

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



**“ANALISIS HIDRAULICO – ENERGETICO MEDIANTE
SIMULACION Y OPTIMIZACION DE DIVERSOS ESCENARIOS DE
OPERACION DEL SISTEMA DE RIEGO EN LOS JARDINES DE LA
UNALM”**

Presentado por:

JEISSON DOMINGO LLUEN MONTANO

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

Lima - Perú

2015

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo consistió en realizar el análisis hidráulico y energético mediante simulaciones de diversos escenarios de operación de la red principal del sistema de riego en las áreas verdes del campus de la UNALM.

El proyecto en estudio se encuentra ubicado en la provincia de Lima, Distrito de la Molina, 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 la altitud que varía de 245 msnm.

La extensión del terreno en estudio es de 19.66 has, donde 18.32 has corresponden a áreas verdes urbanas a cargo de la Oficina de Servicios Generales y Proyección Social, y 1.34 ha de áreas Agrícola compuesta por los Programas de Cereales y Maíz.

Para dar inicio al estudio se determinó los distintos escenarios, los cuales están sujetos a determinados criterios de operación (diferentes agrupaciones de válvulas), además de escenarios con redes de tubería con distintos tipos de dimensionados óptimos, con el software Gestar 2014 Premium.

Los cálculos hidráulicos se realizaron para cada uno de los escenarios a estudiar, este análisis consistió en determinar los requerimientos de presión y caudal para cada una de las válvulas además de la Carga Dinámica Total (CDT) para cada turno, para la determinación de los mencionados datos se hizo uso del Excel y posterior comparación con las simulaciones hidráulicas realizadas en EPANET.

Posterior al cálculo hidráulico se determinó las distintas RPM (Revoluciones por minuto) de giro de la bomba que satisfaga cada uno de los distintos requerimientos de presión respectivos, para lo cual se hizo uso de las fórmulas de Leyes de Afinidad y así se determinó las RPM respectivas.

Luego se realizó el análisis hidráulico de los turnos de cada uno de los escenarios planteados, del análisis hallamos y cuantificamos las sobrepresiones en cada válvula y se determinó en qué porcentaje de éstas se presenta, además de verificó si cumplen con los criterios de velocidad impuestos para su optimización.

En análisis energético se obtuvieron comparaciones entre los costos energéticos simulando redes con variador de velocidad y redes sin variador de velocidad, ambas simulaciones

fueron realizadas en EPANET, la cual dio como resultado los valores de Potencia Media y Potencia Máxima.

Se determinó el escenario que resultó económicamente óptimo y que se ajustó a los requerimientos establecidos para su correcto funcionamiento.

FO6.
L48
T

INDICE

I. INTRODUCCION:	14
1.1. Justificación	15
1.2. Alcances y Limitaciones	15
II. OBJETIVO	16
2.1. Objetivo general	16
2.2. Objetivos específicos	16
III. REVISION DE LITERATURA	17
3.1. Componentes de un sistema de riego	17
3.1.1. La Fuente de Abastecimiento de Agua	17
3.1.2. Cabezal de Riego o Centro de Control	18
3.1.3. Tuberías de Conducción Principales y Distribución	19
3.1.4. Cabezales de Campo (Arco de Riego)	20
3.1.5. Porta emisores (terciarias)	20
3.1.6. Emisores	21
3.1.7. Automatización de Sistemas de Riego	21
3.2. Sistema Informático de EPANET	22
3.2.1. Características del Modelo Hidráulico	23
3.2.2. Hipótesis Simplificativas	23
3.2.3. Ecuaciones Fundamentales	24
3.2.4. Conceptos de Presión Estática y Dinámica	27
3.2.5. Ecuaciones de Comportamiento de los elementos de la Red	30
3.3. Selección Técnica Económica de Tuberías	35
3.4. Sistema de Bombeo	36
3.4.1. Ecuaciones:	37
3.4.2. Curva Característica de la Bomba	37
3.4.4. Construcción de la Curva del Sistema	40
3.4.5. Puntos de Operación de la Bomba	43
3.5. Diseño de redes optimizadas energéticamente	45
3.5.1. La Eficiencia Energética	45
3.5.2. Bombas a Velocidad Constante	46
3.5.3. Bombas a Velocidad Variable	48
3.5.4. Leyes de afinidad	50

43/64

3.5.5.	¿Por qué usar Variador de Velocidad?	51
3.5.6.	Ahorro de Energía con Variadores de Velocidad	53
3.5.7.	Regulación del Flujo en Bombas.....	53
3.6.	Herramientas de Optimización y Simulación.....	54
3.7.	Sistema Informatico en GESTAR para el Dimensionado y Simulación Hidráulica Energética de redes.....	54
3.7.1.	Dimensionado Optimo Redes Ramificadas.....	55
3.7.2.	Simulación Hidráulica y Energética.....	55
IV.	MATERIALES Y METODOS.....	57
4.1.	Descripción del Área de Estudio	57
4.1.1.	Ubicación y extensión	57
4.2.	Materiales.....	60
4.3.	Metodología de Estudio	61
4.3.1.	Datos Básicos	61
4.3.2.	Diseño agronómico.....	61
4.3.3.	Criterios para la Determinación de Escenarios.....	62
4.3.4.	Cálculos Hidráulicos en EPANET	65
4.3.5.	Comparación de los cálculos hidráulicos de Excel con EPANET	72
4.3.6.	Metodología para simular con Variadores de Velocidad en Epanet	79
4.3.7.	Selección Técnico-económico de Tuberías	82
4.3.8.	Metodología del dimensionado de redes con funcionamiento a turno	85
4.3.9.	Análisis Hidráulico – Energético.....	97
V.	RESULTADOS	107
5.1.	Análisis de datos básicos	107
5.1.1.	Fuente de agua.....	107
5.1.2.	Análisis de agua.....	108
5.1.3.	Datos climáticos	109
5.1.4.	Oferta de Agua.....	110
5.1.5.	Demanda de Agua	111
5.1.6.	Balance Hídrico Global	113
5.1.7.	Balance hídrico mensual para volumen ofertado para Áreas Verdes - Huerto	114
5.1.8.	Balance hídrico semanal para volumen ofertado para Áreas Verdes - Huerto	115

5.2.	Diseño Agronómico.....	116
5.3.	Parámetros de Operación.....	118
5.4.	Parámetros de Operación “Escenario 2” y “Escenario 2 Optimizado”	121
5.5.	Descripción de Componentes del Sistema de Riego Seleccionado	124
5.5.1.	Sectores de Riego	124
5.6.	Diseño y Cálculos Hidráulicos	133
5.6.1.	Diseño de la red del Escenario 1 y Escenario 2.....	133
5.6.2.	Dimensionamiento técnico económico y cálculos hidráulicos del “Escenario 1 optimizado”	150
5.6.3.	Dimensionamiento del Escenario 2 Optimizado	161
5.7.	Análisis hidráulico – energético	169
5.7.1.	Análisis hidráulico.....	169
5.7.2.	Análisis Energético.....	179
5.8.	Costo Global Anual del Sistema de Riego.....	190
5.8.1.	Costo de la Anualidad de la red de tuberías	190
5.8.2.	Costo Anual de la Red y Costo Total en 20 años	190
5.8.5.	Costo Global Anual	192
VI.	CONCLUSIONES.....	195
VII.	RECOMENDACIONES	198
VIII.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	200
IX.	ANEXOS.....	202
9.1.	Cálculos Hidráulicos del Escenario 1 Optimizado	203
9.2.	Cálculos Hidráulicos del Escenario 2	206
9.3.	Cálculos Hidráulicos del Escenario 2 Optimizado	209
9.4.	Comparación entre Presión de Consigna y Presión de Llegada del Escenario 1 Optimizado	212
9.5.	Comparación entre Presión de Consigna y Presión de Llegada del Escenario 2	215
9.6.	Comparación entre Presión de Consigna y Presión de Llegada del Escenario 2 Optimizado	217
9.7.	Base de Datos de Materiales introducidos en GESTAR 2014.....	219
9.8.	Curva Característica de Bomba para un diámetro de impulsor de 210 mm.	220
9.9.	Recibo de Consumo Eléctrico de la UNALM	221

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de Filtros Según Contaminante	19
Cuadro 3. Coeficiente de Rugosidad para Tuberías Nuevas	31
Cuadro 2. Fórmulas de Perdidas de Carga para tubería en presión	31
Cuadro 4. Valores de “K” para los accesorios más comunes	33
Cuadro 5. Componentes Físicos y No Físicos de EPANET	34
Cuadro 6. Áreas a tecnificar	60
Cuadro 7. Presión de Consigna según emisores	73
Cuadro 8. Operación de llenado de reservorios	107
Cuadro 9. Análisis Microbiológico	109
Cuadro 10. Calculo de ETo por Penman-Monteith con uso del Software cropwat	109
Cuadro 11. Oferta global mensual de agua.....	110
Cuadro 12. Oferta mensual para Áreas Verdes y Huerto.....	110
Cuadro 13. Oferta semanal para Áreas Verdes y Huerto.....	110
Cuadro 14. Demanda Hídrica de Áreas Verdes Urbanas (Jardines)	111
Cuadro 15. Demanda Hídrica del Huerto	112
Cuadro 16. Balance hídrico mensual global	113
Cuadro 17. Balance hídrico mensual Áreas Verdes - Huerto	114
Cuadro 18. Balance hídrico semanal Áreas Verdes - Huerto	115
Cuadro 19. Diseño Agronómico – Áreas Verdes Urbanas.....	116
Cuadro 20. Diseño Agronómico – Área Agrícola (Cereales y Maíz)	117
Cuadro 21. Parámetros de operación del “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado”.	118
Cuadro 22. Parámetros de operación del “Escenario 2” y “Escenario 2 Optimizado”.	121
Cuadro 23. Cálculos Hidráulicos del “Escenario 1”	136
Cuadro 24. Cuadro de requerimiento de presión y caudal para cada turno del “Escenario 1”	140
Cuadro 25. Porcentaje de RPM requerido respecto al RPM nominal. “Escenario 1”	142
Cuadro 26. Comparación de los resultados de presión obtenidos con Excel y Epanet. “Escenario 1”	143
Cuadro 27. Cuadro de requerimiento de presión y caudal para cada turno del “Escenario 2”	145
Cuadro 28. Porcentaje de RPM requerido respecto al RPM nominal. “Escenario 2”	147
Cuadro 29. Comparación de los resultados de presión obtenidos con Excel y Epanet “Escenario 2”	148
Cuadro 30. Requerimiento de presión y caudal para cada turno del “Escenario 1 Optimizado” .	156
Cuadro 31. Porcentaje de RPM requerido respecto al RPM nominal. “Escenario 1 Optimizado”	158
Cuadro 32. Comparación de los resultados de presión obtenidos con Excel y Epanet. “Escenario 1 Optimizado”	159
Cuadro 33. Requerimiento de presión y caudal para cada turno del “Escenario 2 Optimizado” .	164
Cuadro 34. Porcentaje de RPM requerido respecto al RPM nominal. “Escenario 2 Optimizado”	166
Cuadro 35. Comparación de los resultados de presión obtenidos con Excel y Epanet. “Escenario 2 Optimizado”	167
Cuadro 36. Comparación entre Presión de Consigna y Presión de Llegada.	169

Cuadro 37. Tiempo de riego por turno para “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado”	179
Cuadro 38. Tiempo de riego mensual para “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado”	180
Cuadro 39. Tiempo de riego por turno para “Escenario 2” y “Escenario 2 Optimizado”	184
Cuadro 40. Tiempo de riego mensual para “Escenario 2” y “Escenario 2 Optimizado”	185
Cuadro 41. Comparación de Costos entre el Análisis Energético con V. Velocidad y sin V. Velocidad	188
Cuadro 42. Ahorro Económico entre el Análisis Energético con V. Velocidad y sin V. Velocidad .	188
Cuadro 43. Costo de Inversión Inicial de la Red de Tuberías para cada Escenario	190
Cuadro 44. Costo Anual de la Red y Costo Total en 20 años	191
Cuadro 45. Costo energético anual por escenarios	191
Cuadro 46. Costo anual en OyM de rutina.....	192
Cuadro 47. Costo Global Total para cada uno de los escenarios	193

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sumatorio de Caudales en un Nodo.....	24
Figura 2. Representación gráfica de la Energía entre dos puntos.....	25
Figura 3. Representación gráfica de la Presión Estática.....	27
Figura 4. Representación gráfica de la Presión Dinámica	27
Figura 5. Presiones Dinámicas en Sistemas con Bombeo	29
Figura 6. Selección Técnica Económica de Tuberías	35
Figura 7. Curvas Características de una Bomba Centrífuga	38
Figura 8. Carga estática con nivel de succión debajo de la línea de centros de la bomba.	39
Figura 9. Carga estática con nivel de succión encima de la línea de centros de la bomba.....	39
Figura 10. Curva de Pérdidas de Fricción del Sistema.....	41
Figura 11. Curva de Operación del Sistema de Bombeo.....	43
Figura 12. Punto de Operación para caudal Constante.	44
Figura 13. Punto de Operación para Caudal Variable.	45
Figura 14. Curva Característica de Bomba a Velocidad Constante	47
Figura 15. Curva Característica de Bomba a Velocidad Variable	48
Figura 16. Curvas de Isorendimiento de Bomba	49
Figura 17. Ensayo completo de una bomba a diferente número de rpm. Curvas H-Q, P-Q, n-Q. ...	51
Figura 18. Ahorro Energético con Variador de Velocidad.....	52
Figura 19. Ubicación de la UNALM.....	58
Figura 20. Ubicación del Área de estudio, campus de la UNALM y Proyección Social	59
Figura 21. Distribución de Turnos del “Escenario 1”	62
Figura 22. Distribución de Turnos del “Escenario 2”	63
Figura 23. Parámetros que intervienen en los Requerimientos de Presión	73
Figura 24. CDT impuesta a las válvulas que conforman el Turno	74
Figura 25. Parámetros Simulados en EPANET	75
Figura 26. Presión de Llegada a cada válvula en EPANET	75
Figura 27. Serie de líneas con altura piezométrica conocida en cabecera	83
Figura 28. Curva de coste anual total del sistema	84
Figura 29. Selección y Dimensionamiento de la senda crítica	95
Figura 30. Algoritmo usado por GESTAR para el dimensionado	96
Figura 31. Parámetros no simulados en EPANET	98
Figura 33. Representación gráfica de las sobrepresiones.....	99
Figura 32. Presión de Llegada a las válvulas	99
Figura 34. Balance hídrico mensual global.....	113
Figura 35. Balance hídrico mensual Áreas Verdes - Huerto.....	114
Figura 36. Balance hídrico semanal Áreas Verdes - Huerto	115
Figura 37. Difusor emergente con tobera ajustable	124
Figura 38. Características y Rendimientos de los difusores con toberas ajustables.....	125
Figura 39. Difusor emergente MP Rotator.....	127
Figura 40. Características y rendimientos del Difusor MP Rotator	127
Figura 41. Radios de alcance según modelo de difusor MP Rotator	128

Figura 42. Aspersor rotor emergente de ½" y ¾"	130
Figura 43. Aspersor rotor emergente de 1"	131
Figura 44. Aspersor de impacto de ¾"	132
Figura 45. Distribución de los Diámetros de la Red. "Escenario 1" y "Esc. 2"	134
Figura 46. Resultado del costo de la red del "Escenario 1" y "Escenario 2" en Gestar	134
Figura 47. ESQUEMA HIDRAULICO DEL "ESCENARIO 1" y "ESCENARIO 2"	135
Figura 48. Requerimiento de Presión y Caudal para el "Escenario 1"	141
Figura 49. Requerimientos de Presión y Caudal del "Escenario 2"	146
Figura 50. Distribución de Diámetro en la Red. "Escenario 1 Optimizado"	153
Figura 51. ESQUEMA HIDRAULICO DEL ESCENARIO 1 OPTIMIZADO	154
Figura 52. Resultado del costo de la red del "Escenario 1 Optimizado" en Gestar	155
Figura 53. Requerimientos de Presión y Caudal del "Escenario 1 Optimizado"	157
Figura 54. Distribución de Diámetro en la Red. "Escenario 2 Optimizado"	161
Figura 55. ESQUEMA HIDRAULICO DEL ESCENARIO 2 OPTIMIZADO	162
Figura 56. Resultado del costo de la red del "Escenario 2 Optimizado" en Gestar	163
Figura 57. Requerimientos de Presión y Caudal del "Escenario 2 Optimizado"	165
Figura 58. Barras de comparación por turnos entre Presión de Consigna y la Presión que llega a cada uno de las válvulas del "Escenario 1".	171
Figura 59. Porcentaje de Sobrepresiones. "Escenario 1"	175
Figura 60. Porcentaje de Sobrepresiones. "Escenario 1 Optimizado"	176
Figura 61. Porcentaje de Sobrepresiones. "Escenario 2"	177
Figura 62. Porcentaje de Sobrepresiones. "Escenario 2 Optimizado"	178
Figura 63. Comparación Gráfica del Costo Global Total para cada uno de los escenarios.	194

I. INTRODUCCION:

El agua es fuente de vida en y menos del 1% ésta disponible para cerca de siete mil millones de personas. Con esa cantidad de agua se cubren las necesidades básicas, riego, industria, agua potable, etc.

En el Perú el 86% del agua consumida la utilizamos para la agricultura.

En el ámbito urbano, el creciente interés por la creación de áreas verdes en medio de las ciudades provocaron el crecimiento de parques y jardines tanto en entidades públicas como privadas, las cuales requieren cubrir su demanda de agua y que en condiciones áridas y semiáridas como lo es la Región Lima deben ser aplicadas de la forma más eficiente posible.

Además del incremento en superficie, en consecuencia, de la demanda de agua, existe una gran desconocimiento en los criterios de diseño de las instalaciones y el manejo propio de los riego, lo que contribuye a realizar riego con eficiencias bajas y con un excesivo consumo de agua y energía.

Hace varios años se vienen desarrollando distintas herramientas de diseño y simulación de redes riego las cuales permiten realizar análisis del comportamiento hidráulico de la red. Siendo la incorporación de la herramienta de optimización una de las más importantes para realizar el diseño técnico-económico más adecuado, teniendo en cuenta precio de la energía y costo de materiales.

1.1. Justificación

El problema de escasez de agua y la necesidad de utilizarla de manera eficiente es la principal razón por la cual se plantea el diseño del sistema de riego a presión por aspersión para las áreas verdes de la UNALM.

Los sistemas de riego a presión tienen un elevado costo de inversión inicial por el cual es importante realizar el diseño teniendo en cuenta factores técnicos-económicos para obtener un sistema de riego óptimo económicamente y que cumpla con los requerimientos de presión en todos los puntos de la red.

Por otro lado no solo basta con conocer y optimizar el costo de inversión inicial de un sistema de riego, también se debe tener en cuenta los costos energéticos que demanda el funcionamiento de sistema y poder tener un mejor panorama del costo que conlleva la operación del sistema de riego a largo plazo para tomar medidas ante la constante alza del costo de la energía eléctrica.

Además hoy en día se conocen los aportes positivos que tienen los jardines al bienestar personal, como una manera de renovar nuevas habilidades físicas y mentales.

1.2. Alcances y Limitaciones

El presente proyecto permite determinar el escenario de operación óptimo para el sistema de riego tecnificado en las áreas verdes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, tomando en cuenta parámetros en de costo e materiales y consumo energético.

Permite saber el potencial y ventaja de los Sistemas Informativos de Optimización como el GESTAR 2014 para el modelamiento y simulación de distintos parámetros como los hidráulicos y energéticos bajo distintas condiciones de operación.

Para realizar la modelación con el software GESTAR 2014 sin ningún tipo de limitaciones es necesario contar con la versión Premium.

II. OBJETIVO

2.1. Objetivo general

- Realizar la simulación hidráulica y energética de escenarios de operación del sistema de riego de las áreas verdes del campus de la UNALM.

2.2. Objetivos específicos

- Crear el modelo de redes en los sistemas informáticos de EPANET y GESTAR
- Simular hidráulicamente diversos escenarios utilizando el software Epanet.
- Realizar el diseño óptimo y económico con el software GESTAR que garantice los requerimientos de presión y caudal en las válvulas.
- Realizar el análisis energético para determinar el costo de energía que tendrá el sistema de riego.

III. REVISION DE LITERATURA

Los procesos de implementación de nuevos sistemas de riego a presión requieren en numerosas ocasiones de sistemas de bombeo, involucrando consumos de energía. Estos aspectos están recobrando creciente atención debido al encarecimiento de los costes de generación eléctrica y a los continuos reajustes de las tarifas eléctricas. Por otro lado, en diversas redes en funcionamiento requieren mejorar la baja eficacia energética debida a divergencias entre la práctica respecto al proyectado, o a un diseño del sistema deficiente, por infra o sobredimensionado. Ello justifica la necesidad de utilizar herramientas de diseño y gestión avanzadas que permitan optimizar los procesos de diseño, gestión de las estaciones de bombeo y las redes que alimentan, facilitando la toma de decisiones, la correcta definición de todos los componentes, la optimización de su regulación y la obtención de evaluaciones fiables de los costes, posibles ahorros y máximas eficiencias energéticas.

3.1. Componentes de un sistema de riego

Un equipo de riego presurizado inconscientemente básicamente consiste de los siguientes componentes:

3.1.1. La Fuente de Abastecimiento de Agua.

Entre las principales fuentes de abastecimiento tenemos los pozos y los canales cuya dotación de agua se almacena en reservorios, cuyas dimensiones dependen de la superficie a regar. Su función es la de abastecer de agua en forma permanente al sistema.

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 resistente a la acción de los rayos ultravioleta, deben ser protegidos con un cierre (cerco) perimetral para evitar su deterioro, principalmente por el ingreso de animales.

3.1.2. Cabezal de Riego o Centro de Control

Se entiende por cabezal de riego o centro de control, al conjunto de equipos y elementos de riego utilizados para darle energía al sistema, filtrar el agua, fertilizar y controlar presiones y caudales. (ADRA PERU 2009).

Está compuesto por los siguientes puntos:

- Equipo de bombeo

Está constituido por uno o más bombas, cuya función es la de impulsar el agua hacia el sistema de riego a través de las tuberías, desde la fuente de agua (pozo o reservorio) por todo el sistema hasta los emisores, permitiéndole a éstos un correcto funcionamiento. El equipo de bombeo requerido más usado cuando la fuente de agua es de origen superficial son las de acción centrífuga, y para fuentes de agua de pozos se requiere unas bombas sumergibles o de turbina vertical. En este caso se planteará una bomba sumergible de turbina vertical con motor al aire, instalados en una cámara de succión la cual está conectada al reservorio a través de vasos comunicantes.

- Sistema de filtrado

El problema más grave y frecuente en las instalaciones de riego localizado, son las obturaciones en los emisores que pueden ser goteros o cintas de riego; presentando menor problema en aspersores, difusores y rotores ya que el diámetro de paso es mayor. Los filtros son elementos muy importantes ya que tienen la función de impedir el paso de una gran cantidad de impurezas en el agua de riego (algas, semillas, insectos, restos de hojas, pequeñas basuras, arena, etc.) 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).

Por ello es importante estar seguro de que el equipo tenga los filtros adecuados en cuanto al tipo y tamaño. El tipo o tipos de filtros necesarios en una instalación de riego localizado, dependerá de la naturaleza y tamaño de las partículas contaminantes, según lo que se presenta en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Tipos de Filtros Según Contaminante

Contaminante	Hidrociclón Separador	Filtro de Grava	Filtro de Malla y Anilla
Arena	X		X
Limo y Arcilla		X	X
Orgánico		X	X

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento. ADRA PERU(2009)

- Unidad de fertilización

Tanto los abonos principales como los microelementos que el cultivo necesita, cuando se utilizan estos sistemas, pueden ser incorporados en el agua de riego, siempre y cuando estos abonos sean solubles en agua. También pueden aplicarse ácidos (ácido sulfúrico, clorhídrico, fosfórico, nítrico), fungicidas, y desinfectantes, como hipoclorito de sodio.(ADRA PERU 2009).

- Aparatos de control y medición

Entre los elementos de regulación y control de flujo hay distintos tipos de válvulas: de paso, reguladoras de presión, retención (check), hidráulicas, eléctricas, volumétricas, etc. Su operación directa o indirecta (mediante programadores) regula el comportamiento del flujo y la presión en la red.(ADRA PERU 2009).

3.1.3. Tuberías de Conducción Principales y Distribución

Las tuberías son las responsables de distribuir el agua por todo el sistema de riego.Las tuberías pueden ser de PVC, polietileno o fierro. Si la tubería ha sido calculada e instalada correctamente no debería presentar fallas. Las tuberías más utilizadas en sistemas de riego presurizados son de PVC.

Cuando hay roturas o deficiencias en la instalación (tuberías mal pegadas, uniones tipo campana con la goma mordida), el agua sale humedeciendo toda el área afectada (falla pequeña) o en forma de chorro si la rotura es grande.

Las roturas y filtraciones, hay que repararlas inmediatamente. Como la tubería va enterrada, se debe descubrirla haciendo una excavación en forma muy cuidadosa para no romperla. Las fallas en las tuberías pueden ser pequeñas, en ese caso, se corta la sección dañada y se reemplaza por un trozo nuevo.(ADRA PERU 2009).

- **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.

3.1.4. Cabezales de Campo (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 una 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.

3.1.5. Portaemisores (terciarias)

Son las tuberías donde están colocados los emisores, siendo los emisores más usados para jardinería: difusores, rotores desde donde se emiten caudales durante un periodo de tiempo determinado dependiendo del tipo del emisor y la lámina que desea reponer. Este tipo emisores simulan el aporte de agua que realizan las lluvias, esto consiste en distribuir el agua por tuberías a presión y aplicarla a través de estos emisores en forma de lluvia, y que sea capaz de infiltrarse en el suelo sin producir escorrentía. (ADRA PERU 2009).

3.1.6. Emisores

Difusores: tienen un radio entre 1.2 y 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 2.1 y 2.8 bares. Permite un 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 (hasta 16-18 m de radio), cuenta con una velocidad de aplicación baja (10 mm/hr aprox.) y funcionan entre un rango de presión 3.0 y 3.5 bares. Permite un mayor control del área a regar ya que se puede regular el ángulo del chorro de agua.

