESIS: Calibración hidráulica y Programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM		LÁMINA: Distribución de turnos para «Escenario 3»
UBICACIÓN: Distrito: La Molina Provincia: Lima Departamento: Lima	FECHA: Noviembre de 2017	ESCALA: 1:2,500