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 un buen sistema de filtrado primario adecuado a las características del agua para prolongar su vida útil de los emisores.(ADRA PERU 2009).

3.1.7. Automatización de Sistemas de Riego

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.

Lo que buscamos con la automatización: La entrega de información en tiempo real de los datos necesarios para tomar decisiones de riego con precisión.

Los equipos de automatización nos permiten controlar, recoger, consolidar y transmitir dicha información. (Berrocal. 2013).

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)
 - ✓ Cable
 - ✓ Radio

c. Ventajas de la Automatización. Según Berrocal. 2013. Automatización de Sistemas de Riego.

- Incrementa la eficiencia de uso del agua en la zona
- Mejorar la productividad, incremento de la producción y calidad.
- Flexibiliza 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.

3.2. Sistema Informático de EPANET

EPANET es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. En general, una red consta de tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nudos. (García 2006).

3.2.1. Características del Modelo Hidráulico

- 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
- Incluye pérdidas menores en elementos tales como codos, acoplamientos, etc.
- Modela el funcionamiento de las bombas tanto a velocidad de giro constante como a velocidad de giro variables
- Calcula la energía consumida y el coste de bombeo de las estaciones
- Modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, válvulas de retención, válvulas de aislamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal, etc.
- Puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente con el nivel de agua en el tanque y controles de tiempo o utilizar un complejo sistemas de regulación temporal.

3.2.2. Hipótesis Simplificativas

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 simplificativas 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
- ✓ monofásico
- ✓ homogéneo
- ✓ newtoniano

c. Hipótesis referentes a las conducciones:

- homogeneidad y constancia en:

- ✓ material
- ✓ sección transversal
- ✓ espesor

3.2.3. Ecuaciones Fundamentales

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

a. La ecuación de continuidad en nudos: enunciada de la siguiente manera:

“la suma algebraica de los caudales másicos (o volumétricos, ya que el fluido es incompresible) que confluyen en el nudo debe ser 0”. (García 2006).

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 —

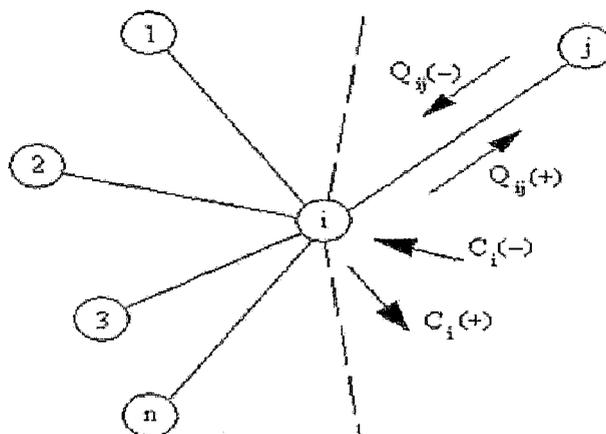


Figura 1. Sumatorio de Caudales en un Nudo

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

Ecuación de Continuidad para el nudo genérico “i”

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

Donde:

- Q_{ij} : caudal que circula en la línea que une el nudo i al j;
- nt_i : número total de líneas que convergen en el nudo i;
- C_i : caudal de alimentación o consumo en el nudo i.

b. La ecuación de Bernoulli: expresada como sigue:

“la energía por unidad de peso del fluido en la sección aguas arriba (E1), 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 (E2) más las pérdidas de energía por unidad de peso entre las secciones 1 y 2 (h_{1-2})”. (García 2006).

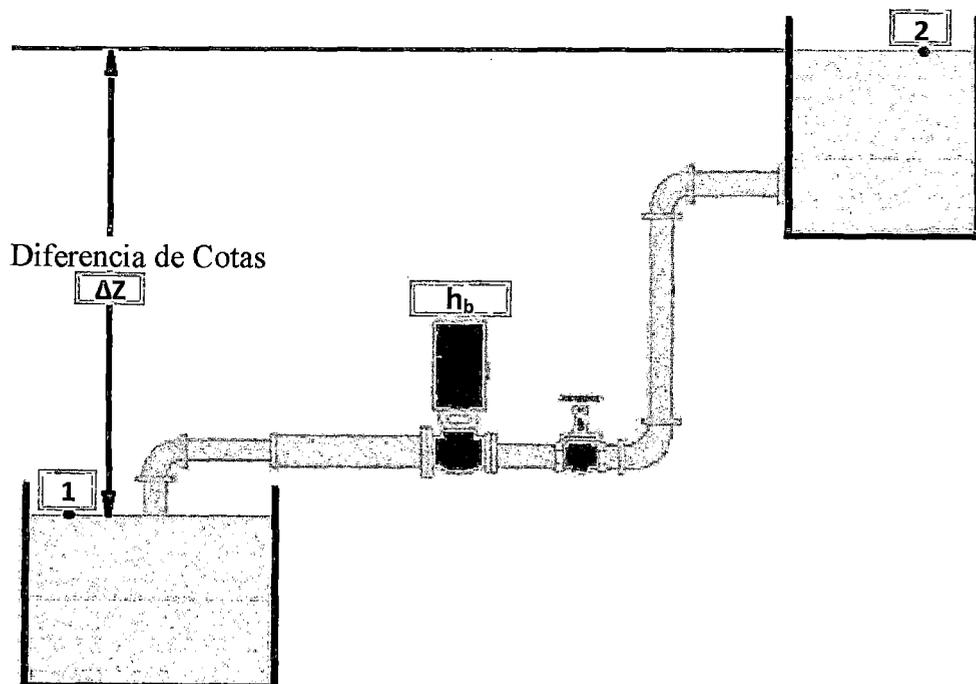


Figura 2. Representación gráfica de la Energía entre dos puntos

Fuente: Elaboración Propia (2014)

$$E_1 + h_b = E_2 + h_{1-2}$$

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

$$E = \frac{p}{\gamma} + z + \frac{V^2}{2g}$$

Donde: p/γ : altura de presión

Z : cota geométrica

$V^2/2g$: altura cinética

h_{1-2} : pérdida por fricción entre el punto 1 y 2

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_b = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_{1-2}$$

3.2.4. Conceptos de Presión Estática y Dinámica

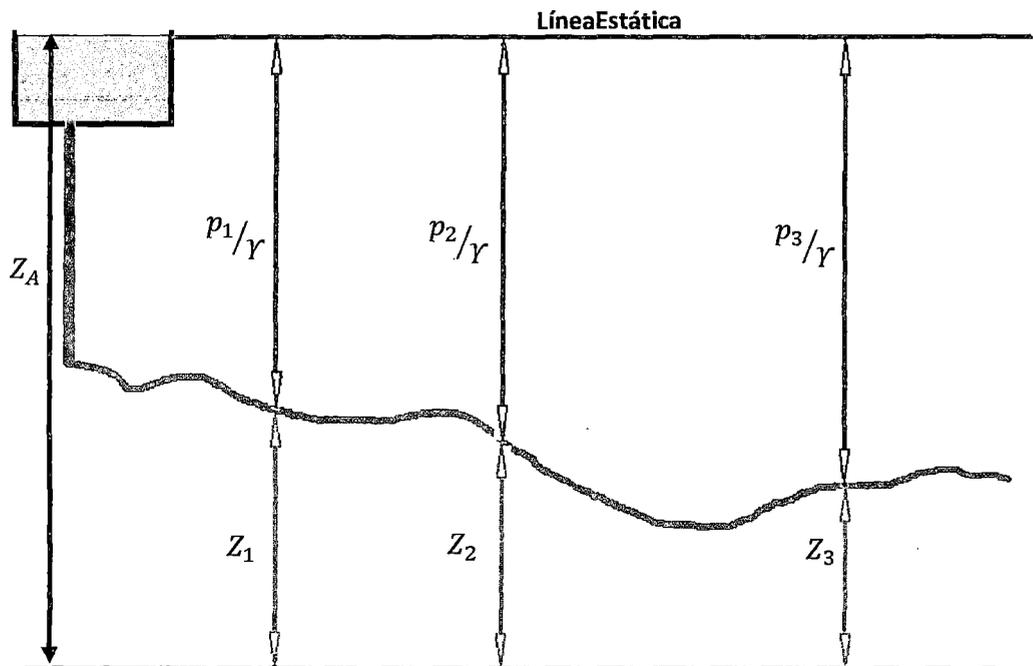


Figura 3. Representación gráfica de la Presión Estática

Fuente: Elaboración Propia (2014)

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

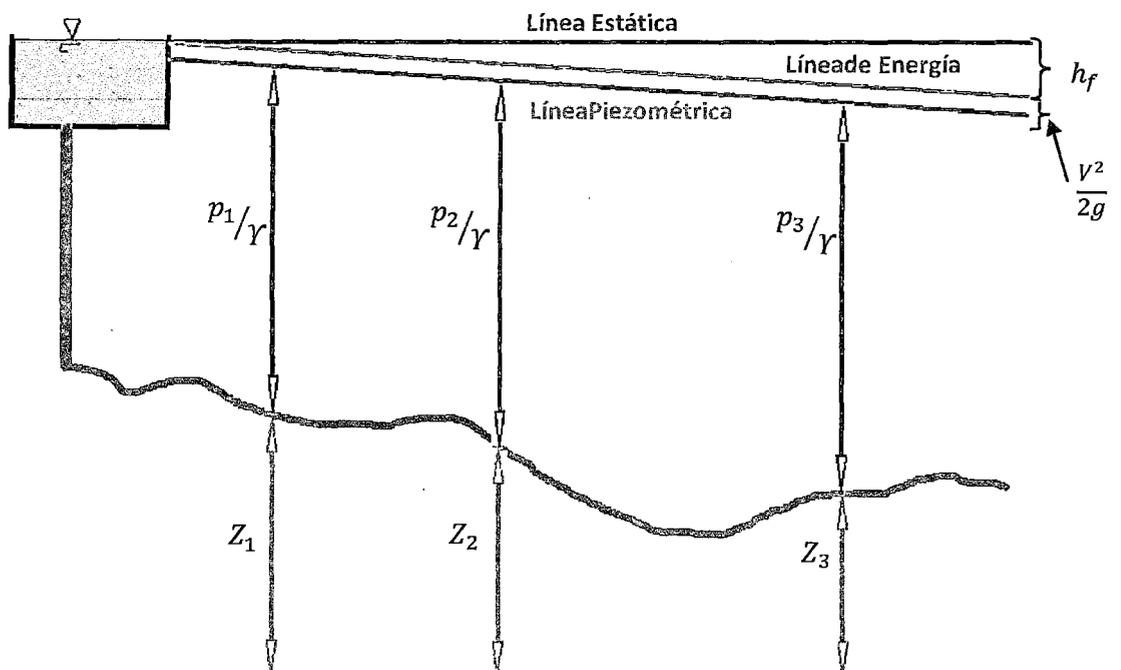


Figura 4. Representación gráfica de la Presión Dinámica

Fuente: Elaboración Propia (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 lo que el espesor de la misma resultará variable con el mismo al pretender un diseño económico de la instalación.

Por otro lado en condiciones dinámicas, como de observa en la **Figura 4**, las energías de velocidad o “cinética” y las pérdidas por frotamiento, surgirán e 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).

Es de destacar que cada vez que se obtura el caudal se alcanza el nivel estático, por lo que ésta es la condición de diseño para conducciones a gravedad, es decir **sin bombeo**.

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).

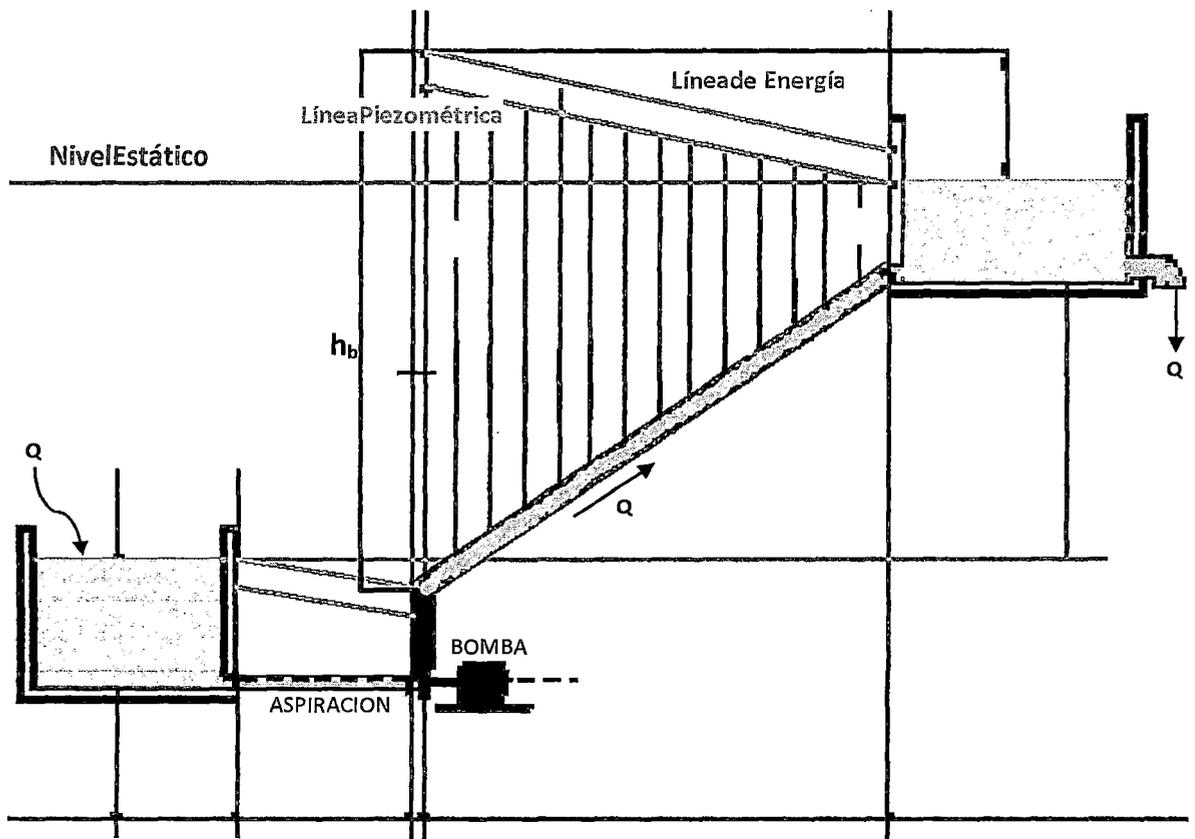


Figura 5. Presiones Dinámicas en Sistemas con Bombeo

FUENTE: Criterios de diseño, calculo y selección de tuberías en base al criterios 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 a todas luces evidente que en el caso de las impulsiones, la condición dinámica es la que impone el dimensionado de los espesores de las tuberías.

3.2.5. Ecuaciones de Comportamiento de los elementos de la Red

Son aquellas que establecen una relación entre la diferencia de alturas piezométricas 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 EPANET utilizando las siguientes formulaciones:

- Darcy-Weisbach (para todo tipo de líquidos y regímenes)
- Hazen-Williams (sólo para agua)
- Chezy-Manning (para canales y tuberías de gran diámetro)

La ecuación básica de estas tres fórmulas es:

$$h_f = A \times Q^B$$

donde:

- h_f : pérdida de carga
- Q: caudal
- A: coeficiente de resistencia
- B: exponente de caudal

Los valores de los parámetros A y B se encuentran representados en la Cuadro 2:

Cuadro 2. Fórmulas de Pérdidas de Carga para tubería en presión

Formulas	Coefficiente de Resistencia (A)	Exponente de Caudal (B)
Hazen - Williams	$10.674 \times C^{1.852} \times d^{-4.871} \times L$	1.852
Darcy - Weisbach	$0.0827 \times f(\epsilon, d, Q) \times d^{-5} \times L$	2
Chezy - Manning	$10.294 \times n^2 \times d^{-5.33} \times L$	2
<p>Donde:</p> <p>C: coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams ϵ : coeficiente de rugosidad de Darcy – Weibach (m) f : factor de fricción (depende de ϵ, d y Q) n : coeficiente de rugosidad de Manning d : diámetro de la tubería (m) L : longitud de la tubería (m) Q : caudal (m³/seg)</p>		

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

Los coeficientes de rugosidad que aparecen en las tres formulaciones se encuentran clasificados según el tipo de tuberías en la Cuadro 3.

Cuadro 3. 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	0.012 – 0.017
Hierro galvanizado	120	0.15	0.015 – 0.017
PVC	140 – 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: Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas. García (2006)

El factor de fricción f de la fórmula de Darcy-Weisbach se calcula, según el tipo de régimen, con uno de los siguientes métodos:

- Para flujo laminar ($Re < 2.000$) emplea la fórmula de Hazen-Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re}$$

- Para flujo turbulento ($Re > 4.000$) emplea la aproximación explícita de Swamee y Jain a la fórmula de Colebrook-White:

$$f = \frac{0.25}{\log_{10} \times \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)}$$

- Para el flujo de transición ($2000 < Re < 4000$) aplica una interpolación cúbica al diagrama de Moody:

b. Pérdida de Carga en Válvulas y Accesorios

Las válvulas abiertas se consideran como tuberías lisas (con factor de fricción f igual a 0.02) de longitud igual a dos veces su diámetro. (García 2006).

Las pérdidas localizadas en válvulas activas y accesorios se evalúan como el producto de la altura cinética multiplicada por un coeficiente de pérdidas “ K ”, en la forma:

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

donde:

K : coeficiente de pérdidas menores

v : velocidad del flujo

g : aceleración de la gravedad

D : diámetro del elemento

Q : caudal circulante

En el **Cuadro 4** 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 4. Valores de “K” para los accesorios más comunes

ACCESORIO	COEF. PERDIDAS
Válvula de Globo, todo abierta	10
Válvula de Angulo, todo abierta	5
Valv. 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
ACCESORIO	COEF. PERDIDAS
Entrada brusca	0,5
Salida Brusca	10

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

En general, tanto EPANET como el resto de programas dirigidos al cálculo de redes, necesitan la definición de los siguientes componentes, con el objetivo de obtener un modelo de la red lo más próximo a la realidad

El comportamiento de cada uno de estos elementos se rige por las ecuaciones de continuidad en nudos y de conservación de la energía, así como por la relación entre la diferencia de alturas piezométricas de los extremos de cada elemento lineal 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.

El carácter no lineal de estos sistemas de ecuaciones hace indispensable la aplicación de métodos numéricos de resolución. Concretamente, EPANET utiliza el método de Newton-Raphson para hallar la solución simultánea del sistema de ecuaciones de balance de masa y energía. El problema es resuelto mediante la solución iterativa de un sistema de ecuaciones lineales de tamaño igual al número de alturas piezométricas desconocidas. (García 2006).

Cuadro 5. Componentes Físicos y No Físicos de EPANET

<i>Componentes físicos</i>		<i>Componentes no físicos</i>
<i>elementos puntuales</i>	<i>elementos lineales</i>	
nudos de caudal	tuberías	curvas de comportamiento
embalses	bombas	curvas de modulación o patrones
depósitos	válvulas	leyes de control

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

Para acometer 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 los componentes de la red. De modo que tenemos:

Datos:

- características de las conducciones:
 - longitud
 - diámetro
 - rugosidad
- 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)

Incógnitas:

- caudales circulantes por tuberías
- alturas piezométricas en los nudos

3.3. Selección Técnica Económica de Tuberías

Para realizar el diseño hidráulico del sistema de riego se deben considerar aspectos técnicos y económicos de manera que podamos optimizar los costos del sistema tratando de satisfacer la condición más importante que es el logro de una buena distribución del agua aplicada.

El diámetro más económico es aquel cuya suma de los gastos anuales debidos a la energía consumida más el valor de la anualidad por la inversión efectuada, es mínima. (Cátedra de Ingeniería Rural. Formulas empíricas para el cálculo de pérdidas de carga continuas en tuberías). Como se observa en la **Figura 6**. Por lo tanto debe cumplir la siguiente ecuación:

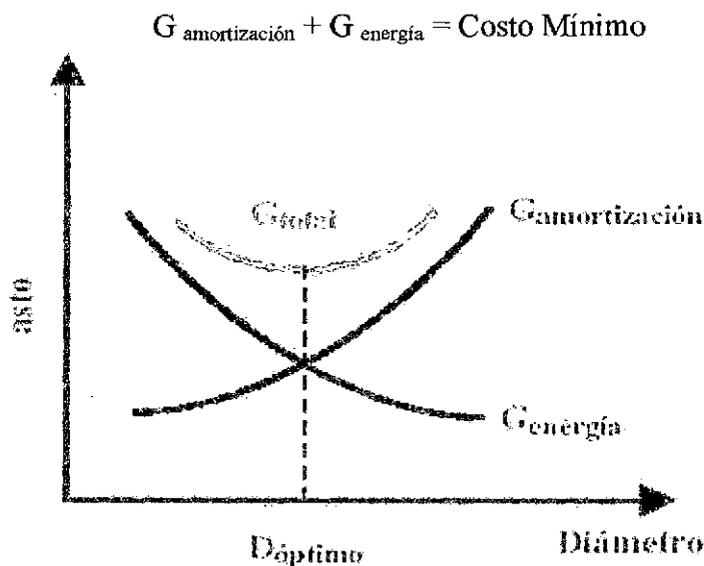


Figura 6. Selección Técnica Económica de Tuberías

FUENTE: Selección técnica económica de tuberías. Ascencios, D. (2013)

La energía que tiene que comunicar la bomba al fluido variará según el diámetro de la tubería, es decir, según las pérdidas de energía que se produzcan.

El diámetro de la red de tuberías se definirá tras un estudio técnico y económico de la solución propuesta, que deberá realizarse para cada alternativa.

Para simplificar los resultados, los cálculos se realizan por metro lineal de tubería y año, de la siguiente manera:

$$A = a \times C = \frac{C \times r \times (1 + r)^t}{(1 + r)^t - 1}$$

Donde,

- A: anualidad de amortización
- a: factor de anualidad
- C: coste por metro lineal de tubería, incluyendo puesta en obra
- r: tasa de actualización
- t: periodo de amortización

3.4. Sistema de Bombeo

Bomba: La acción del bombeo es la adición de energías cinética y potencial a un líquido con el fin de moverlo de un punto a otro. Esta energía hará que el líquido efectúe trabajo, tal como circular por una tubería o subir a una mayor altura (Ver **Figura 5**). (Tobía 2008).

Una bomba transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en la energía cinética y potencial requerida. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la punta de los álabes o periferia del impulsor y de la densidad del líquido, la cantidad de energía que se aplica por peso de líquido es independiente de la densidad del líquido. (Cervantes 2012)

Las bombas pueden ser de diferentes tipos. Lo habitual es que se utilicen bombas centrífugas, que pueden estar accionadas por motores eléctricos (lo más habitual hoy día si se dispone de electricidad en la instalación) o bien motores de combustión (gasolina o diesel) cuando no se dispone de electricidad. También existen bombas portátiles que pueden accionarse con la toma de fuerza del tractor.

Es muy conveniente instalar dos bombas en paralelo, de forma que se asegure el suministro de riego si una se malogra, además de mantener una eficiencia de bombeo.

3.4.1. Ecuaciones: Según Gorman R. Como leer la curva característica de una bomba.

Altura Dinámica Total (ADT) – es la suma de la altura estática o geométrica a vencer y las pérdidas de carga de la instalación. En campo, el valor de ADT se obtiene a partir de las lecturas de manómetros conectados en las bridas de aspiración e impulsión de la bomba.

Caudal (Q) – cantidad de fluido por unidad de tiempo.

Rendimiento – relación entre la potencia consumida por la bomba y la potencia hidráulica (sin pérdidas). Se expresa en porcentaje.

NPSHR – Altura neta positiva de aspiración, requerida por la bomba. Es la cantidad de presión atmosférica necesaria para mover el líquido por la aspiración de la bomba. El valor del NPSHR está directamente relacionado con el diseño de la bomba.

Altura estática de aspiración – distancia vertical entre el nivel de líquido del depósito de aspiración y el centro de la brida de aspiración de la bomba.

3.4.2. Curva Característica de la Bomba.

Es la representación, mediante un diagrama altura vs caudal, de la curva de funcionamiento de la bomba. Además se incluye información adicional relativa a la potencia consumida, rendimiento y/o NPSH requerido. Después del diseño de una bomba, se fabrica un prototipo para determinar sus prestaciones en relación a presión y caudal. Tras los ensayos y documentar los límites de caudal y presión, se puede trazar la curva de funcionamiento. Cada bomba tiene su propia curva de funcionamiento. Hay muchos tipos de bombas capaces de bombear diferentes caudales a presiones distintas y se recomienda consultar sus curvas características antes de seleccionar la bomba.(Gorman R. Como leer la curva característica de una bomba. v1.)

Teniendo la información de los datos de placa de la bomba, se deben consultar los catálogos o información técnica del fabricante para obtener las curvas características de la bomba centrífuga; dichas curvas son aquellas que relacionan las variables que intervienen en el funcionamiento de la misma.

Las curvas características de las bombas, como se observa en la **Figura 7**, presentan datos similares independientemente del fabricante y en general incluyen:

- La curva de carga vs. caudal (trazada para diferentes diámetros de impulsor y a velocidad constante).
- La curva de NPSH vs. caudal.
- La curva de eficiencia vs. caudal (o curvas de isoeficiencia).
- La curva de potencia vs. caudal.

En caso de no contar con la información técnica del fabricante de la bomba que se desea evaluar, se podrán utilizar curvas de referencia que contengan características similares de la bomba, es decir: diámetro y tipo de impulsor, velocidad, tamaño, etc.

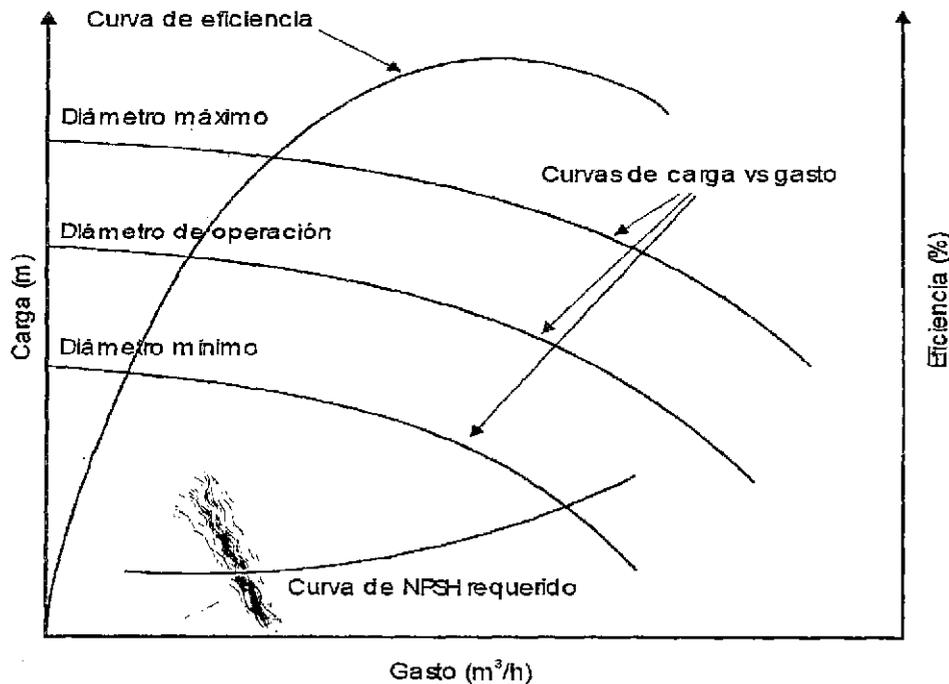


Figura 7. Curvas Características de una Bomba Centrífuga

FUENTE: Ahorro de energía en sistemas de bombas centrífugas

3.4.3. Curva de Operación del Sistema

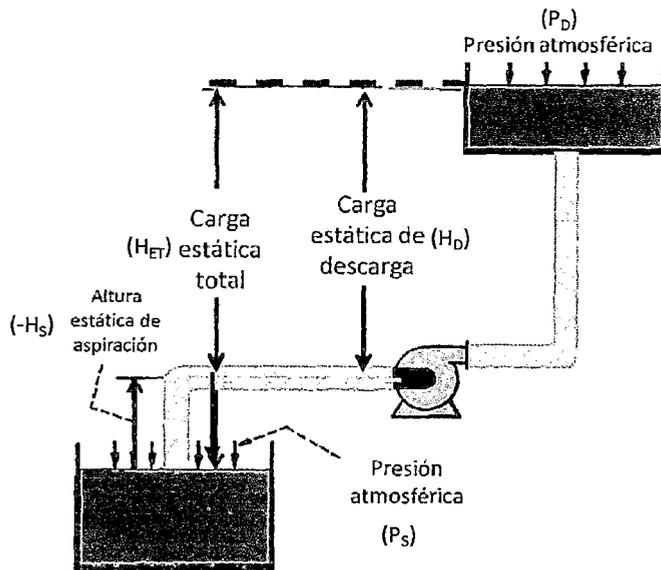
La curva del sistema queda definida por la **carga estática total** y las pérdidas de presión en el sistema de bombeo, **carga dinámica**.

a. Carga Estática Total

La carga estática significa una diferencia en elevación. Por tanto, la "carga estática total" de un sistema es la diferencia en elevación entre los niveles del líquido en los puntos de descarga y de succión de la bomba.

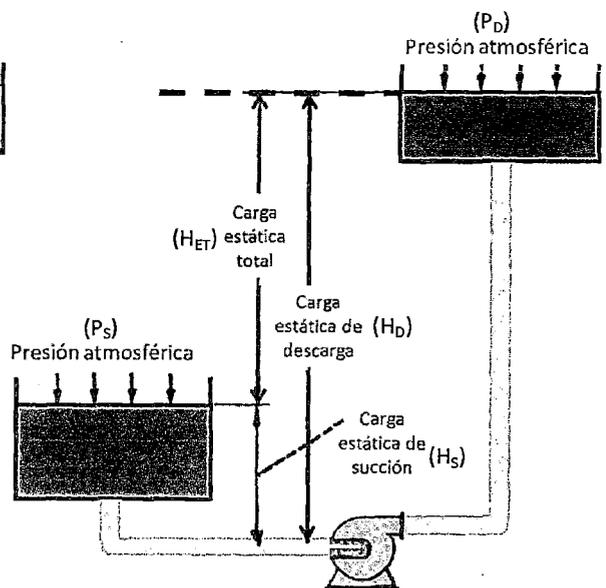
La "carga estática de descarga" es la diferencia en elevación entre el nivel del líquido de descarga y la línea de centros de la bomba. Si la carga estática de succión tiene valor negativo porque el nivel del líquido para succión está debajo de la línea de centros de la bomba, se le suele llamar "altura estática de aspiración" (Figura 8). Si el nivel de líquido de succión o de descarga está sometido a una presión que no sea la atmosférica, ésta se puede considerar como parte de la carga estática o como una adición por separado a la carga estática (Figura 9). (Cervantes 2012)

Figura 8. Carga estática con nivel de succión debajo de la línea de centros de la bomba.



FUENTE: Control de bombas de alimentación a caldera con un variador de velocidad hidrodinámico. Cervantes (2012)

Figura 9. Carga estática con nivel de succión encima de la línea de centros de la bomba.



FUENTE: Control de bombas de alimentación a caldera con un variador de velocidad hidrodinámico. Cervantes (2012)

La carga estática total se determina conociendo la altura geométrica del nivel del líquido entre los recipientes de succión y descarga y la línea de centros de la bomba, así como las presiones en esos mismos puntos.

$$H_{ET} = H_D - H_S + \frac{P_D - P_S}{\gamma}$$

donde:

- H_{ET} : Carga estática total.
- H_D : Altura de descarga.
- H_S : Altura de succión.
- P_D : Presión en el recipiente de descarga.
- P_S : Presión en el recipiente de succión.
- γ : Peso específico del fluido.

b. Carga Dinámica Total.

La carga dinámica total representa las pérdidas de presión, las cuales se originan por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas, accesorios y otros componentes como pueden ser intercambiadores de calor u otros. Estas pérdidas varían proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad del caudal. También varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de tubos y accesorios, y las características del líquido bombeado.(UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO, Colombia. Ahorro de Energía en Sistemas de bombas Centrifugas).

3.4.4. Construcción de la Curva del Sistema.

a. Curvas de rozamiento y de carga del sistema.

Una vez determinadas las pérdidas de fricción en tuberías se suman las pérdidas por accesorios y se construye la curva de pérdidas por fricción (**Figura10**).

La carga de rozamiento (expresada en m del líquido que se bombea) es la necesaria para contrarrestar las pérdidas por fricción ocasionadas por el flujo del líquido en la tubería,

válvulas, accesorios y otros componentes como pueden ser los intercambiadores de calor. Estas pérdidas varían más o menos proporcionalmente al cuadrado del flujo en el sistema. También varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de tubos y accesorios, y las características del líquido bombeado. (Cervantes 2012)

Al calcular las pérdidas por rozamiento, se debe tener en cuenta que aumentan conforme la tubería se deteriora con el tiempo. Se acostumbra basar las pérdidas en los datos establecidos para tubería promedio que tiene 10 a 15 años de uso. Estos datos se encuentran con facilidad en la Hydraulic Institute Estándars y en el Manual de Bombas.

$$H_f = H_L + H_A$$

donde:

- H_f : Pérdida Total por Fricción.
- H_L : Pérdida por fricción en tuberías.
- H_A : Pérdida por fricción en accesorios.

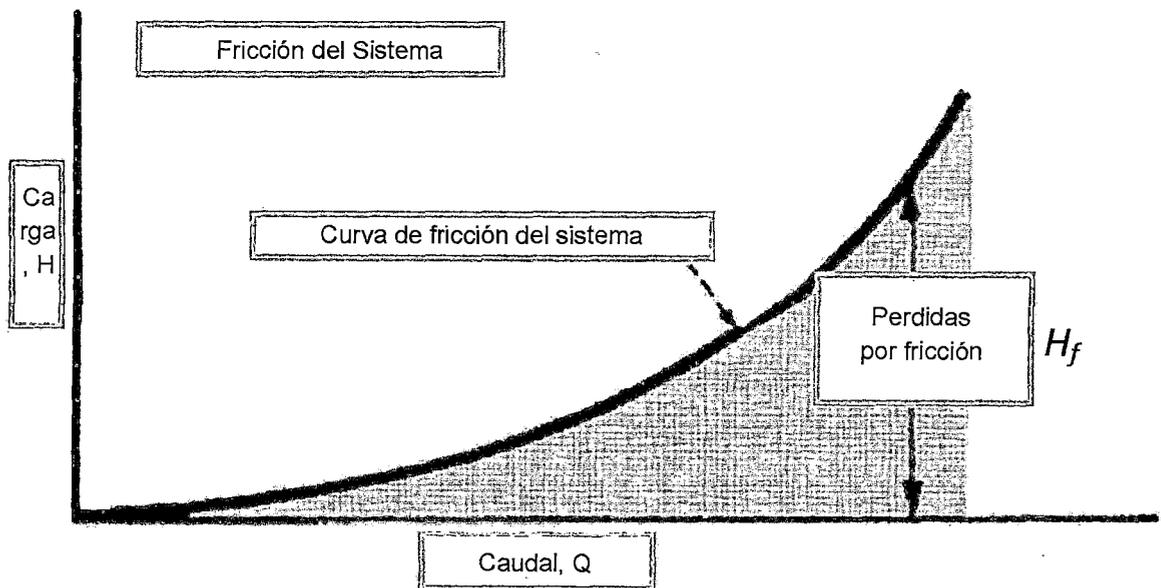


Figura 10. Curva de Pérdidas de Fricción del Sistema.

FUENTE: Ahorro de energía en sistemas de bombas centrifugas

Para resolver problemas de bombeo es conveniente indicar la relación, en forma de gráfica, entre el flujo y las pérdidas de carga de rozamiento. Estas pérdidas, por tanto, se calculan

con algún flujo predeterminado, sea el esperado o el de diseño, y luego se calcula para todos los demás flujos con el empleo del cuadrado de la relación de flujo. La curva resultante se llama curva de rozamiento del sistema.

b. La curva del sistema. es la suma de la carga estática total más la carga dinámica total (**Figura 11**).

Cuando se combinan las cargas estáticas, la diferencia en presión y las pérdidas de carga de rozamiento de cualquier sistema, y se trazan contra la capacidad, la curva resultante, se llama curva de carga del sistema.

En sistemas que tienen cargas estáticas o diferencias de presión variables, es posible trazar curvas que correspondan a las condiciones mínimas y máximas. Después, las intersecciones con la curva de carga-capacidad de la bomba determinarán los flujos mínimo y máximo que entregará la bomba en el sistema.

$$\text{Carga total del sistema } (H_{Total}) = H_{(estática)} + H_{(Dinámica)}$$

Es decir:

$$H_{Total} = H_{Estatica} + \frac{V^2_{Descarga} - V^2_{Succion}}{2g} + \sum \left[\frac{fLv^2}{2Dg} \right]_i + \sum \left[\frac{kv^2}{2g} \right]_i$$

Si se considera que la velocidad en la succión es igual a la de descarga de la bomba, el segundo componente de la ecuación anterior es igual a cero.

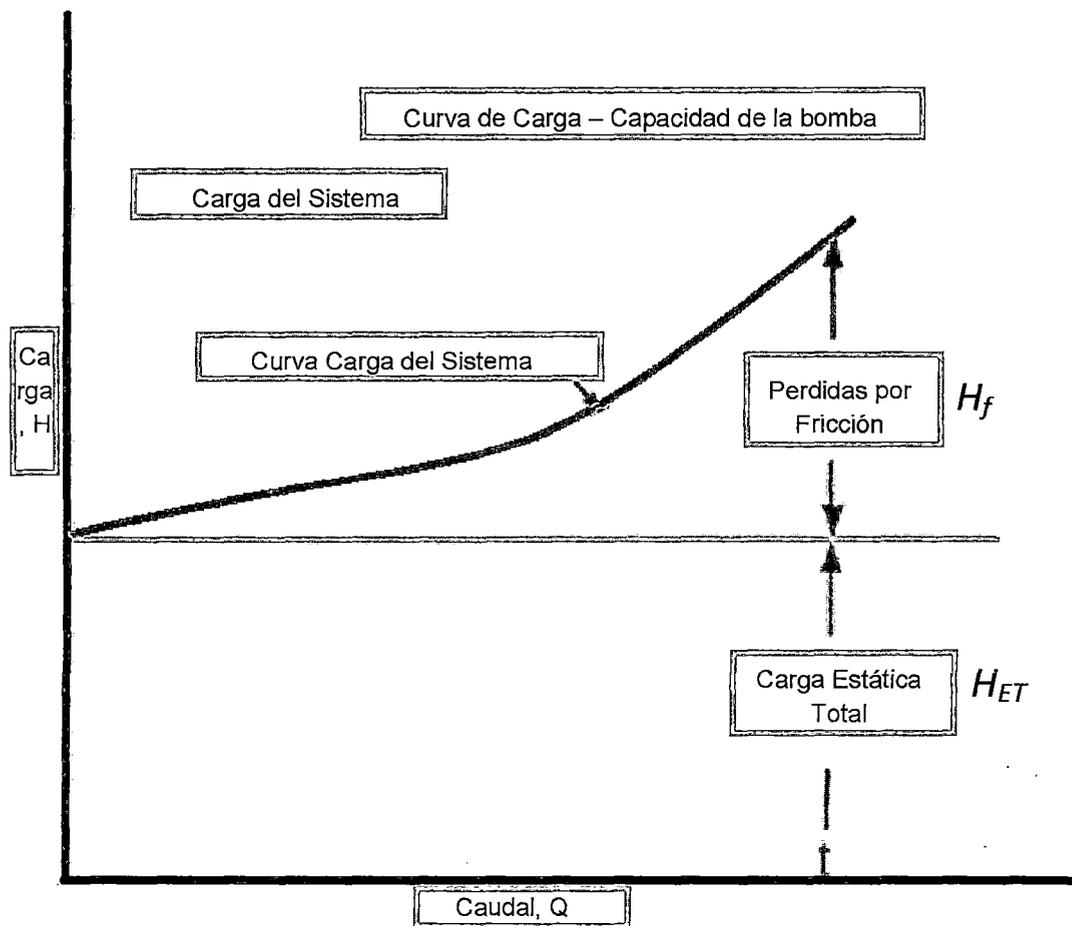


Figura 11. Curva de Operación del Sistema de Bombeo.

FUENTE: Ahorro de energía en sistemas de bombas centrifugas

3.4.5. Puntos de Operación de la Bomba.

A. Caudal Constante.

El punto de operación de una bomba se obtiene cuando la carga generada por la misma coincide con la que precisa el sistema de bombeo.

El punto de operación se obtiene en la intersección de la curva (carga vs. caudal) de la bomba correspondiente al diámetro de operación y la curva del sistema. Al trazar una línea horizontal y otra vertical que pase por este punto pueden obtenerse los valores de carga, caudal, eficiencia y NPSH requerido. (UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO, Colombia. Ahorro de Energía en Sistemas de bombas Centrifugas). Como se muestra en la **Figura 12**.

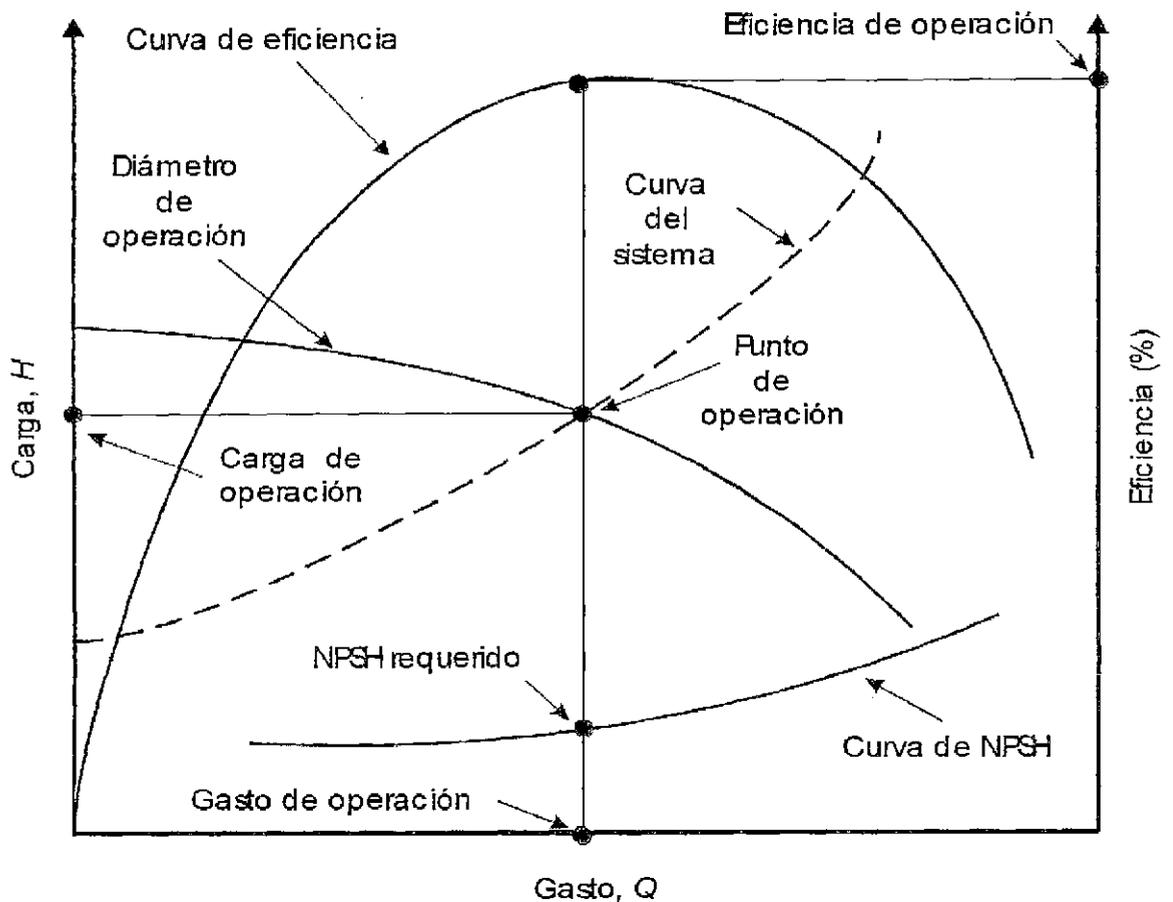


Figura 12. Punto de Operación para caudal Constante.

FUENTE: Ahorro de energía en sistemas de bombas centrífugas

B. Caudal Variable.

En general los sistemas de bombeo requieren caudal variable, lo cual significa que una bomba trabaja con diferentes puntos de operación (carga, caudal).

Adicionalmente, en cada punto de operación se puede determinar el NPSH requerido y la eficiencia de la bomba. (UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO, Colombia. Ahorro de Energía en Sistemas de bombas Centrifugas). Se muestra un ejemplo gráfico en la **Figura 13**.

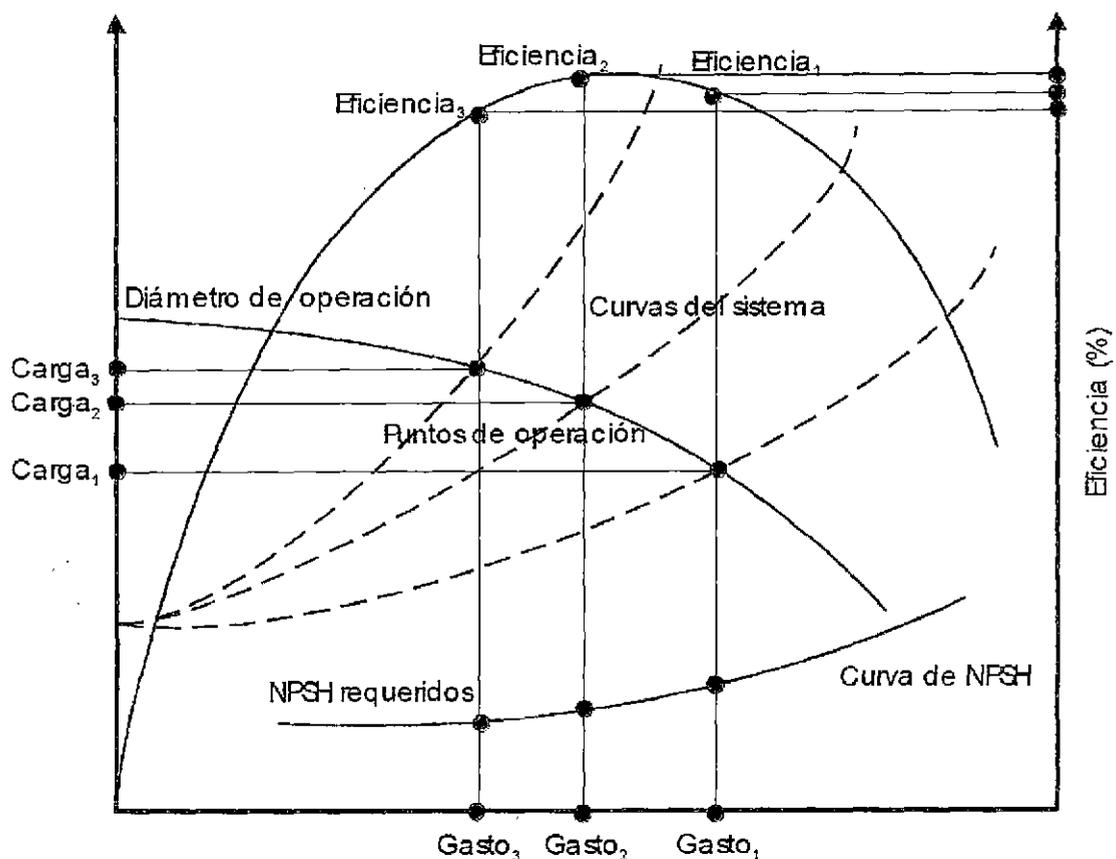


Figura 13. Punto de Operación para Caudal Variable.

FUENTE: Ahorro de energía en sistemas de bombas centrífugas

3.5. Diseño de redes optimizadas energéticamente.

En la búsqueda de la optimización energética existen básicamente dos maneras de satisfacer una demanda de riego a presión: con bombas funcionando a velocidad constante combinadas con un depósito regulador o bien con bombeo directo mediante bombas funcionando a velocidad variable que hacen de elemento regulador combinadas a su vez con bombas a velocidad constante.

3.5.1. La Eficiencia Energética

La disminución del consumo energético se considera que puede realizarse mediante dos aspectos:

A) Por la disminución de consumos de aguase puede lograr con un mejor conocimiento de las necesidades y por la reestructuración o modernización con el cambio de sistema de riego (goteo o aspersión). Tiene mayor efecto en regadíos que consideran la posibilidad de un cambio del sistema de riego (puede pasar la eficiencia de 0,4 hasta 0,75) y los que se encuentran con escaso porcentaje de revestimiento de sus redes en la actualidad (pueden mejorar la eficiencia de 0,4 a 0,6).

B) Por la correcta adecuación del sistema de bombeo, tanto en los nuevos sistemas de riego, como en la modernización referente a los siguientes conceptos:

- Introducción de variadores de frecuencia para funcionamiento de bombas en régimen variable.
- Mejora de rendimientos en los equipos de impulsión.
- Automatización de los sistemas de mando, maniobra y control.
- Posibilidad de construcción de depósitos operativos, en casos determinados.
- Diseño de redes optimizadas energéticamente.
- Mejora del factor de potencia.
- Elección de la tarifa más adecuada.

La mejora de la eficiencia energética de los regadíos lleva consigo unas inversiones que minoran, en principio, los costes de explotación, pero, y sobre todo, tienen un efecto positivo sobre el medio ambiente en cuanto disminuyen la necesidad de producción energética.

3.5.2. Bombas a Velocidad Constante.

En el caso de bombas a velocidad constante los grupos de motobomba sirven un caudal determinado a una presión más o menos los cuales pueden combinarse con un depósito situado a la altura precisa, que sea capaz de acumular los excedentes no consumidos para darlos cuando no funcionen los grupos de bombeo. (Alfaro, A. AHORRO Y EFICIENCIA ENERGETICA EN LA AGRICULTURA DE REGADIO).

La necesidad de combinarlos con depósitos operativos deriva en que dado que la demanda de la red es variable, la curva característica de la bomba genera unas variaciones de presión que presentan inconvenientes tal como se puede apreciar en la **Figura 14**:

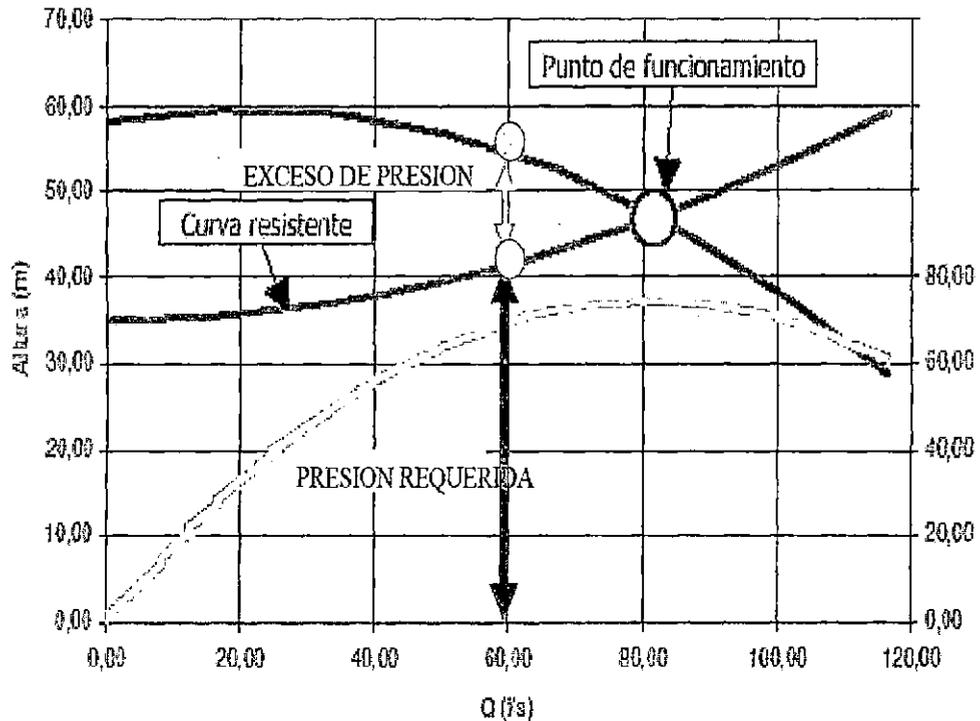


Figura 14. Curva Característica de Bomba a Velocidad Constante

FUENTE: Ahorro y eficiencia energética en agricultura de regadío.

Algunas de las **ventajas** de este sistema son:

- Al bombear contra depósito el punto de funcionamiento está cercano al punto óptimo de su curva.
- Permiten riegos en momentos en que el precio de la energía es caro habiéndose bombeado esa agua en momentos en que la energía es barata. (Solo para sectores con igual requerimiento de presión)
- Permiten riegos con caudales muy pequeños sin que el rendimiento se vea afectado puesto que se abastecen desde depósito.

Algunos de los **inconvenientes** de este sistema son:

- La necesidad de ubicar el depósito más alto de lo estrictamente necesario con el consiguiente aumento de altura manométrica y timbrajes en tubería.
- No permite la sectorización de redes entendiéndose como tal el bombeo con alturas manométricas diferentes en zonas con diferentes requerimientos.
- Las redes suelen resultar más caras debido al coste del propio depósito, mayores timbrajes en tubería y tramos de impulsión para llegar al depósito.

3.5.3. Bombas a Velocidad Variable.

En el caso de bombeos directos regulados por bombas a velocidad variable el sistema sirve caudales variables a presiones también variables en función de éste, gracias a la actuación de variadores de frecuencia sobre las bombas establecidas para funcionar a velocidad variable, ver **Figura 15**.

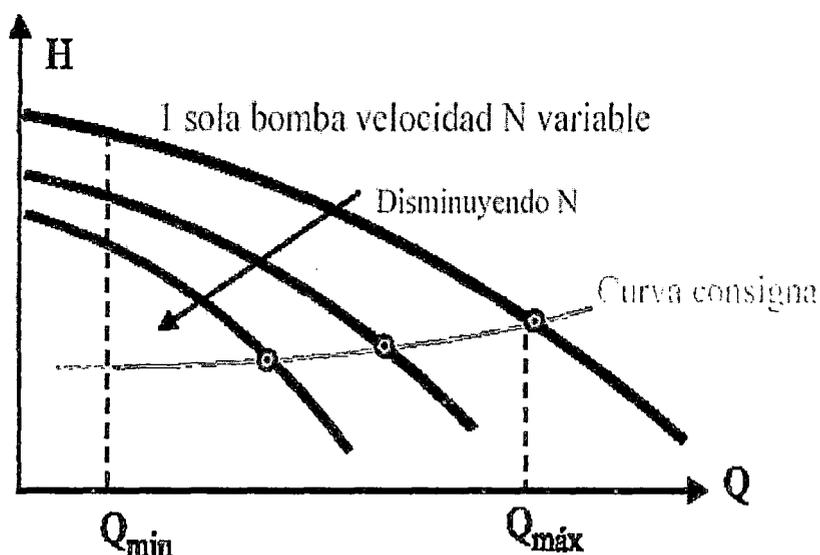


Figura 15. Curva Característica de Bomba a Velocidad Variable

FUENTE: Ahorro y eficiencia energética en agricultura de regadío.

El sistema se adapta a una curva de consigna, es decir, a los diversos puntos de demanda de caudal a los que se asigna una presión de funcionamiento, variando la velocidad de giro del motor y por consiguiente las condiciones de caudal y presión.

En función del caudal demandado se aporta una presión diferente en la impulsión para contrarrestar las diferentes pérdidas de carga en las tuberías, de manera que se aporta menos presión con caudales menores, lo cual se traduce en un ahorro de energía. (Alfaro, A. AHORRO Y EFICIENCIA ENERGETICA EN LA AGRICULTURA DE REGADIO).

El desplazamiento a lo largo de la curva de consigna supone a su vez un desplazamiento a lo largo de las curvas de isorendimiento tal como se aprecia en la siguiente **Figura 16**:

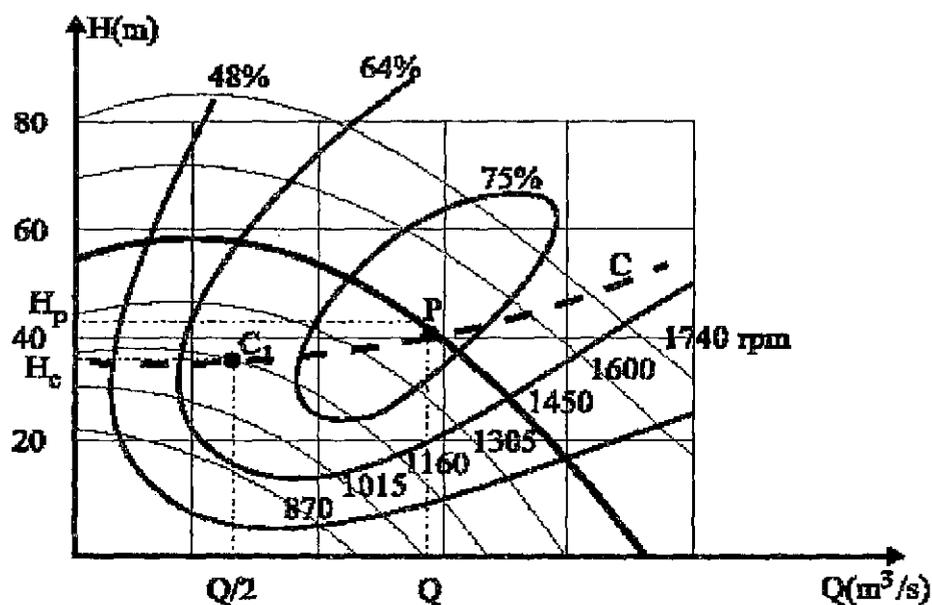


Figura 16. Curvas de Isorendimiento de Bomba

FUENTE: Ahorro v eficiencia energética en agricultura de regadio.

Algunas de las **ventajas** de este sistema son:

- Se puede automatizar completamente un bombeo para demandas variables sin necesidad de incorporar un depósito regulador, ajustándose a una curva de consigna previamente establecida.
- Las redes son más económicas al eliminar el depósito, tramos de impulsión y timbrajes en tubería.
- En algunos casos será la única alternativa posible si no existe un punto elevado para ubicar depósito.
- Resulta viable la sectorización de redes, es decir, establecer líneas independientes de bombeo en función de zonas con diferentes requerimientos de presión.

Algunos de los **inconvenientes** de este sistema son:

- Se ha de tener en cuenta los caudales excesivamente pequeños puesto que aunque el sistema se adapta a los requerimientos el rendimiento es bajo en esos momentos
- Igualmente se han de tener en cuenta los caudales excesivos
- No se permite el riego en horas en las que la energía es más cara a excepción de necesidades de riego por causa mayor. (debido q la no existencia de un depósito para el llenado previo)

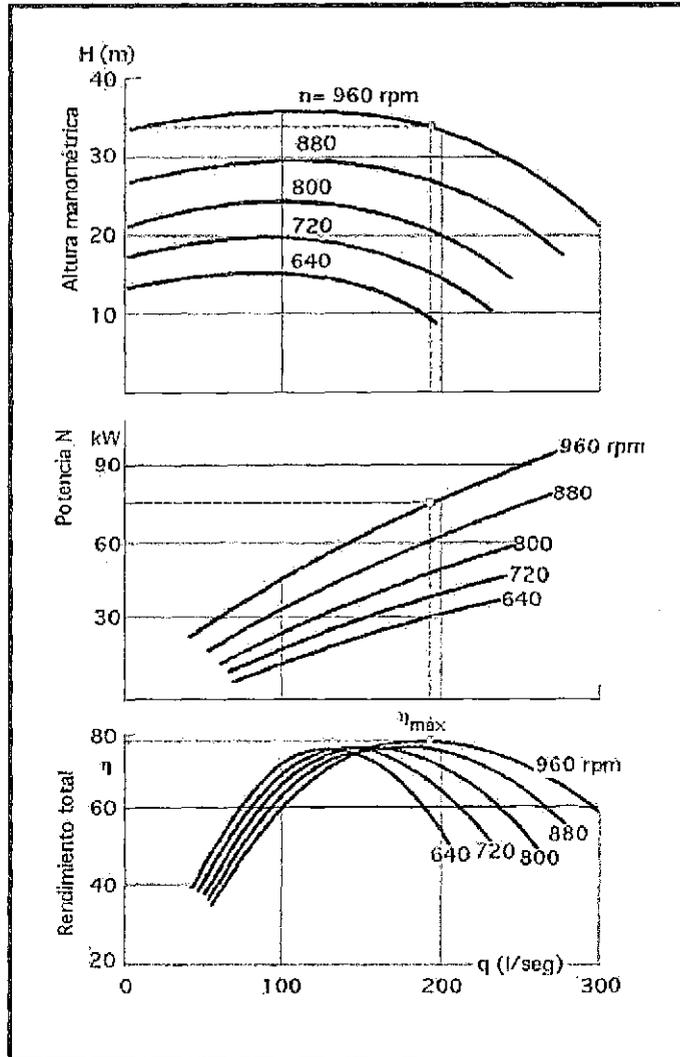
3.5.4. Leyes de afinidad

Las relaciones que permiten predecir el rendimiento de una bomba a una velocidad que no sea la de característica conocida de la bomba, se llaman leyes de afinidad. (Ortega 2012)

Cuando se cambia la velocidad:

1. La capacidad Q en cualquier punto dado en la característica de la bomba varía directamente con la velocidad, n .
2. La carga H varía en razón directa al cuadrado de la velocidad.
3. El caballaje al freno P varía en razón directa al cubo de la velocidad.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2; \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$



**Figura 17. Ensayo completo de una bomba a diferente número de rpm.
Curvas H-Q, P-Q, n-Q.**

FUENTE: Control de bombas de alimentación a caldera con un variador de velocidad hidrodinámico. Cervantes (2012)

3.5.5. ¿Por qué usar Variador de Velocidad?

Uno de los grandes problemas que enfrenta el fabricante de equipos de bombeo, es operar las bombas a diferentes caudales a costa de la carga dinámica total, el estrangulamiento de flujo por medio de una válvula, nos proporciona el gasto requerido y la carga necesaria pero a un costo de operación muy alto, otra forma de variar el caudal y carga es variando la frecuencia (ciclos por segundo) y con ello variamos las RPM del motor eléctrico.

La elección de la instalación de un convertidor de frecuencia como Método de ahorro energético supone:

- Reducción del consumo.
- Mejor control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos productivos.
- Minimizan las pérdidas en el motor, ya que siempre trabaja en las condiciones óptimas de funcionamiento)

Todas estas ventajas repercuten finalmente en las instalaciones de bombeo, consiguiendo el funcionamiento de las bombas en condiciones óptimas, prolongando también la vida útil de los motores utilizados.

Se pueden emplear para variar flujo sin utilizar válvula de control y pueden reducir los requisitos de caballaje en 50% o más.

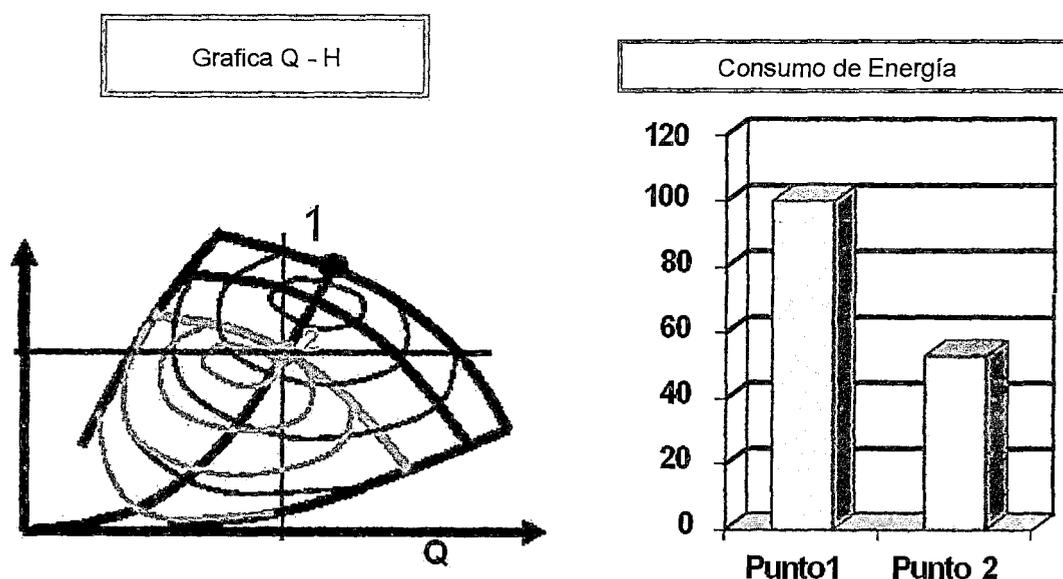


Figura 18. Ahorro Energético con Variador de Velocidad

FUENTE: Control de bombas de alimentación a caldera con un variador de velocidad hidrodinámico. Cervantes (2012)

3.5.6. Ahorro de Energía con Variadores de Velocidad

La curva del variador de velocidad electrónico tiene un comportamiento cúbico, lo que proporciona elevadas disminuciones de potencia en el rango de velocidad del 30 al 70%, la reducción de potencia en el resto del rango de operación es considerablemente menor.

Los variadores de velocidad electrónicos son la moda, y pueden ser utilizados en forma económicamente satisfactoria cuando son acoplados a motores cuya potencia de entrada sea menor a los 150 Kw. (200 HP); cabe mencionar que son funcionales por su versatilidad ya que pueden ser programados para no exceder los límites de operación, permiten relaciones de velocidad entrada/salida con una exactitud de milésimas y pueden ser controlados inalámbricamente; todo esto debido a su simple funcionamiento que transforma la corriente alterna entrante al motor. En este variador aunque existen pérdidas por la transformación de la energía, es importante notar que se generan ahorros económicos adicionales al eliminar el costo de cualquier tipo de arrancador y protección para el motor, además es mucho más factible automatizar un sistema electrónico que uno mecánico.(Cervantes 2012)

La eficiencia en los variadores de velocidad electrónicos es elevada, ya que se tiene un excelente control en la variación de la velocidad, debido a sus componentes de estado sólido. La eficiencia que se obtiene con el variador electrónico es en promedio de un 95%.Cervantes, ME. 2012. Control de Bombas de Alimentación a Caldera con un Variador de Velocidad Hidrodinámico.

3.5.7. Regulación del Flujo en Bombas

En muchas ocasiones es preciso trabajar durante mucho tiempo en condiciones de caudal inferiores al nominal. En esta situación se pueden realizar planteamientos que permitan ahorros energéticos considerables, implantando sistemas de regulación de caudal más apropiado.

Los métodos de regulación de caudal se obtienen mediante:

- Modificación de la curva presión-caudal del sistema sobre el que trabaja la bomba.
- Modificación de la curva presión-caudal de la bomba.
- Modificación simultánea de ambas características (sistema y bomba).
- Arranque o paro de la bomba.

3.6. Herramientas de Optimización y Simulación.

En la optimización energética se recomienda el uso de programas de simulación que permiten el análisis de infinidad de escenarios que nos permitan determinar puntos o situaciones concretas de la red en las que resolviéndolas de una u otra forma consigamos una mejor optimización energética y ahorros importantes de energía eliminando puntos limitantes, estableciendo turnos de riego en zonas concretas, etc.(Alfaro, A. AHORRO Y EFICIENCIA ENERGETICA EN LA AGRICULTURA DE REGADIO).

3.7. Sistema Informático en GESTAR para el Dimensionado y Simulación Hidráulica Energética de redes.

Para el dimensionado de una red de conducciones estrictamente ramificada en que se hayan establecido los Caudales de Diseño, diversas familias de técnicas para el dimensionado de las conducciones de la red, que incluyen criterios de optimización económica, aparecen en la literatura (Labye et al,1988), (Granados, 1990) (Martínez et al, 1990), (Montesinos et al, 1996), (Aliod et al, 2007). Estas técnicas de cálculo, con mayor o menor flexibilidad, con mayor o menor tiempo de computación asociado, permiten encontrar la combinación de tuberías que consigue satisfacer los requisitos de presión impuestos (en hidrantes y otros nodos, como puntos de paso, cotas altas) para los Caudales de Diseño, con un coste global mínimo, o muy próximo al mínimo global. Los algoritmos más habituales con este propósito son de tipo Multiplicadores de Lagrange, Programación Lineal, Algoritmo Labye, Algoritmos Evolutivos, que adoptan a su vez diversas variantes.(Manual de Usuario GESTAR 2014).

3.7.1. Dimensionado Optimo Redes Ramificadas

Realiza la optimización económica de redes ramificadas con trazado dado, tanto a la demanda como a turnos, encontrando la combinación de diámetros, Material y Timbraje que satisface, con el mínimo coste, los suministros de caudales y presión mínimas impuestas en hidrantes o emisores.

La optimización admite alimentación tanto por gravedad, con altura piezométrica impuesta, así como también mediante estaciones de bombeo directo, en cuyo caso emerge del proceso de optimización, no sólo la altura de impulsión que minimiza los costes totales, sino también, la composición y regulación más favorable de la estación de bombeo, utilizando para ello procedimientos iterativos y un cálculo detallado de los consumos energéticos.

- **Redes Ramificadas:** es aquella que posee una topología ramificada en la que existe exclusivamente un único punto de altura piezométrica impuesta, que habitualmente corresponderá al punto de alimentación (reservorio), mientras el resto de Nodos de la red se asimilan a puntos de consumo conocido. En este tipo de red es posible determinar “a priori” los caudales de línea, lo que posibilita, por un lado, establecer las metodologías de dimensionado óptimo económico de los diámetros y Material de la red, y por otro lado, calcular posteriormente y de forma explícita las presiones en cada punto del sistema, una vez que los diámetros han sido fijados, para cada configuración de demanda instantánea que se formule.(Manual de Usuario GESTAR 2014).

3.7.2. Simulación Hidráulica y Energética

El análisis hidráulico y energético de un sistema de distribución a presión consiste en la predicción y verificación detallada, mediante técnicas de simulación computacional, del comportamiento de la red, de manera que se evalúan todos los parámetros hidráulicos (caudales, presiones, velocidades,...) en cada componente de la red, y los parámetros energéticos relevantes (potencia, rendimiento, gasto,...) en los equipos de bombeo (equipos

individuales y estaciones), y ello para cada configuración de la demanda instantánea que sea de interés. (Manual de Usuario GESTAR 2014).

Además sirve para reproducir el comportamiento de redes proyectadas o construidas, en condiciones habituales o excepcionales, se aplica sobre los dimensionados obtenidos del dimensionamiento óptimo, incorporando todos los detalles constructivos y operativos.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Descripción del Área de Estudio

4.1.1. Ubicación y extensión

A. Ubicación política

Departamento : Lima

Provincia : Lima

Distrito : La Molina

Fundo : Áreas Verdes Urbanas del Campus de la Universidad
Nacional Agraria la Molina

B. Ubicación geográfica

El proyecto estudiado se ubicó en la provincia de Lima, Distrito de la Molina, 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 la altitud que varía de 245 msnm.

- 43767

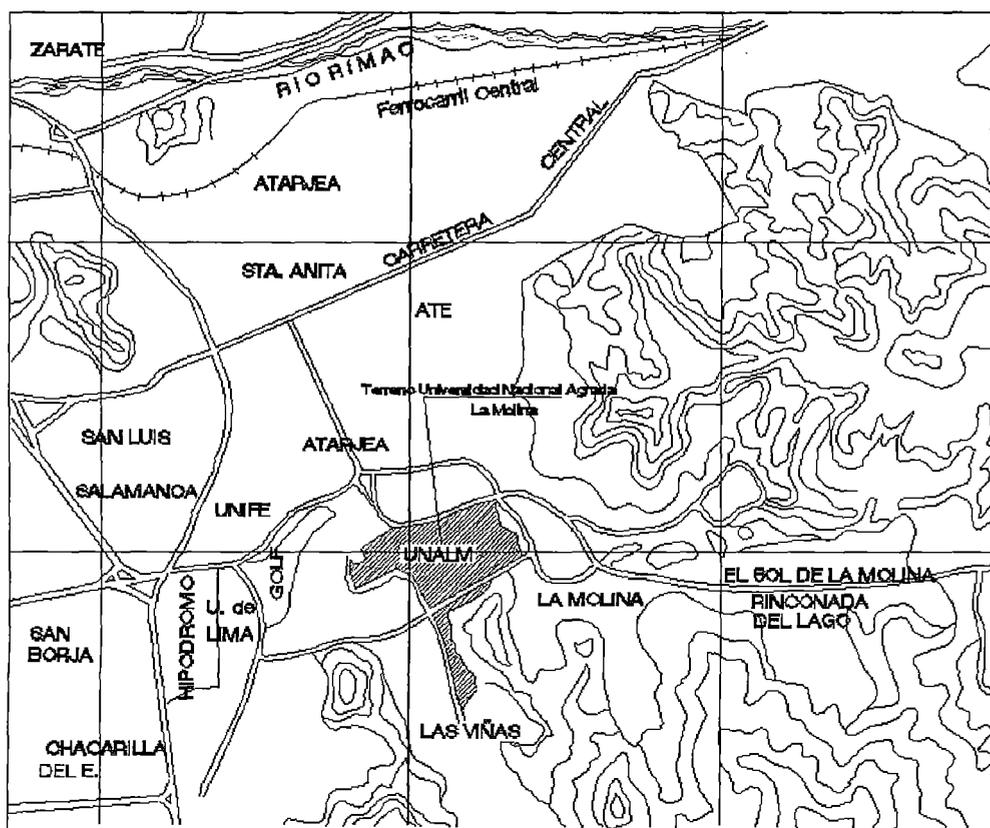


Figura 19. Ubicación de la UNALM

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

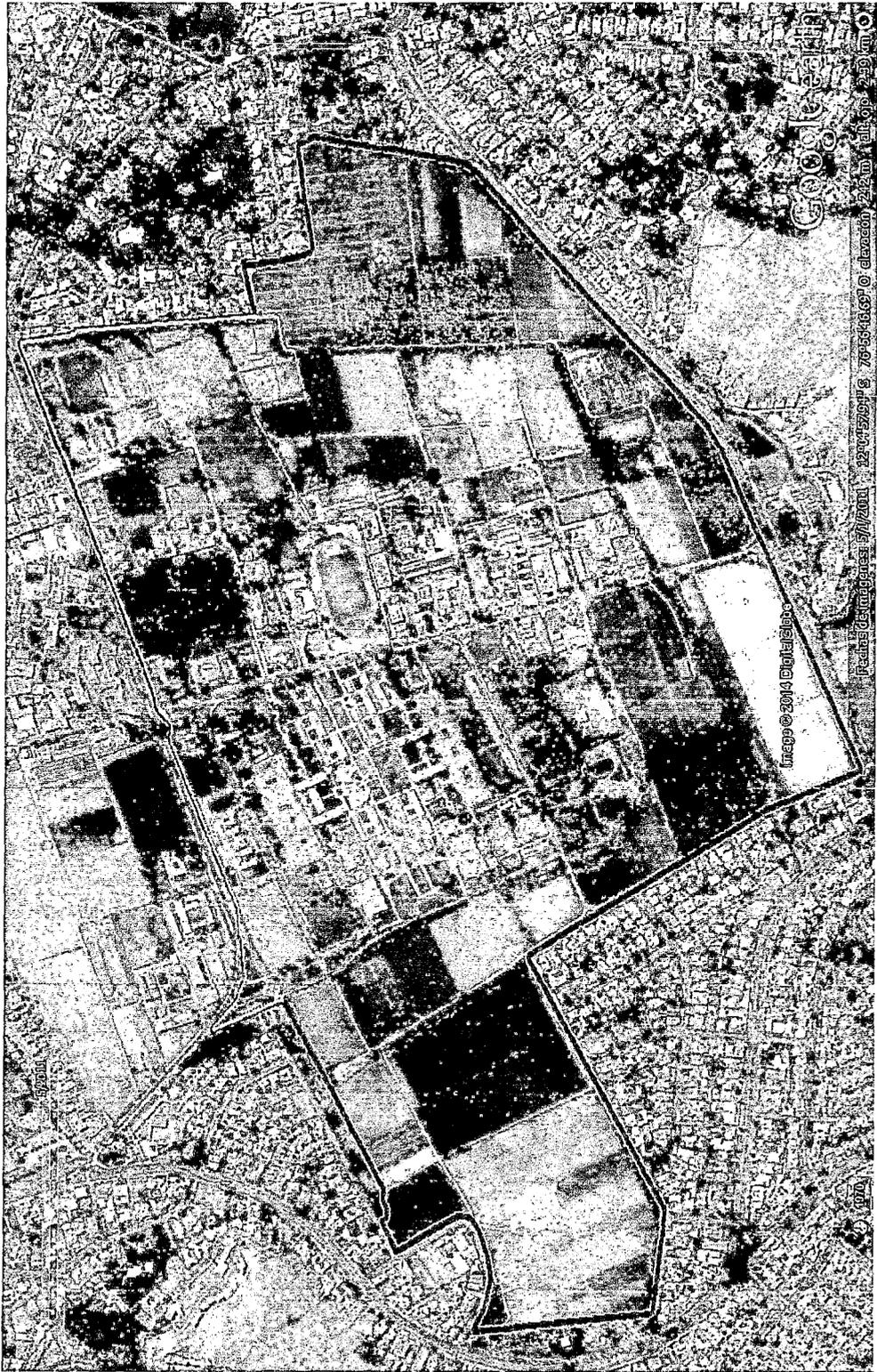


Figura 20. Ubicación del Área de estudio, campus de la UNALM y Proyección Social

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

C. Vías de acceso

Las principales vías de acceso son dos:

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

D. Extensión

La extensión del terreno fue de 19.66 has, de la cuales 18.32 has están conformadas por Áreas Verdes Urbanas (Jardines) 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. **Cuadro N° 6.**

Cuadro 6. Áreas a tecnificar

ÁREAS A TECNIFICAR			
Usuario principal	Usuarios	Área (Has)	Cultivos
Of. de Servicios Generales y Proyección Social	Of. de Servicios Generales y Proyección Social	18.32	Grass
	Programa de Cereales	0.84	Cereales
	Programa de Maíz	0.50	Maíz
TOTAL		19.66	

Fuente: Elaboración propia (2014)

4.2. Materiales

Los materiales considerados para el desarrollo del presente estudio son:

- Plano Topográfico.
- Datos Climáticos, Estudio de Suelo, Calidad de Agua, Datos de Cultivos.
- Recibo de energía eléctrica y agua.
- Tesis, libros, manuales y catálogos.
- Materiales de oficinas.

- Computadora.
- Software de dibujo (AutoCAD 2013).
- Software de simulación Hidráulica (Epanet 2.0).
- Software de optimización y simulación Hidráulica-Energética (Gestar 2014 V. Premium).

4.3. Metodología de Estudio

Con la finalidad de alcanzar el objetivo propuesto, se realizó la siguiente metodología.

4.3.1. Datos Básicos

Para la planificación y diseño del sistema de riego se necesitó de los siguientes datos básicos:

- Levantamiento planialtimétricos de todo el área involucrada en el diseño.
- Datos climáticos
- Cantidad y calidad del agua
- Fuente de energía
- Características hídricas del suelo

Se realizó el balance hídrico para conocer las posibles restricciones de dotación de agua que podamos tener y determinar la capacidad de reservorio en base al turno de riego de la UNALM.

4.3.2. Diseño agronómico

Las necesidades hídricas fueron calculadas en base a los requerimientos del césped, que para el diseño se establece una lámina bruta de 5 mm/día.

Luego de ubicar la fuente de almacenamiento de agua, la fuente de energía y ubicación del cabezal se procedió a realizar el trazado preliminar de las redes de tuberías principales, secundarias y portlaterales con sus respectivos emisores.

Se agruparon por válvulas y se zonificó toda de red de riego por turnos, buscando, en lo posible, que sean caudales parecidos con la misma velocidad de aplicación, luego se determinó el tiempo de riego de cada turno en función de la velocidad de aplicación del emisor que corresponda y la lámina a reponer.

4.3.3. Criterios para la Determinación de Escenarios

Fueron creados los “Escenario 1” y “Escenario 2” a los cuales se les realizó una serie de cálculos y análisis hidráulicos - energéticos, con distintos parámetros de operación. Estos escenarios y sus correspondientes dimensionamientos óptimos dieron como resultado el “Escenario 1 Optimizado” y “Escenario 2 Optimizado”.

a. Escenario 1

Las válvulas que conforman los turnos del “Escenario 1” tienen su funcionamiento a gran distancia una de otras dentro de la misma red. Esto se hizo con la finalidad de que la red tenga menor pérdida de carga, ya que el caudal se reparte por ramales distintos, compartiendo solo un corto tramo inicial de la red, véase **Figura 21**. Cabe mencionar que un turno está conformado por válvulas que activen un mismo tipo de emisor en intervalos de tiempos iguales.

El criterio para la elección de tuberías del “Escenario 1” fue el de velocidad, cuyas restricciones están entre 2.5 m/s y 0.5 m/s, a partir del cual se desarrolló una serie de cálculos y análisis.

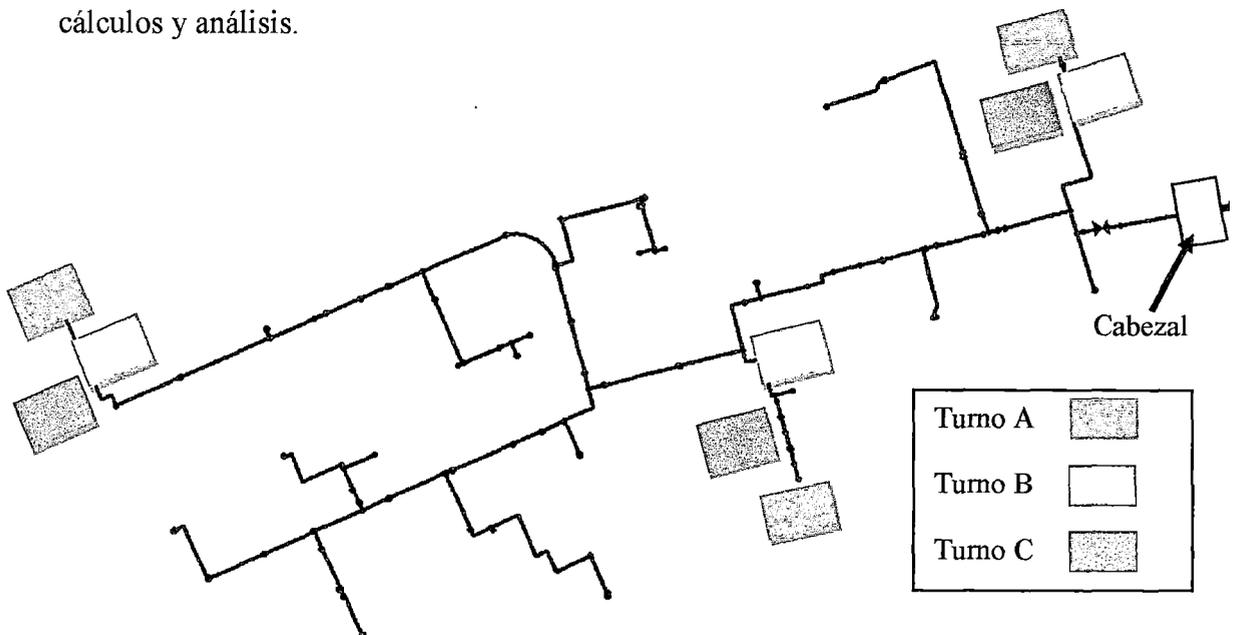


Figura 21. Distribución de Turnos del “Escenario 1”

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

b. Escenario 2

En este caso los turnos están conformados por válvulas que funcionen lo más cercanas posible, siempre y cuando éstas activen el mismo tipo de emisor durante el mismo intervalo de tiempo, como se observa en la **Figura 22**, si bien este criterio involucra que el caudal de cada válvula pase junto por gran parte de la red, nos permite un mejor manejo del sistema, ya que se tienen turnos con áreas más localizadas y no tan dispersas como las del “Escenario 1”.

Se trabajó con la misma red de tuberías del “Escenario 1”. La diferencia está en los parámetros de operación del sistema, ya que se maneja otra agrupación de válvulas, Véase **Figura 22**.

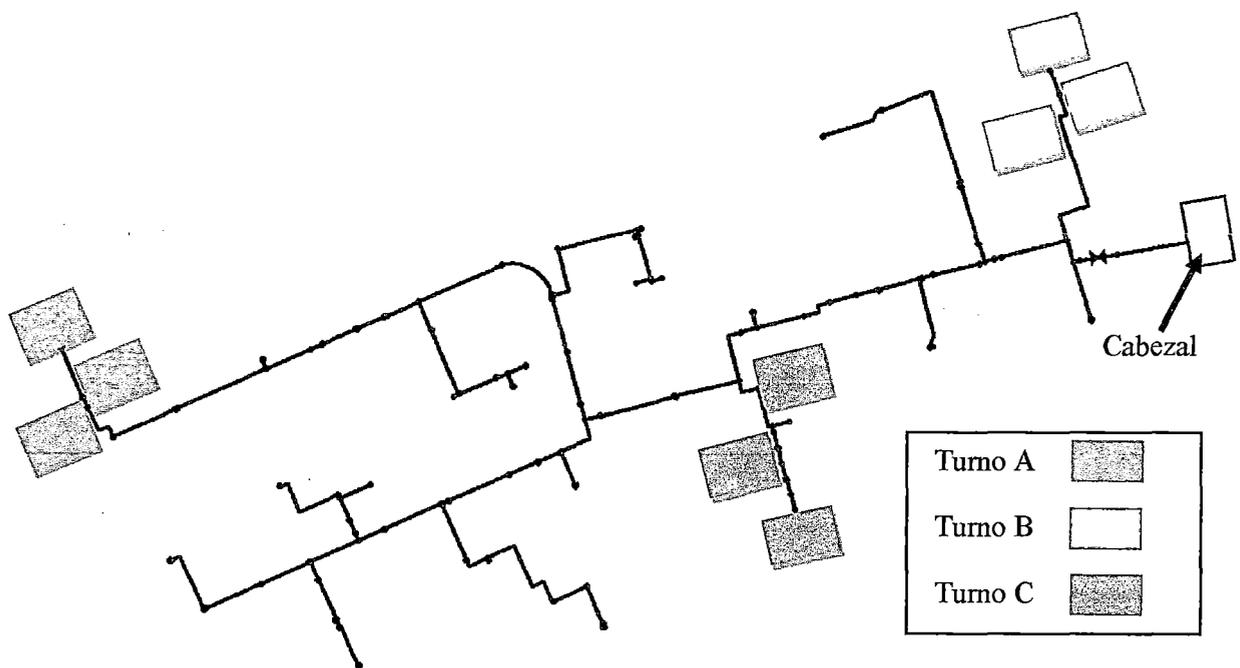


Figura 22. Distribución de Turnos del “Escenario 2”

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

c. Escenario 1 Optimizado

Las válvulas que conforman los turnos de este escenario estuvieron sujetas al mismo criterio de funcionamiento que del “Escenario 1”. Véase **Figura 21**.

La red de tuberías para este escenario fue el resultado del dimensionamiento óptimo del “Escenario 1” obtenido con el software GESTAR 2014 Versión Premium, para el cual intervinieron parámetros como el costo de amortización de tuberías y costo energético, además de las restricciones de velocidad (menor a 2.5 m/s y mayor a 0.5 m/s).

Posee los mismos parámetros de operación del “Escenario 1”, es decir misma distribución de turnos.

d. Escenario 2 Optimizado

Las válvulas que conforman los turnos de este escenario están sujetas al mismo criterio de funcionamiento que del “Escenario 2”. Véase **Figura 22**.

La red de tuberías para este escenario fue el resultado del dimensionamiento óptimo del “Escenario 2” obtenido con el software GESTAR 2014 Versión Premium, para el cual intervinieron parámetros como el costo de amortización de tuberías y costo energético, además de las restricciones de velocidad (menor a 2.5 m/s y mayor a 0.5 m/s).

Posee los mismos parámetros de operación del “Escenario 2”, es decir misma distribución de turnos.

4.3.4. Cálculos Hidráulicos en EPANET

Después de tener toda la distribución de la red de riego se procedió al cálculo hidráulico para la selección de las tuberías y garantizar los requerimientos de presión para todas las válvulas.

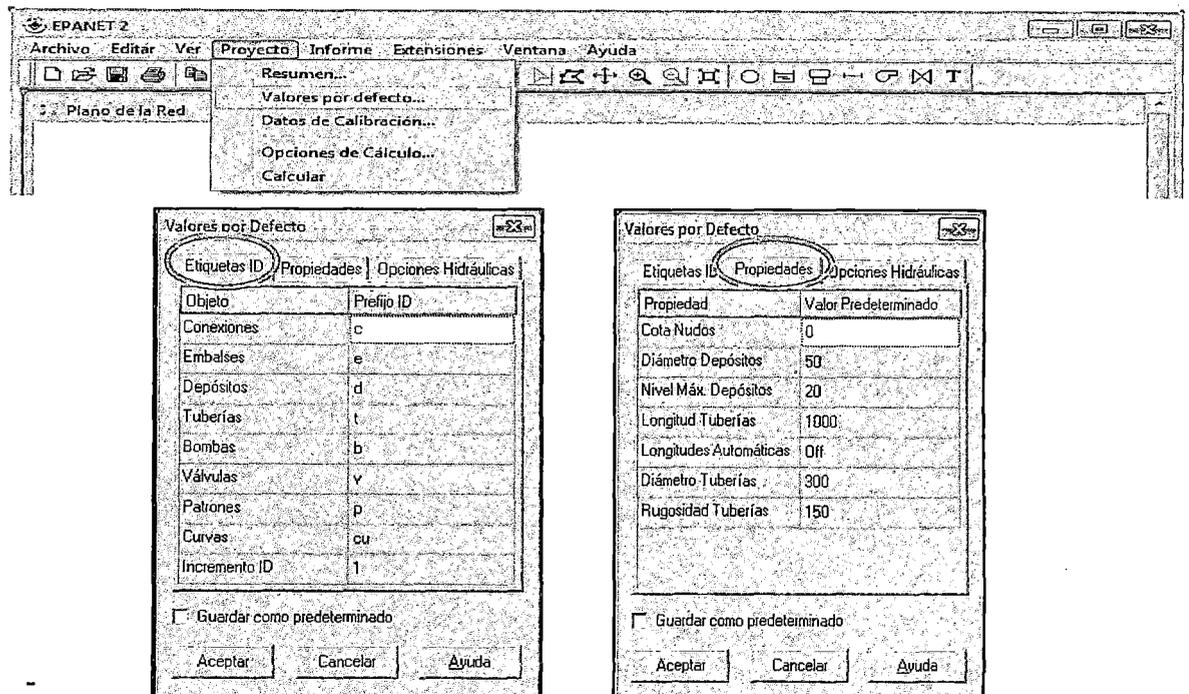
Como primer criterio de selección de tuberías se usó el de velocidades (menor a 2 m/s y mayor a 0.5 m/s) para la simulación en EPANET.

Todo el diseño y dibujo previo de las redes fue realizado en AUTOCAD, luego para realizar la simulación en EPANET se hizo el uso de un software de transición llamado EPACAD el cual permite que archivos guardados con la extensión .dxf del AutoCAD sean abiertos en Epacad para posteriormente guardarlos con la extensión .inp el cual puede ser leído por el Epanet con las mismas dimensiones dibujadas en el Autocad.

PASOS PARA UTILIZAR EPANET

Los pasos seguidos para modelar un sistema de distribución de agua con EPANET son los siguientes:

- Se dibujó un esquema de la red o importarla desde un fichero de texto o archivo inp.
- Se editó las propiedades de los elementos que configuran el sistema usando el editor de propiedades.



- Se describió el modo de operación del sistema (arranque o parada de bombas, abertura o cierre de válvulas, etc.) mediante leyes de control, si es que las hubiera.
- Se seleccionó las opciones de cálculo (ecuaciones de cálculo de pérdidas de energía, sistema de unidades).

Importante asignar unidades del caudal antes de asignar demandas en nodos:

LPS → l/s

Asignar la ecuación de pérdidas de carga antes de realizar la simulación:

H-W → Hazen y Williams

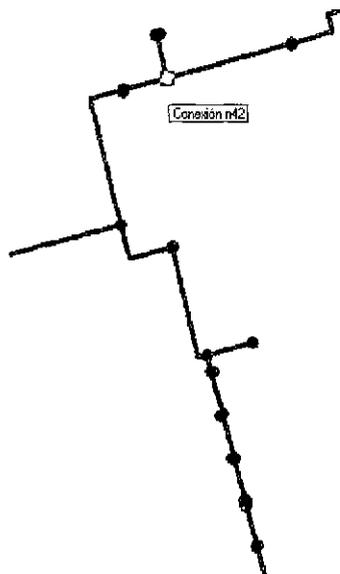
Valores por Defecto

Etiquetas ID	Propiedades	Opciones Hidráulicas
Unidades de Caudal:	Valor Predeterminado	LPS
Ecuación de Pérdidas:	H-W	
Peso Específico:	1	
Viscosidad Relativa:	1	
Iteraciones Máx.:	40	
Precisión:	0.001	
Sistema no equilibrado:	Continuar	
Patrón predeterminado:	p1	
Factor de Demanda:	1.0	

Guardar como predeterminado

Una vez abierta la red (principal) dentro del Epanet se procedió a introducir los siguientes datos:

- **En nodos:** demandas, cotas, patrones de turno.



Propiedad	Valor
*ID Conexión	n42
Coordenada-X	291386.57
Coordenada-Y	8663685.07
Descripción:	
Etiqueta	
*Cota	239.5
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

- **En tuberías:** Rugosidad (para tuberías $c = 150$), no es necesario colocar la longitud ya que la importación se hizo con las dimensiones reales del AutoCAD.

The image shows a network of pipes with a specific pipe highlighted and labeled 'Tubería p38'. To its right is a table of its properties:

Propiedad	Valor
*ID Tubería	p38
*Nudo Inicial	n41
*Nudo Final	n42
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	51.67
*Diámetro	144.6
*Rugosidad	150
Coef. de Pérdidas	0
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible

- **Patrones de turnos:** es la asignación del tiempo de apertura del nodo o grupos de nodos (con demandas) pertenecientes a un turno.

Previamente se determinó el tamaño de cada intervalo del patrón, para esto se debe escoger uno que sea divisor común de los diferentes turnos, en este caso hablamos de intervalos de 0.125 hr (7.5 min) para turnos de 7.5, 15, 30, 60 y 120 min.

Duración total de toda la Simulación

Propiedad	Hrs:Min
Duración Total	18.5
Intervalo Cálculo Hidráulico	0.125
Intervalo Cálculo Calidad	0.125
Intervalo Patrones	0.125
Tiempo Inicio Patrón	0:00
Intervalo Informe	0.125
Tiempo Inicio Informe	0:00
Tiempo Inicio Reloj	12 ani
Estadística	Ninguno

The image shows the 'Visor' software interface. It has two tabs: 'Datos' and 'Plano'. Under the 'Plano' tab, there is a list of options: 'Hidráulica', 'Calidad', 'Reacciones', 'Tiempo', and 'Energía'. The 'Tiempo' option is currently selected and highlighted.

- Se crea patrones para cada turno.
- Se rellena con 0 los intervalos en los que el turno estará cerrado
- Se rellena con 1 los intervalos en los que el turno estará abierto.



ID del Patrón.

Editor de Patrones

ID Patrón	Descripción
p7	Turno7

Periodo	23	24	25	26	27	28	29	30
Ceficiente	0	0	1	1	1	1	0	0

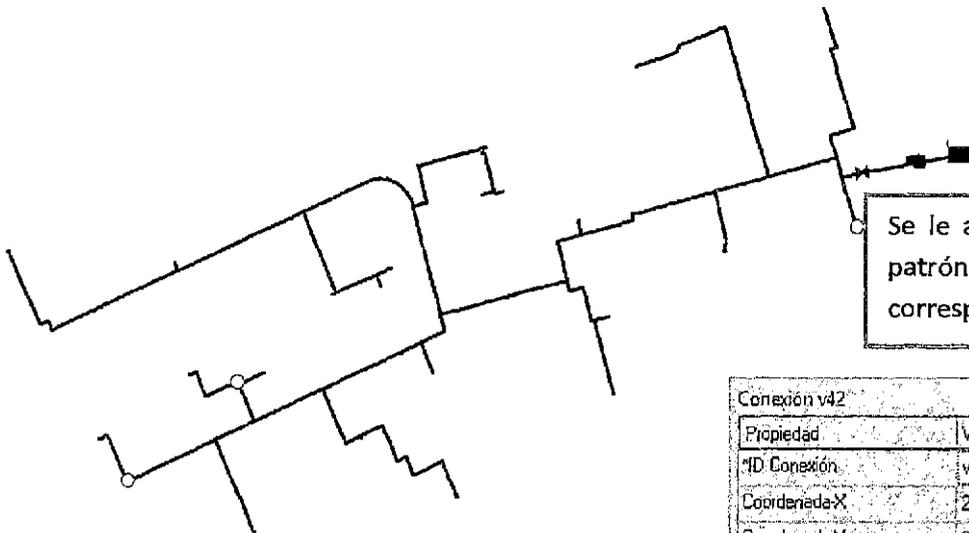
Valor Medio = 0.00

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Tiempo (1 Intervalo = 0.125 hrs)

Cargar... Guardar... Aceptar Cancelar Ayuda

Ejemplo, el turno 7 se abrirá desde la 3 hora hasta la 3:30 horas (30 min), correspondiéndole la apertura de los intervalos 25, 26, 27 y 28



Se le asigna el ID del patrón a las válvulas correspondientes.

En el turno 7 se abren las válvulas 7, 42 y 54.

Conexión v42

Propiedad	Valor
ID Conexión	v42
Coordenada-X	290945.55
Coordenada-Y	966307.52
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	235.75
Demanda Base	5.88
Patrón de Demanda	p7
Categoría de Demanda	1

- **Curva de Bomba:** se creó la curva de la bomba con el caudal máximo requerido y con una CDT que permita cubrir con las necesidades de presión en todos los nodos.

Editor de Curva

ID Curva: **b1**

Descripción: Bomba Hidrosta!

Tipo de Curva: BOMBA

Caudal	Altura
0	95.5
2	95
4	94.5
6	94
8	93.5
10	93

Altura (ft) vs. Caudal (LFS) graph showing a downward-sloping curve.

Botones: Cargar..., Guardar..., Aceptar, Cancelar, Ayuda

ID de la Curva de la bomba Q vs H.

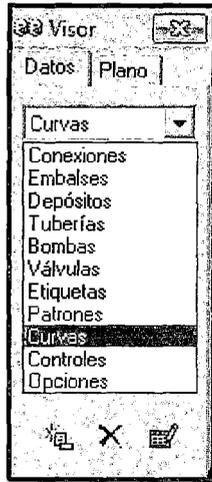
Se insertó los puntos de la curva características del catálogo de la bomba a usar. **Tener en cuenta, como requisito para modelar curvas(Q vs H) en EPANET, que a medida que el caudal aumenta la altura necesariamente debe disminuir.**

Bomba b1

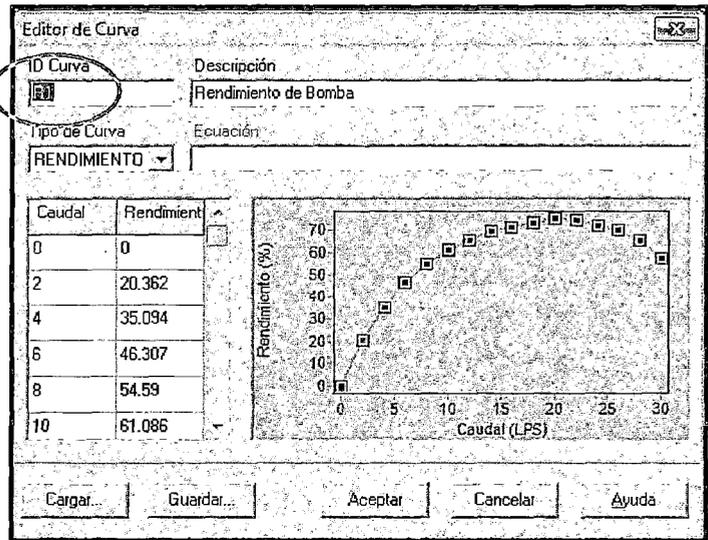
Propiedad	Valor
*ID_Bomba	b1
*Nudo Inicial	e1
*Nudo Final	c1
Descripción	
Etiqueta	
Curva Característica	C1
Potencia	
Velocidad Relativa	
Patrón	PW
Estado Inicial	Abierto
Curva de Rend.	R1
Precio Energía	
Patrón de Precios	

Se le asigna el ID de la curva a la Bomba correspondiente.

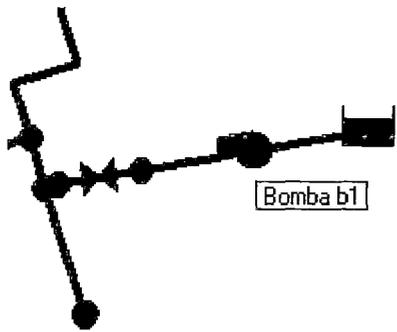
- **Curva de Rendimiento:** se creó la curva de rendimiento de la bomba con los datos de Caudal vs Rendimiento (%) suministrados en el catálogo correspondiente al caudal de la curva (Q vs H).



ID de la Curva de Rendimiento de la bomba Q vs R.



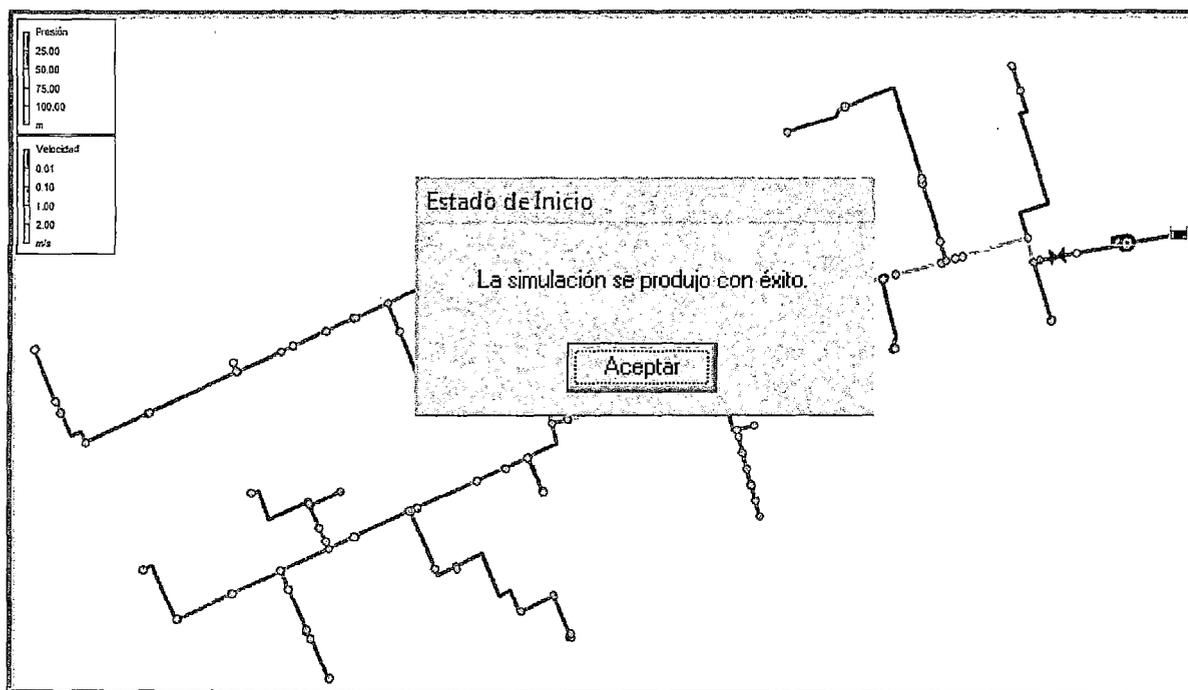
Se insertó los puntos de la curva de rendimiento características del catálogo de la bomba a usar.



Se le asigna el ID de la curva de Rendimiento de la Bomba correspondiente

Propiedad	Valor
*ID Bomba	b1
*Nudo Inicial	e1
*Nudo Final	c1
Descripción	
Etiqueta	
Curva Característica	C1
Potencia	
Velocidad Relativa	
Patrón	PVY
Estado Inicial	Abierto
Curva de Rend.	R1
Precio Energía	
Patrón de Precios	

Se corrió el programa para determinar si el sistema cumple con los requerimientos establecidos.



Por último se realizó distintos escenarios de simulación en función de las diferentes formas de operación del sistema, es decir para diferentes agrupamientos de válvulas y poder determinar la operación más conveniente para el sistema.

4.3.5. Comparación de los cálculos hidráulicos de Excel con EPANET

a. Cálculos Hidráulicos en Excel

Se determinó los requerimientos de presión a nivel de cada una de las válvulas las cuales estan agrupadas en sus respectivos turnos.

Los parámetros que intervinieron para la determinación de los requerimientos de presión fueron:

- **Pérdida de carga en la Matriz:** Esta es la pérdida de carga por fricción que se calculará a nivel de cada válvula, para cada uno de los turnos, este parámetro se determinó con mayor facilidad en EPANET con la simulación de la red con todos los nodos con cota cero.
- **Pérdida Topográfica:** es la diferencia entre la cota de cada una de las válvulas y la cota del borde del Reservorio. Si es negativo “-” la pendiente está a favor, si es “+” la pendiente está en contra.
- **Pérdida por Singularidades:** es la pérdida producida en los accesorios, para tomar en cuenta estas pérdidas se consideró este valor como un 10% de la pérdida de carga en la Matriz.
- **Pérdidas Carga en el Cabezal:** es la pérdida ocurrida por el paso del flujo a través del cabezal, accesorios, válvulas, filtros, ferti-irrigacion, etc. En este caso se consideró una pérdida estándar de 10m de carga.
- **Presión de Consigna:** Es la presión que debe llegar a cada una de las válvulas, involucra presión de trabajo del emisor, pérdida de carga en el arco de riego, y pérdida máxima permisible dentro de la sub unidad.

Cuadro 7. Presión de Consigna según emisores

	P. Trabajo (m)	Hf Arco de Riego (m)	ΔH max. en Sub unidad 10% P.T.(m)	P. Consigna
Rotor de 1/2" y 3/4"	30	2,5	3	35,5
Difusores	21	2,5	2,1	25,6
Rotores de 1"	45	2,5	4,5	52
Rotores de 1"	45	2,5	4,5	52
Acople con aspersor	21	2,5	2,1	25,6
Goteo	15	2,5	1,5	19

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

- **Profundidad de Reservorio:** Este es el valor de profundidad del reservorio y la altura de la turbina vertical de la Bomba, la cual deberá ser compensada para que pueda trabajar. El valor asignado para este parámetro es de 4m.
- **Margen de Seguridad:** Es un factor de seguridad para evitar posibles faltas de presión en el sistema. Para este valor se le asignó el 10% de la pérdida de Carga de la Matriz, del Cabezal, de las Singularidades y de la Presión de Consigna

b. Determinación de los Requerimientos de Presión

1) Se calculó los requerimientos o parámetros mencionados anteriormente para cada una de las válvulas. Como se muestra en la **Figura 23**

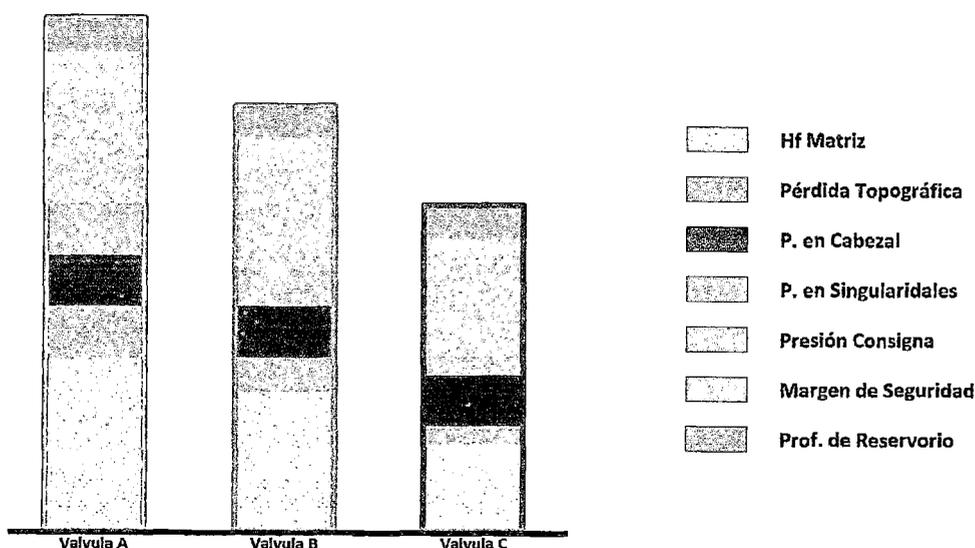


Figura 23. Parámetros que intervienen en los Requerimientos de Presión

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

2) Después de calcular los requerimientos de presión para cada válvula se determinó la CDT (Carga Dinámica Total) del turno, que es igual al requerimiento máximo hallado.

La CDT hallada para el turno es la carga que es impuesta a cada una de las válvulas que conforman ese turno. Como se observa en la **Figura 24**.

Teniendo los requerimientos de CDT y caudal para el turno se determinó la RPM necesaria a la que debe girar la bomba para que satisfaga ambos requerimientos. El procedimiento para determinar el RPM requerido se explicará más adelante.

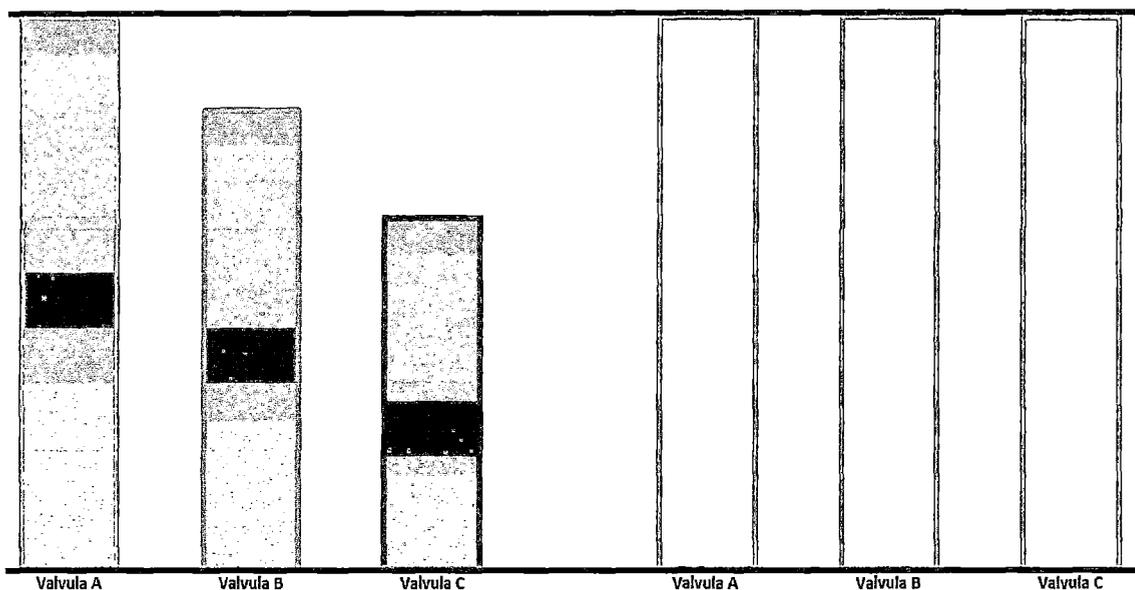


Figura 24. CDT impuesta a las válvulas que conforman el Turno

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

3) Posteriormente se hizo la simulación hidráulica en EPANET en donde la CDT impuesta a cada turno puede ser simulada a través del RPM necesario.

Los parámetros que pueden ser simulados en EPANET son: la pérdida de carga en la Matriz, la pérdida topográfica con la asignación de cotas a todos los nodos, la pérdida de carga en el Cabezal con el uso de una válvula de Rotura de Carga, y la profundidad de reservorio disminuyendo en 4m la cota del cabezal. Los parámetros mencionados son descontados de la CDT impuesta a cada una de las válvulas, véase **Figura 25**, el resultado es igual a la presión que llega a cada válvula después de hacer la simulación en EPANET, el cual fue comparado con los resultados obtenidos en Excel.

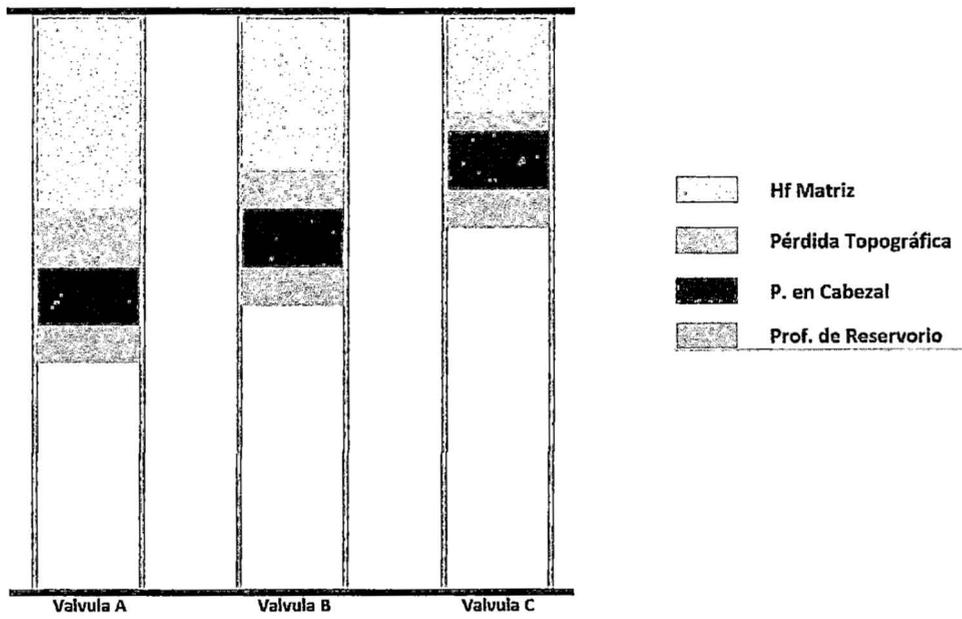


Figura 25. Parámetros Simulados en EPANET

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

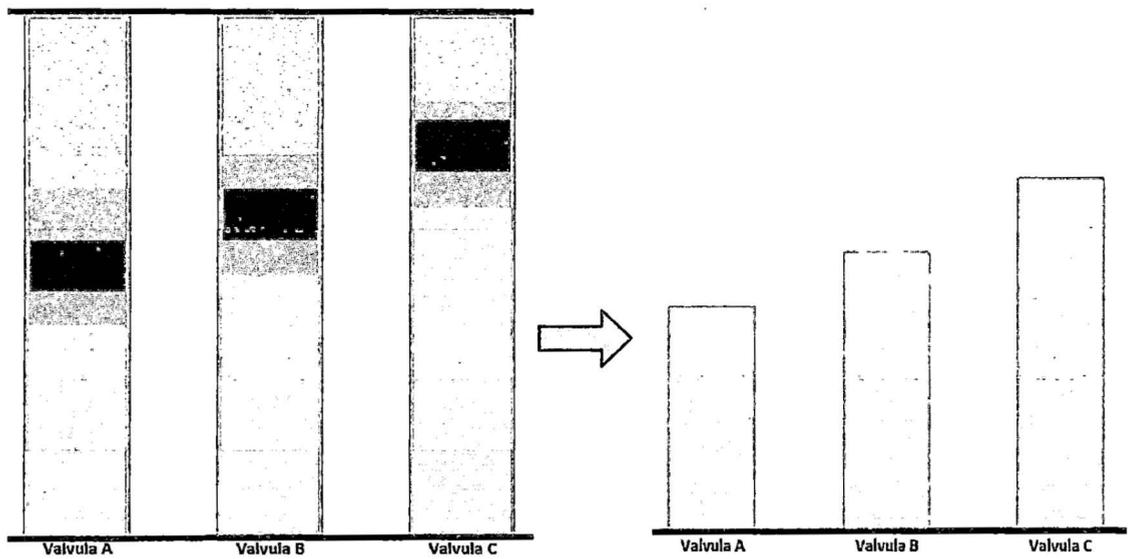
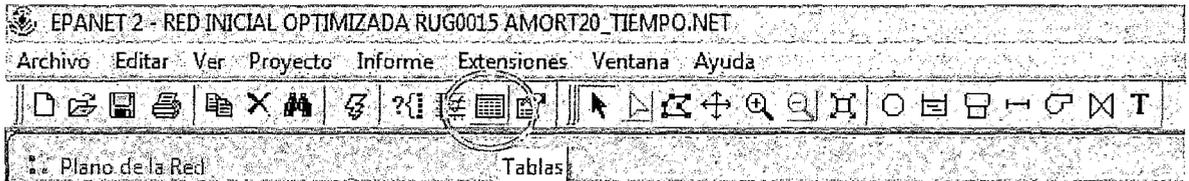


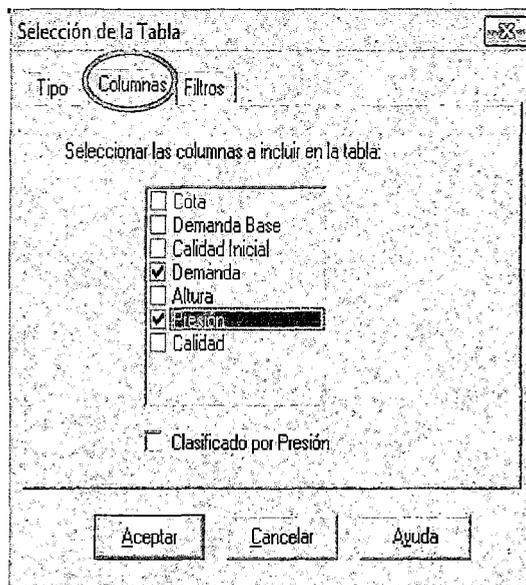
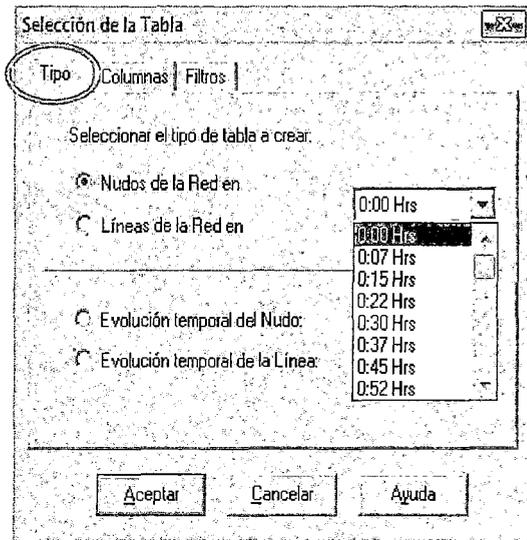
Figura 26. Presión de llegada a cada válvula en EPANET

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Para poder ver en EPANET las presiones de llegada a cada una de las válvulas los pasos fueron:



1. Se seleccionó el icono de tablas de la barra de EPANET,
2. Se escogió el tiempo que corresponda al turno de las válvulas a analizar,



3. Se seleccionó los datos que se desean ver en el cuadro final. Para este caso demanda (caudal) y presión.



4. Para que en el cuadro final solo aparezcan las válvulas del turno se colocó el siguiente filtro:

Demanda – Mayor que – 0

5. Se añadió dicho filtro y se aceptó

Figura 26. Tabla Final con los datos requeridos de cada válvula

ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Conexión V9	7.04	54.00
Conexión V1	6.49	45.20
Conexión V45	4.53	60.58

3 items con Demanda Mayor que 0

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se muestra el proceso seguido para la comparación entre los resultados de EXCEL y EPANET

COTA DE RESERVORIO		CALCULOS HIDRAULICOS												
TURNOS	N° VALVULA	Cota de Valvula	Desnivel Topografico	ΔH en Matriz	Perdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH max. en Sub unidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservoirio	CDT	CAUDAL (L/S)	
			B	C	D	Presion Consigna			E					
I	1	233,40	-8,85	24,76	2,48	10	30	2,5	3	7,27	4	75,16	6,49	
	9	234,40	-7,85	14,95	1,50	10	30	2,5	3	6,19	4	64,29	7,04	
	45	238,00	-4,25	4,78	0,48	10	30	2,5	3	5,08	4	55,58	4,53	
												75,16	18,06	

A - (B+C+D+E)

Presion en c/valv. en Excel
45,25
54,06
60,63

A

Resultado obtenido en EPANET

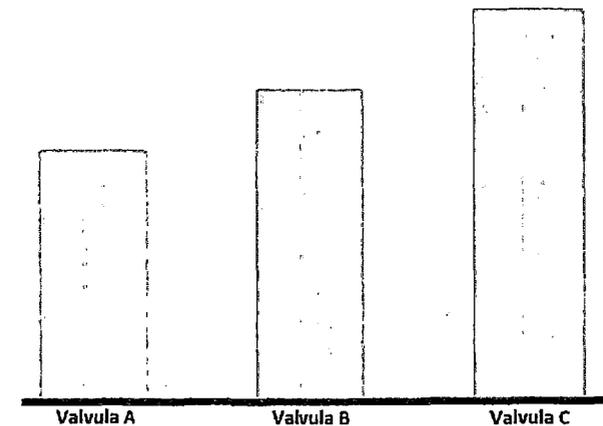
ID Nudo	Demanda LPS	Presión m
Conexión V9	7,04	54,00
Conexión V1	6,49	45,20
Conexión V45	4,53	60,58

3 items con Demanda Mayor que 0

Resultado obtenido en EXCEL

Presion en c/valv. en Excel
45,25
54,06
60,63

Resultado GRAFICO



4.3.6. Metodología para simular con Variadores de Velocidad en Epanet

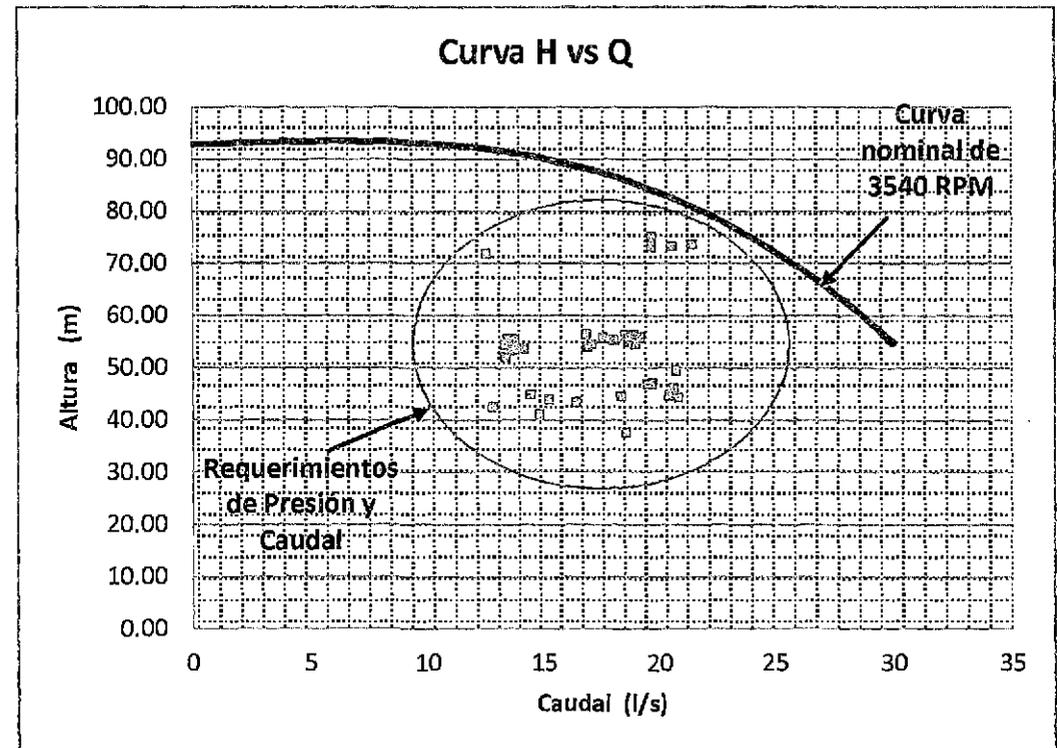
Para simular el funcionamiento del sistema de riego en EPANET fue necesario determinar el requerimiento de caudal y presión para cada uno de los turnos de los escenarios planteados para luego escoger la bomba con cuyas curvas características se harán las simulaciones. Para la determinación de la Bomba se escogió la curva que satisfaga el máximo requerimiento de presión y máximo requerimiento de caudal del sistema, de manera que la curva satisfaga todos los demás requerimientos. La curva encontrada funciona a unas revoluciones por minuto determinada, la cual es denominada RPM nominal.

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
-------	--------------	---------

I	18,06	55,18
II	17,58	55,71
III	17,12	54,38
IV	16,87	56,29
V	18,67	54,89
VI	18,56	56,10
VII	16,94	53,99
VIII	18,67	55,66
IX	18,93	56,20
X	18,67	55,68
XI	18,99	54,37
XII	19,19	55,72
XIII	13,35	51,95
XIV	13,76	55,30
XV	14,19	53,55
XVI	13,88	53,79
XVII	13,42	54,58
XVIII	13,74	53,72
XIX	13,57	55,49
XX	13,42	55,37
XXI	13,35	54,31
XXII	13,67	53,21

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
-------	--------------	---------

XXIII	20,59	73,20
XXIV	19,7	73,03
XXV	19,7	73,56
XXVI	21,48	73,54
XXVII	19,7	75,05
XXVIII	19,7	73,08
XXIX	12,53	71,77
XXX	12,53	71,68
XXXI	19,5	46,86
XXXII	18,38	44,42
XXXIII	20,46	44,58
XXXIV	20,76	49,40
XXXV	20,65	46,13
XXXVI	20,87	44,30
XXXVII	19,72	46,94
XXXVIII	20,62	45,94
XXXIX	16,45	43,34
XL	15,25	43,89
XLI	14,84	41,07
XLII	14,49	44,79
XLIII	12,8	42,33
XLIV	18,6	37,49
MAX	21,48	75,05
MIN	12,53	37,49



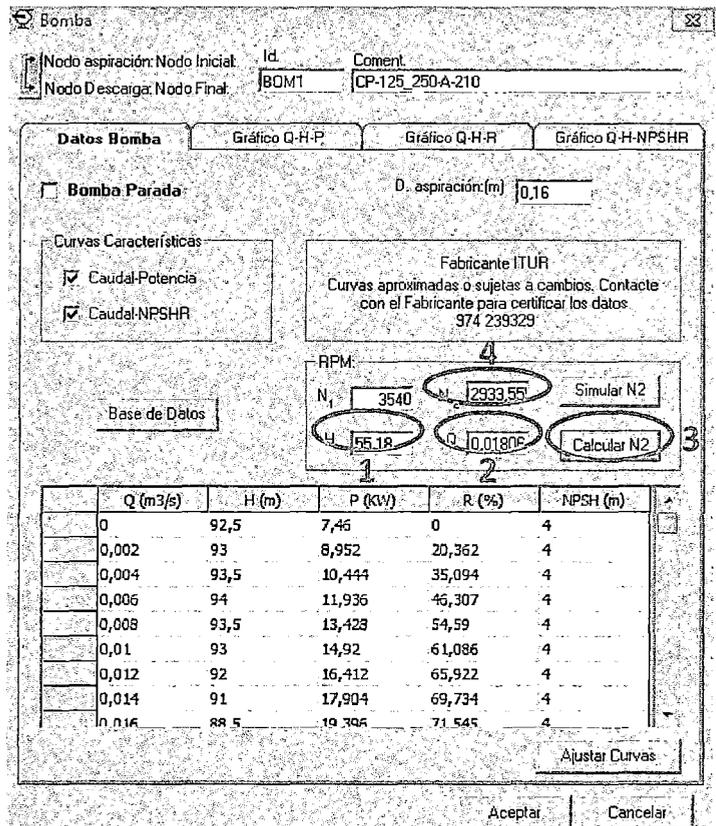
Luego de escoger la curva característica de la bomba se determinó las distintas RPM a las que debe girar la bomba para que satisfagan sus respectivos requerimientos de presión y caudal, de esta manera se procedió a calcular el porcentaje que representa el nuevo giro hallado respecto al nominal. (Manual de Usuario GESTAR 2014).

Por ejemplo, se desea determinar las RPM a las que debe girar la bomba para satisfacer los siguientes requerimientos:

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
I	18,06	55,18

Dentro de la herramienta “bombas” de gestar se procede a realizar los siguientes pasos:

1. Introducir la Altura en m.
2. Introducir el Caudal en m3/s.
3. Clic en la opción Calcular N2.
4. Se muestra el resultado.



Se procede a determinar el porcentaje que representa el giro respecto al nominal.

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)	RPM requerido (N2)	Porcentaje respecto al RPM nominal % (N2/Nn)
I	18,06	55,18	2933,56	82,87%

Una vez hallado el porcentaje respecto al nominal, de todos los requerimientos del sistema, se procedió a insertar los datos dentro de EPANET.

Se insertó en la siguiente ventana los porcentajes de cada uno de los turnos, teniendo en cuenta el tamaño de cada uno de los intervalos y la duración de cada turno, p.e. en este

caso el tamaño del intervalo es de 7.5 min y el turno 1 debe estar abierto durante 30 min, por lo que se deberá rellenar las primera cuatro casillas con los valores correspondientes. De esta manera se rellenaron los coeficientes para todos los turnos.

Editor de Patrones

ID Patrón	Descripción
PVV	Patron Velocidad Variable Real

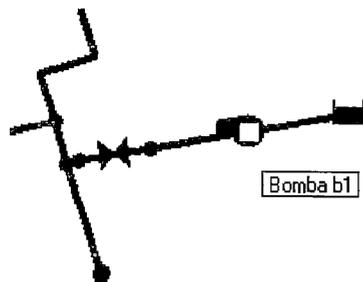
Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Coefficiente	0.828688	0.828688	0.828688	0.828688	0.828233	0.828233	0.828233	0.8

Valor Medio = 0.81

Tiempo (1 Intervalo = 0.125 hrs)

Se inserta el ID del patrón dentro de la bomba en la ventana correspondiente.

Se inserta el ID del patrón dentro de la bomba en la ventana correspondiente.



Se le asigna el ID del Patrón.

Bomba.b1

Propiedad	Valor
*ID Bomba	b1
*Nudo Inicial	e1
*Nudo Final	c1
Descripción	
Etiqueta	
Curva Característica	C1
Potencia	
Velocidad Relativa	
Patrón	PVV
Estado Inicial	Abierto
Curva de Rend.	R1
Precio Energía	
Patrón de Precios	
Caudal	No Disponible
Altura Mahométrica	No Disponible

4.3.7. Selección Técnico-económico de Tuberías

Como criterio de selección de tuberías se consideró aspectos técnicos y económicos además de cumplir con los requerimientos de presión. Para esto se utilizó el software de optimización GESTAR 2014 versión PREMIUM.

Dimensionamiento con Software GESTAR

a. Caudal de Diseño:

Como paso previo al dimensionamiento se requirió del ingreso del caudal de cada uno de los nodos que representan válvulas a través de **nodos de consumo conocido**, representado por el siguiente  icono, y la agrupación en los turnos correspondientes para determinar el caudal de diseño de cada turno.

El caudal de diseño de cada conducción se asocia al máximo caudal circulante que se puede esperar a lo largo de la campaña de riego, caudal que ocurrirá lógicamente en el periodo de máximas necesidades hídricas. En el caso de sistemas operando a turnos, donde puede dimensionarse cada turno por separado y combinar óptimamente, el caudal de diseño de una tubería del turno corresponde a la suma de las dotaciones de los “nodos de consumo” conocido asignados al turno, ubicados aguas abajo de la tubería en cuestión. (GESTAR 2014).

b. Dimensionado con Altura Piezométrica Conocida en Cabecera

El proceso comenzó dimensionado la serie más desfavorable, identificada como aquella en que la pendiente hidráulica disponible es mínima, y reproduciendo el proceso a partir de cada bifurcación de la serie ya dimensionada, donde la altura piezométrica ya calculada en el paso previo, será el valor inicial para las nueva series. (GESTAR 2014).

La serie de tuberías a dimensionar en cada paso transcurre entre un nodo de alimentación llamado “0”, cuya altura piezométrica es “ H_0 ”, y un nodo extremo aguas abajo “k”, siendo “ S_k ” el conjunto de líneas del trayecto (ver Figura 27).

En el problema de dimensionado económico de la serie de líneas se define una única restricción de presión mínima en el nodo extremo “k”, expresada como

$$\sum_{j \in S_k} h_{f,j} \leq h_{f,adm} = H_0 - H_{min,k}$$

donde “ $h_{f,j}$ ” es la pérdida de carga en la línea “ j ” de la serie y “ $h_{f,adm}$ ” representa la pérdida de carga admisible en toda la serie, siendo igual a la diferencia entre la altura piezométrica en cabecera (“ H_0 ”, conocida) y la altura piezométrica mínima que desea conseguir en el nodo extremo de la serie (“ $H_{min,k}$ ”, también conocida).

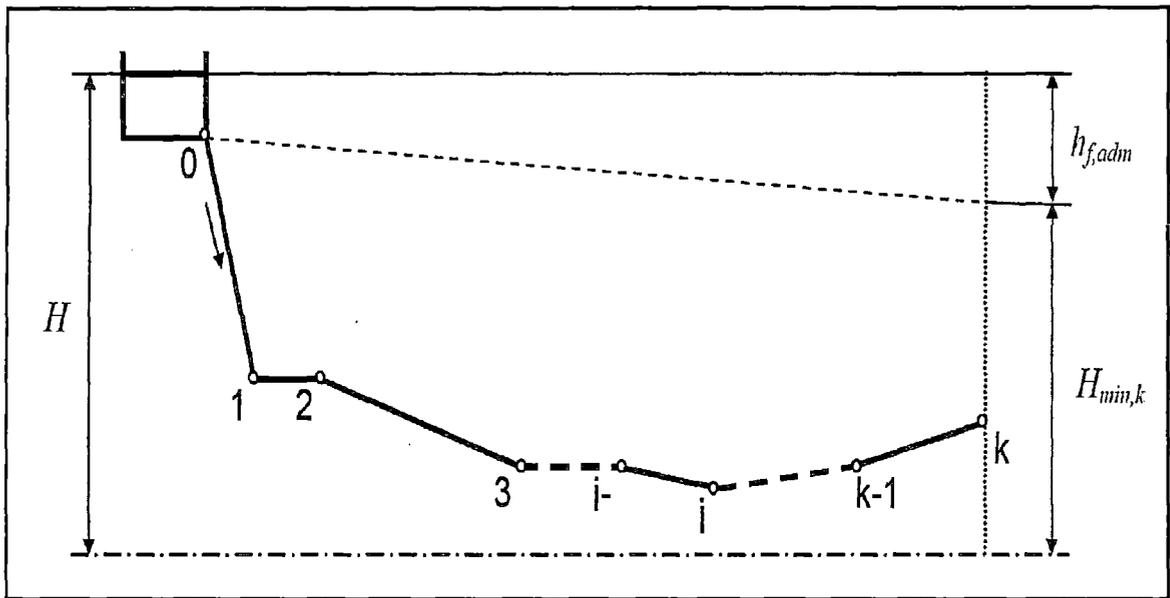


Figura 27. Serie de líneas con altura piezométrica conocida en cabecera

FUENTE: Dimensionado y análisis de redes a presión. Gestar (2014)

En el caso de que la serie contuviera alguna línea ya existente (es decir, con su diámetro determinado a priori) su pérdida de carga sería conocida y se descontaría del segundo miembro de la igualdad.

En términos generales, la pérdida de carga en la línea “ j ” se puede expresar como:

$$h_{f,j} = M_j L_j q_j^{m_j} D_j^{-r_j}$$

Donde: “ L_j ” es la longitud de la línea “ j ”, “ D_j ” su diámetro, “ q_j ” el caudal circulante y “ M_j ” un factor que depende, al igual que los exponentes “ m_j ” y “ r_j ”, de la formulación de pérdidas que se utilice

c. Dimensionado con Altura Piezométrica en Cabecera Desconocida

En el diseño de las redes colectivas de distribución alimentadas con bombeo directo, la altura piezométrica de cabecera no es conocida “a priori”, ni siquiera para el Caudal de Diseño; siendo una variable incógnita que se debe encontrar en el proceso de diseño. Los procedimientos de optimización la determinaron minimizando el coste total anual del sistema, entendido dicho total como la suma del coste de amortización de la inversión y el coste de explotación, es decir el coste energético. En este proceso, al aumentar la altura disponible en cabecera, H_d , para el caudal de diseño Q_d , existe una relación inversa entre el coste energético (creciente) y el coste de las conducciones de la red (decreciente), como se ilustra en la **Figura 28**. (Manual de Usuario GESTAR 2014).

El óptimo aparece en el punto donde se igualan, en valor absoluto, las pendientes de ambas curvas (**Figura 28**).

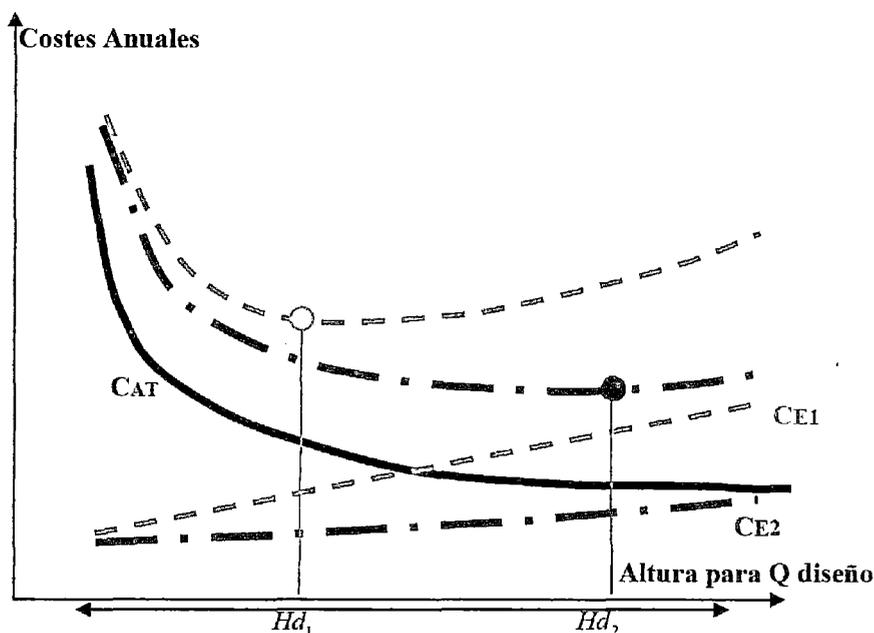


Figura 28. Curva de coste anual total del sistema

FUENTE: Dimensionado y análisis de redes a presión. Gestar (2014)

Figura 28. Curva del coste anual total del sistema en función de la altura piezométrica disponible en cabecera, H_d , suma de los costes de amortización anual de las tuberías instaladas (CAT) y el coste de la energía (CE) necesaria al año.

- **Coste total sistema anual:** $CT_{\text{sistema}} = C_{\text{amortización tuberías}} + C_{\text{energético}}$
- **Coste energético anual:** $C_{\text{energía}} = \text{Coste energía} + \text{Coste potencia contratada}$

En el conjunto del coste energético, el término de energía (producto de la energía consumida (kWh) por el precio medio (s./kwh)) es el de mayor peso en las facturas eléctricas anuales según el sistema de tarifa vigente.

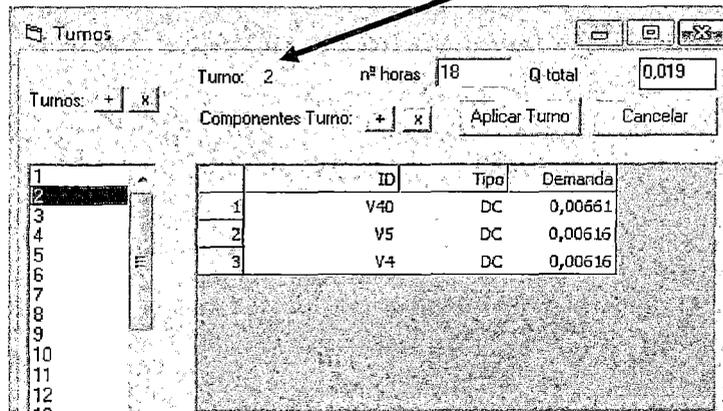
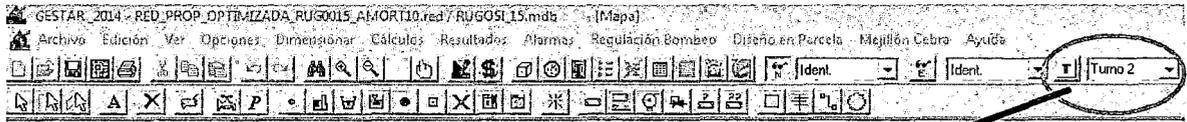
Como sugiere la **Figura 28**, para una misma curva de coste de amortización de las tuberías (CAT) en función de la altura nominal disponible en cabecera (H_d), las distintas evaluaciones que se puedan realizar de los costes energéticos anuales (CE1, CE2) en función de diferentes metodologías o tarifas aplicadas, conducen a distintos “diseños óptimos” (H_{d1} , H_{d2}). Por tanto la cuantificación realista de los costes energéticos es de interés desde las primeras etapas del proyecto.

El cómputo de la energía consumida en un periodo T se evaluó en general, integrando la potencia instantánea consumida “P” en la estación de bombeo a lo largo del tiempo.

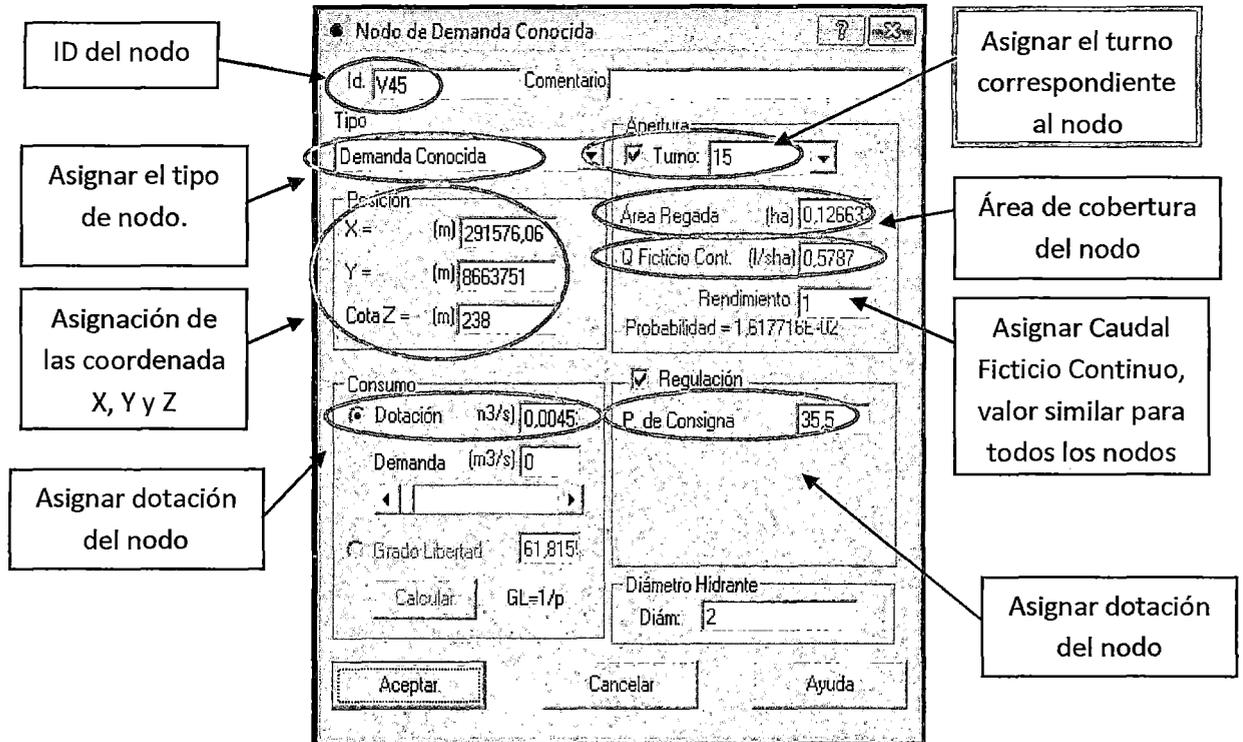
4.3.8. Metodología del dimensionado de redes con funcionamiento a turno

- A) Los turnos se prefijaron antes del proceso de dimensionado, con los criterios y metodologías que mejor se ajustan al sistema a diseñar. Los turnos o agrupaciones de hidrantes que van a regar al mismo tiempo fueron fijados por diferentes criterios, por cota homogénea en el caso de existir impulsión, superficies homogéneas, caudales agrupados similares etc.; los diversos criterios usados para el agrupamiento de válvulas para el desarrollo del presente trabajo han sido explicadas anteriormente.

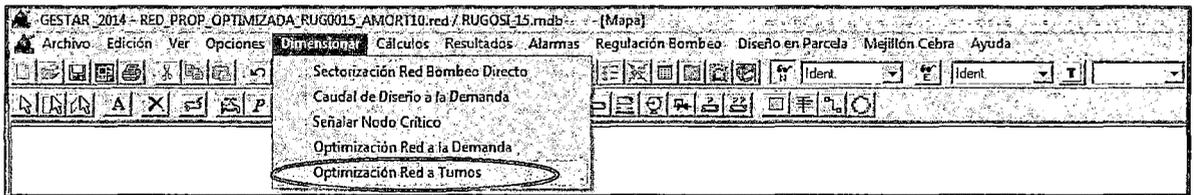
Creación de Turnos: Se procedió a crear los turnos de riego para el sistema, posteriormente se deberá asignar a cada válvula el turno correspondiente de apertura.



Asignación de datos a los nodos:



B) Una vez establecidos los turnos y los criterios de diseño tales como de velocidades mínimas y máximas, materiales a emplear y margen de seguridad en los timbrajes. La “Opción Optimización Red a Turnos” calculó el caudal de diseño de cada conducción en cada turno. Este simplemente, sumó las dotaciones aguas debajo de los hidrantes que pertenecen al turno a dimensionar.



C) Procedimiento a seguir para el dimensionado óptimo: fue el siguiente

PASO 1: REVISAR CAUDALES.

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 2: Revisar Caudales

	Turno	Q	Sup	T max
Asignar caudales	1	0,019	0,645	0,484
Datos Cabecera	2	0,019	0,614	0,566
Presiones Requeridas	3	0,019	0,514	0,380
Restricciones	4	0,020	0,607	0,460
Estación Bombeo	5	0,019	0,623	0,544
Tarifas Eléctricas	6	0,021	0,639	0,449
Parámetros Desfavorables	7	0,021	0,751	0,564
Materiales	8	0,022	0,635	0,428
Terminar	9	0,020	0,559	0,436
	10	0,020	0,553	0,423
	11	0,020	0,599	0,456
	12	0,020	0,643	0,528
	13	0,019	0,680	0,536
	14	0,020	0,535	0,417

Buttons: Cancelar, < Anterior, Siguiete >, Finalizar

- Q. fue el caudal que circula por el Elemento Tubería de Cabecera para ese turno de riego. Es resultante de la acumulación de Demandas de caudal de las válvulas de cada turno.
- Sup. Fue la sumatorio del Área Regada por los Hidrantes (ha) contenidos en el turno.
- T max. Fue la duración de apertura del hidrante (en horas).

PASO 2: DATOS DE CABECERA

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 3: Datos Cabecera

Asignar caudales
Datos Cabecera
Presiones Requeridas
Restricciones
Estación Bombeo
Tarifas Eléctricas
Parámetros Desfavorables
Materiales
Terminar

Datos Cabecera:

ID Nodo: Cota: m. Presión Regulada: m

Presión Regulada Altura Piezométrica: m
 Presión Desconocida

Pendientes:

Pendiente Nodo Crítico:
Pendientes Hid. Min (Bifurcaciones):

- **Presión Conocida.** Para el caso de redes sin Elemento Bomba en cabecera (alimentación por gravedad). GESTAR carga los valores definidos en el Nodo de cabecera referentes al Identificador, Cota, Presión Conocida y Altura Piezométrica.
- **Presión Desconocida.** Para el cálculo de redes con Elemento Bomba en cabecera. Los valores de Presión Conocida y Altura Piezométrica aparecerán como incógnitas.

Pendientes.

- **Pendiente Nodo Crítico.** De uso exclusivo para el caso de redes con bombeo directo. Para la estimación de la altura de cabecera en primera aproximación, el proceso de optimización utilizó una pendiente hidráulica fija para todos los Nodos de la red, de manera que el Nodo crítico es el que mayor altura necesita en cabecera, con dicha pendiente supuesta.
- **Pendiente Bifurcaciones.** En los Nodos con bifurcaciones existe un requerimiento de presión mínima que es correspondiente con la mayor presión necesaria para llegar a todos los Nodos extremos que se alimentan desde la bifurcación con la altura piezométrica requerida, tomando una pendiente hidráulica mínima 0,0015 m/m.

PASO 3: PRESIONES MÍNIMAS

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 4: Presiones Mínimas

Asignar caudales
Datos Cabecera
Presiones
Restricciones
Estación Bombeo
Tarifas Eléctricas
Parámetros Desfavorables
Materiales
Terminar

Presiones Requeridas:

P. Min común en todos los Hidrantes Pmin: m

P. Min común en todos los Nodos extremos

P. Min común en todos los Nodos

Presión de Consigna en los Hidrantes abiertos con Regulación activa

P. Min en Nodos sin Consumo

P. Min común en todos los Nodos sin Consumo

P. Min según Pendiente Hidráulica

P. Min en Nodos concretos

Nudo: Pmin m >> x

Cancelar < Anterior Siguiete > Finalizar

- **Presión de Consigna en los Hidrantes.** En este caso fue necesario que el usuario active la casilla referente a regulación en los Nodos de Consumo Conocido o Hidrante Regulador, detallando la presión de consigna para cada uno de los Nodos que desee sean considerados en el proceso de optimización. **(Esta opción deberá ser activada el desarrollo del presente trabajo)**

PASO 4: RESTRICCIONES

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 5: Restricciones

Asignar caudales
Datos Cabecera
Presiones Requeridas
Restricciones
Estación Bombeo
Tarifas Eléctricas
Parámetros Desfavorables
Materiales
Terminar

Velocidad

Velocidad Min (m/s) Velocidad Max (m/s)

Tuberías instaladas:

Definir Tuberías Instaladas

Datos Amortización:

Años Amortización Interés Amort. %

Cancelar < Anterior Siguiete > Finalizar

Velocidad.

- **Velocidad Mínima.** En esta casilla se precisó la velocidad mínima admisible, en m/s, de manera que sirva de alarma para indicar situaciones donde la pérdida de carga admisible (relacionada con la velocidad) es demasiado reducida.
- **Velocidad Máxima.** Se impuso la velocidad máxima permisible con el fin de que no existan problemas de erosión, cavitación y transitorios en las conducciones. Los costes globales de la red serán sensibles a este parámetro, reduciéndose conforme la velocidad máxima se incrementa. No obstante, deberá considerarse a su vez que el aumento de este valor repercutirá directamente en la fiabilidad de la instalación.

Datos Amortización.

- **Años Amortización.** En esta casilla se formuló el plazo de amortización de la inversión, esto es, los años de vida útil considerados para la instalación proyectada, según el criterio del usuario. En los casos con presión en cabecera desconocida, puede plantearse la disyuntiva de cuál es el plazo de amortización a rellenar, si bien el de las Tuberías o el de los equipos de bombeo.
- **Interés Amortización.** Del mismo modo, se fijó el tipo de interés de amortización esperado, expresado en forma de porcentaje.

PASO 5: ESTACIÓN DE BOMBEO

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 5: Estación Bombeo

Estación de Bombeo

Rend: % Cos: (°)

Volumen (m3)						
P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total
<input type="text" value="252267,7"/>						252267,7

Calcular Volumen:

Área Total (ha)

Caudal de Diseño (m3/s)

Dotación Anual Red m3/ha

Estación de Bombeo

- **Rend. %.** Se fijó en esta casilla el rendimiento ponderado de la estación de bombeo en porcentaje. (Por defecto se aplica un valor del 70%).
- **Cos (φ).** Desde esta casilla el usuario introdujo el valor del factor de potencia reactiva de la estación. El valor por defecto asignado desde el programa GESTAR es de 0,8997, que no supone ni recargo ni descuento.
- **Volumen (m3).** Se especificó el volumen estimado que se bombea anualmente en cada periodo tarifario, V_i , de manera que si el volumen anual a bombear es V :

- **Calcular Volumen.** Si se $V = \sum_{i=1}^{NP} V_i$ desconoce el volumen bombeado anualmente, "V", se permite que sea evaluado desde GESTAR, en función de la superficie total regada y a dotación anual en m3/ha. El volumen calculado se ubica en la franja P1.

• PASO 6: TARIFAS ELÉCTRICAS

La definición de esta ventana es necesaria únicamente en el dimensionado de redes con equipo de bombeo en cabecera.

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 7: Tarifas Eléctricas

Asignar caudales

Datos Cabecera

Presiones Requeridas

Restricciones

Estación Bombeo

Tarifas Eléctricas

Parámetros Desfavorables

Materiales

Terminar

Tarifa eléctrica:

Personalizada Tarifas Incremento Anual del Coste Energía %: 0

Precio Base del kWh: € 0,1561 Tipo Discriminación: Personalizada

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Recargo precio Kwh %	0	0	0	0	0	0

Precio Base Potencia Kw: 24,917 Tipo Discriminación: Personalizada
(€/KW mes y periodo)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Recargo precio Kw %	0	0	0	0	0	0
Reparto potencia %	100	100	100	100	100	100

Cancelar
< Anterior
Siguiete >
Finalizer

Precio Base del kWh y del kW en el periodo de referencia:

- **Precio Base del kwh (S./kwh):** Se especificó el valor del parámetro base P-kwh (precio del kwh en el periodo de referencia).
- **Precio Base de Potencia kW (€/kw mes):** Se especificó el precio base del Kw contratado en el periodo de referencia.

PASO 7: PARAMETROS DESFAVORABLES

Asistente para el proceso de optimización de redes: Paso 8: Previsiones Desfavorables

Asignar caudales

Datos Cabecera

Presiones Requeridas

Restricciones

Estación Bombeo

Tarifas Eléctricas

Parámetros Desfavorable

Materiales

Terminar

Pérdidas Singulares:

Longitud Equivalente Añadida Global % 10

Definir Longitud Equivalente por Tubería Definir

Rugosidad Forzada:

Rugosidad Forzada Global (mm) [Redacted]

Definir Rugosidad por Tubería Definir

Incremento Presión Estática para Timbraje

Incremento Global (m) 10

Definir Incremento por Tuberías Definir

Cancelar < Anterior Siguiete > Finalizar

Pérdidas singulares. Permite definir longitudes equivalentes para incorporar las pérdidas de carga singulares.

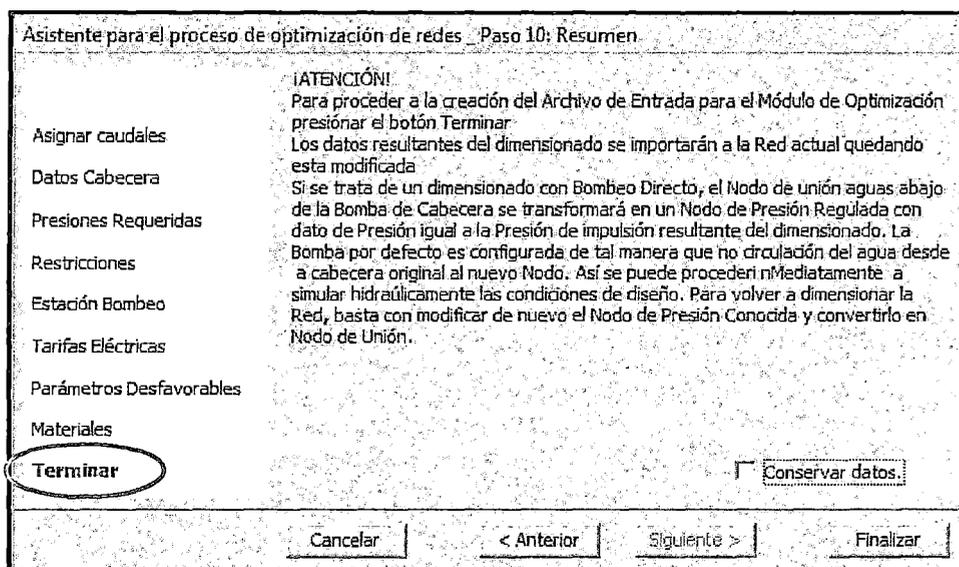
- **Longitud Equivalente Añadida Global**, o bien de manera global (como porcentaje a añadir a la longitud definida en cada tramo) una longitud equivalente, para incorporar la existencia de pérdidas singulares específicas.
- **Incremento de la Presión Estática para Timbraje.** El incremento de la presión estática para el Timbraje de las Tuberías se estableció de manera global y por tramos de Tubería, lo que permitió refinar y reducir eventualmente el coste de la red.

PASO 8: MATERIAL

GESTAR utilizó como base de datos de Materiales los que se encuentra asociada a la red.

- **Materiales Disponibles.** En la lista de selección aparecen todos los Materiales definidos desde la base de datos asociada a la red.
- **Materiales a Utilizar.** Se incluyó en esta lista los Materiales que solicita se tengan en cuenta en la optimización a partir de la lista de Materiales disponibles.
- **Rango de Diámetros Interiores.** En esta opción se restringió el tamaño de las Tuberías que se tendrán en cuenta en la optimización para cada uno de los Materiales.
- **Rango de Presiones de Trabajo.** Permite limitar la Base de Datos de Tubería que formarán parte de la optimización para el Material seleccionado desde el listado de Materiales a utilizar en función de la Presión de Trabajo que pueden soportar.

PASO 9: RESUMEN



- Conservar Datos. Escogiendo esta alternativa, los datos definidos durante el proceso de dimensionamiento quedarán guardados y accesibles para los posteriores dimensionados que el usuario realice a través del asistente de OPTIMIZACIÓN.

Posterior al llenado de los datos de entrada el programa realiza los siguientes pasos y procesos para obtener un dimensionado óptimo y de menor coste global, entendiendo como coste global como la sumatoria del costo de amortización de tuberías y el costo energético.

- D) El proceso comenzó dimensionado cada uno de los turnos, como redes de riego independientes, con un caudal de diseño del tramo en turno igual a las suma de las dotaciones instaladas aguas abajo, utilizando para ello el **Método de Dimensionado de la Serie Económica Mejorada** (Gonzalez y Aliod 2003).
- E) A continuación se selecciona el turno crítico, definido como el turno cuya senda crítica sea la de menor pendiente. La senda crítica de menor pendiente de todos los turnos, pasa a considerarse la senda prioritaria, véase **Figura29**. Para esta senda prioritaria, se toma como primera solución los resultados del dimensionado del turno crítico. El resto de conducciones se quedan sin asignar diámetros, entrando como incógnitas en las siguientes optimizaciones turno a turno.

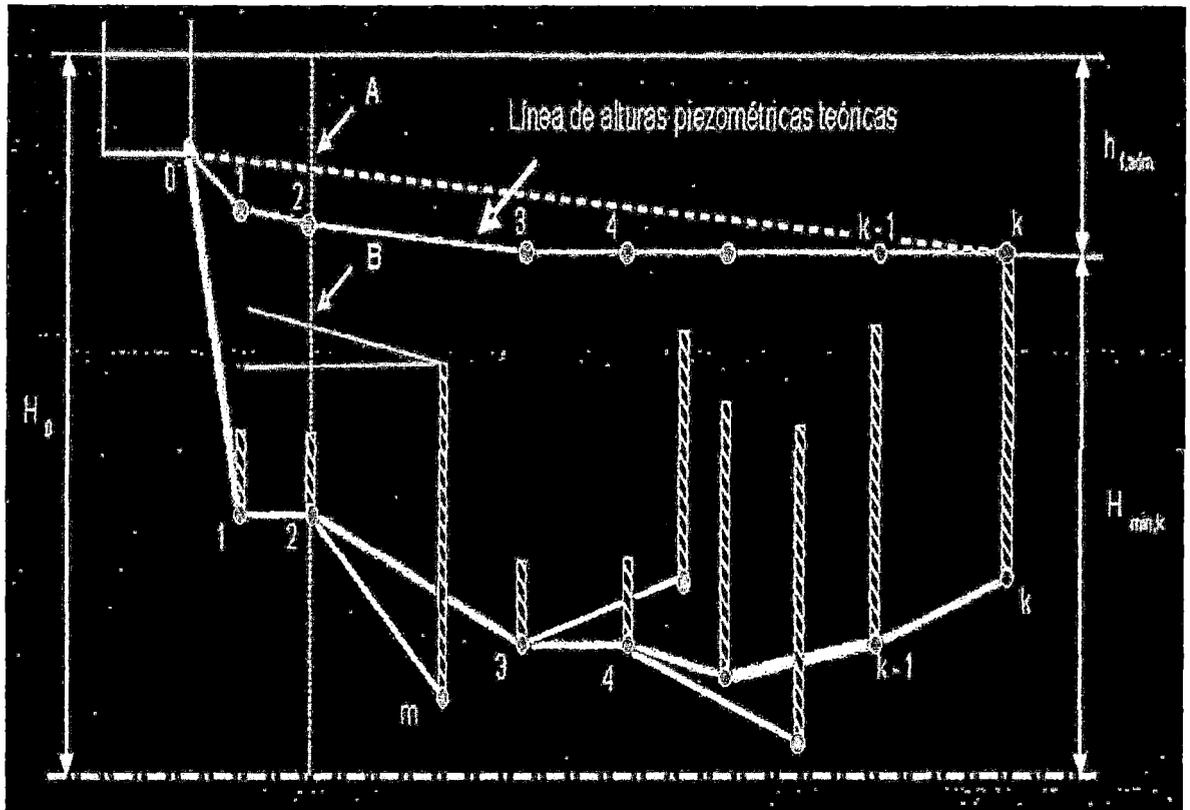


Figura 29. Selección y Dimensionamiento de la sonda crítica

FUENTE: Manual de Gestar 2014

- F)** Sucesivamente, se dimensionan de nuevo todos los tramos, forzando los diámetros de los tramos en común con el trayecto de la sonda prioritaria anterior, permitiendo así ajustar los diámetros, dado que los trayectos en común tendrán diámetros mayores que los necesarios para alcanzar la presión requerida en los trayectos críticos de segundo orden. El proceso se repite hasta que todas las conducciones han sido fijadas.
- G)** Salva la limitación de los métodos que toman como diámetro el mayor de cada tramo en común, sin tener en cuenta el posible ahorro en los tramos aguas abajo
- H)** De esta manera se obtiene un dimensionado que garantiza el buen funcionamiento de los hidrantes en una red a turnos, alcanzando como mínimo, la presión requerida en el trayecto más crítico y reduciendo, en la medida de posible el resto de diámetros, para ajustar la presión en los turnos o sectores no prioritarios, aprovechando los “excesos de diámetro” instalados aguas arriba de un tramo necesarios para alimentar otros turnos, economizando la instalación.

Descripción del algoritmo implementado para el dimensionado de redes con funcionamiento a turnos.

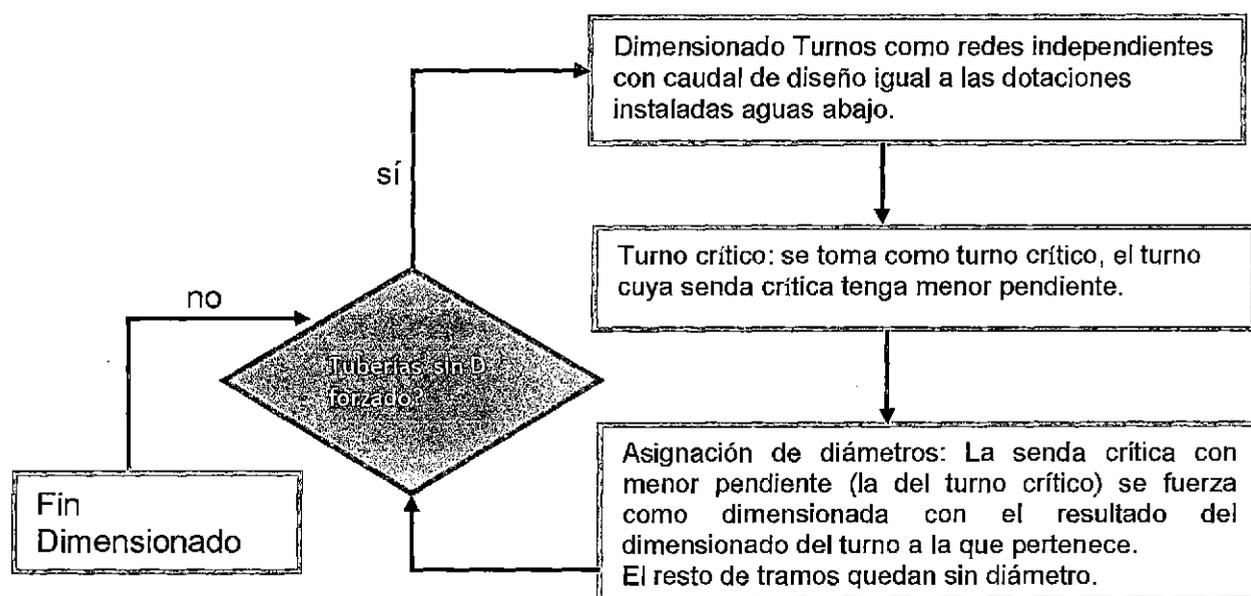


Figura 30. Algoritmo usado por GESTAR para el dimensionado

FUENTE: Nuevo algoritmo recursivo para el dimensionado de redes con funcionamiento a turnos, implementado en GESTAR 2014.

Una vez aplicado el algoritmo descrito en la **Figura30**, el resultado del dimensionado se importó directamente en las propiedades de las conducciones en el modelo de la red, y con la herramienta Mediciones, se contabilizan los costes de la instalación.

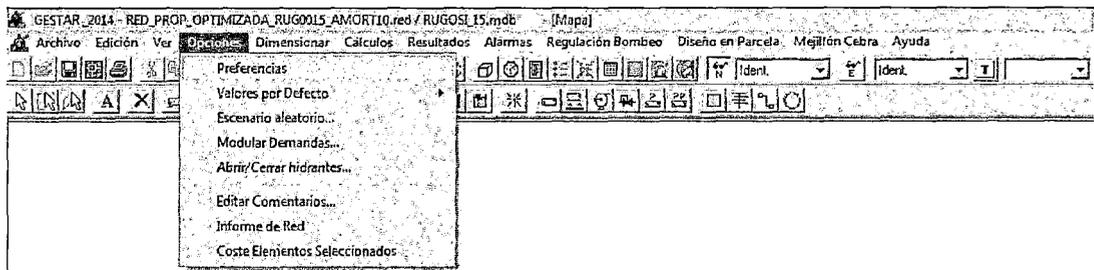
Las herramientas de simulación de Gestar2014, permitieron validar la solución obtenida y proceder a su reajuste local si es que se considera conveniente. La simulación del comportamiento de cada turno mostró el estado hidráulico-energético completo del sistema en cuanto a presiones alcanzadas en los hidrantes, velocidades en conducciones, caudales circulantes, potencias consumidas para todos los turnos en un momento determinado, y para una evolución temporal del sistema a lo largo del tiempo (planificación de campañas, niveles en balsas, consumo de energía total etc..)

En el caso de estudio, se comprobó el cumplimiento de los requisitos de presión en hidrantes y velocidades en tuberías.

4.3.9. Análisis Hidráulico – Energético

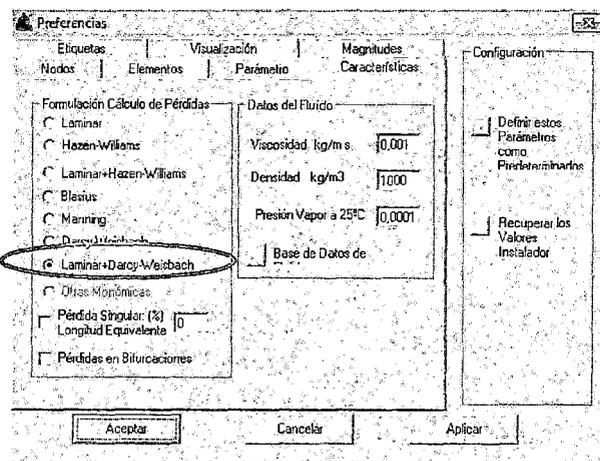
a. Análisis Hidráulico:

Previo al análisis hidráulico en gestar, se aconseja revisar la configuración de una serie de características generales, que especifican las propiedades del fluido, la formulación de pérdidas de carga lineales a usar y criterios generales para la consideración de pérdidas singulares. El usuario puede acceder a ellos desde el Menú: Opciones/Preferencias/Características.

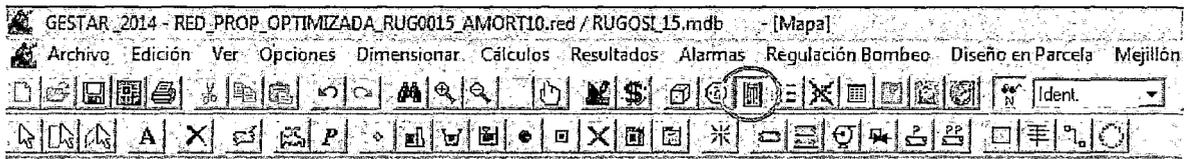


Se confirmó que las propiedades físicas del fluido circulante cargadas por defecto son las adecuadas, permitiendo su modificación de forma manual o a través de la Base de Datos de Fluidos, así como el tipo de formulación para las pérdidas de cargas.

Fig--- . Ventana de Preferencias del GESTAR



Luego se procedió a realizar al análisis Hidráulico, para la verificación del cumplimiento de las presiones de consigna asignadas a cada nodo y el cumplimiento de velocidades establecidas en las restricciones (paso 4 del Dimensionamiento a turnos).



b. Análisis de Sobrepresiones

Después de realizar todos los cálculos hidráulicos, simulaciones y dimensionados óptimos para cada uno de los escenarios se realizó el análisis de sobrepresiones para cada una de las válvulas de la red.

La presión que debe llegar a cada válvula es la “Presión de Consigna”, toda presión extra se consideró como sobrepresión la cual fue dividida en intervalos (menores a 3m, entre 3 y 10m y mayores a 10 metros).

Para determinar las sobrepresiones se realizaron los siguientes pasos:

La presión obtenida a nivel de cada válvula con Epanet no consideran la pérdida por singularidades ni el margen de seguridad, la cuales por falta de herramientas o mayor complejidad para poder simularlas dentro de un software se optará por descontarlas del archivo de Excel. Se puede observar dicho proceso a través de las **Figura 31**.

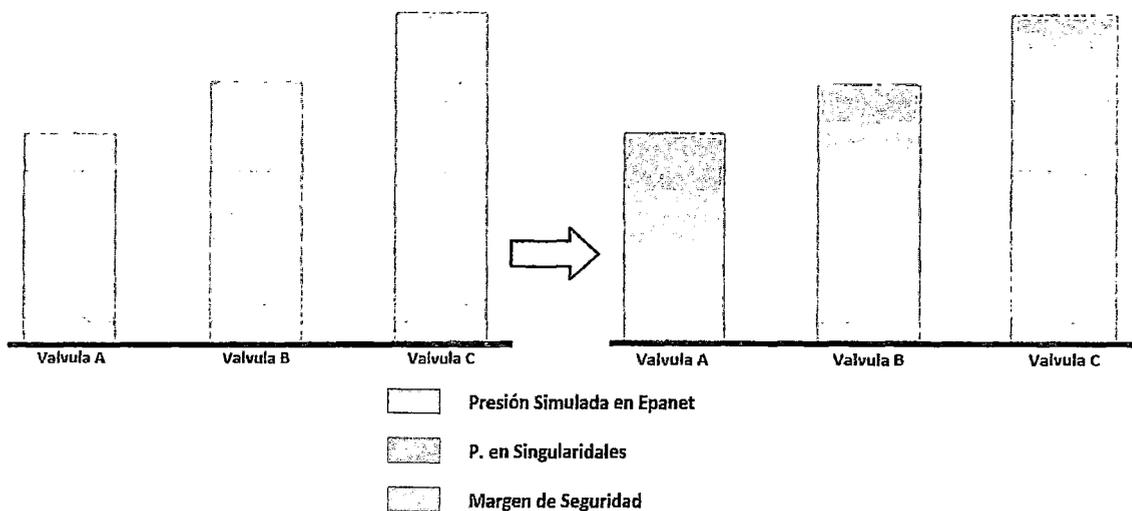


Figura 31. Parámetros no simulados en EPANET

FUENTE: Elaboración Propia.

En la **Figura 32**, La barra azul representa la presión que llega a cada una de las válvulas, sin contar la pérdida por singularidades, ni el Margen de Seguridad, de esta presión se debe satisfacer finalmente la Presión de Consigna, que para este caso es igual en todas las

válvulas que conforman el mismo turno, salvo un análisis más exhaustivo y detallado a nivel de cada subunidad.

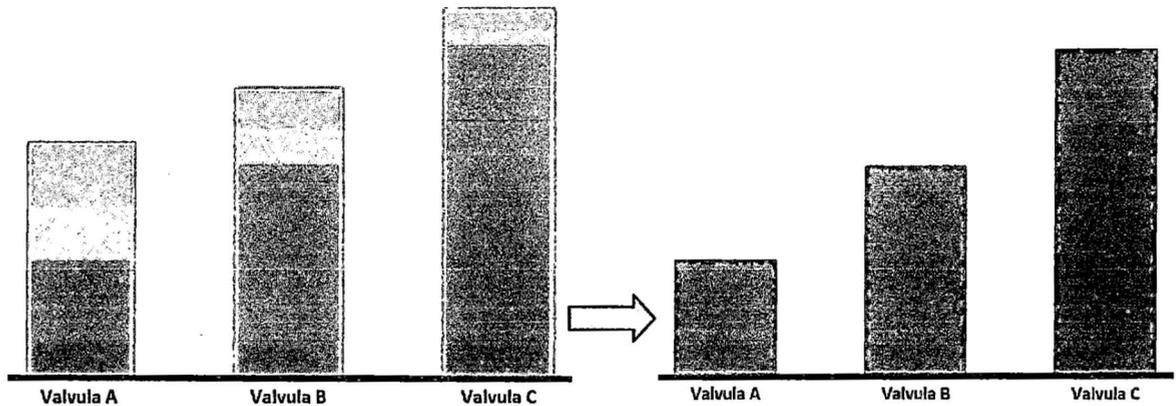


Figura 32. Presión de llegada a las válvulas

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

En la **Figura 33**, la barra roja representa la Presión Consigna de cada válvula, el cual es satisfecha de manera exacta solo para una de las válvulas, cabe recordar que ésta es la válvula que tiene mayor requerimiento de presión a partir del cual se determina la CDT para el turno (**ver Figura 23**).

Para el resto de válvulas, como se puede apreciar en la **Figura 33**, existen presiones en exceso las cuales serán clasificadas dependiendo del nivel de sobrepresión (menores a 3m, entre 3 y 10m y mayores a 10 metros)

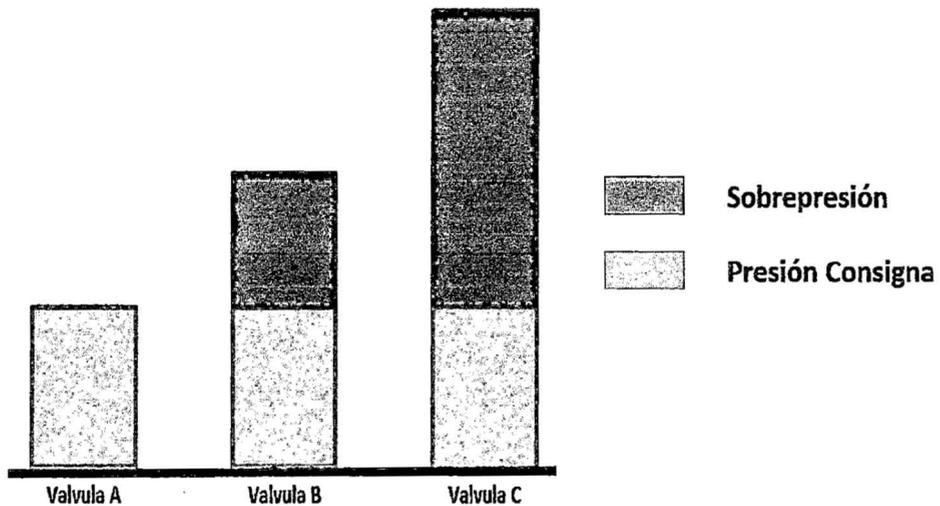


Figura 33. Representación gráfica de las sobrepresiones.

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Proceso seguido para la comparación entre la Presión de Consigna y la Presión de Llegada a cada válvula:

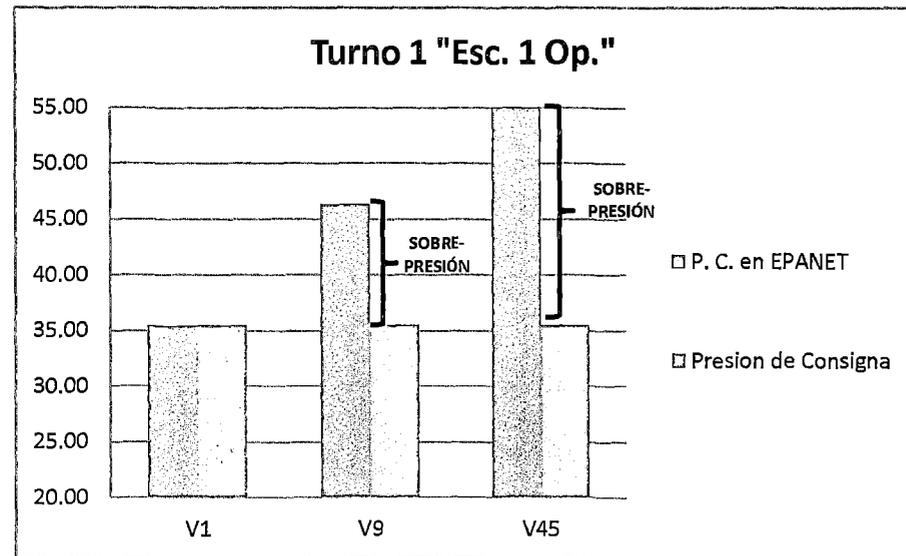
COTA DE RESERVORIO		CALCULOS HIDRAULICOS												
TURNOS	N° VALVULA	Cóta de Valvula	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Riego	ΔH max. en Sub unidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservoirio	CDT	CAUDAL (L/S)	(A - (B+C+D+E)) - (F+G)
I	1	233,40	-8,85	24,76	2,48	10	30	2,5	3	7,27	4	75,16	6,49	P. de llegada a c/valvula 35,50 46,37 55,08
	9	234,40	-7,85	14,95	1,50	10	30	2,5	3	6,19	4	64,29	7,04	
	45	238,00	-4,25	4,78	0,48	10	30	2,5	3	5,08	4	55,58	4,53	
												75,16	18,06	

Presión de Consigna: 35.5m

A

P. de llegada a c/valvula	Presión Consigna
35,50	35,50
46,37	35,50
55,08	35,50

COMPARACIÓN →



c. Análisis energético

- Se hizo un análisis comparativo del costo energético que involucra la puesta en marcha del sistema de riego para los distintos escenarios de operación y determinar el escenario óptimo, es decir de menor consumo energético.
- Por otro lado se determinó cuánto será el ahorro económico-energético que tendrá el sistema si se cuenta con un variador de velocidad como parte de la estación de bombeo.

Para esto fue necesario conocer las velocidades en RPM a las que debe girar la bomba para satisfacer los distintos requerimientos de presión y caudal de cada uno de los turnos. Para determinar dichas revoluciones se hizo uso de las leyes de afinidad.

Ejemplo de Aplicación:

Se desea conocer las RPM (N_2) a las que debe girar el motor para satisfacer los siguientes requerimientos, sabiendo que el tiempo de operación bajo estas condiciones es de 1 hora al día, sabiendo que las RPM nominales (N_1) es de 3540 rpm.

$$.Q_2 = 18.6 \text{ l/s}$$

$$.H_2 = 37.49 \text{ m}$$

$$1) \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \quad 2) \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2; \quad 3) \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

1ero se halló los valores de Q1 y H1 indicados para usar la ley de afinidad

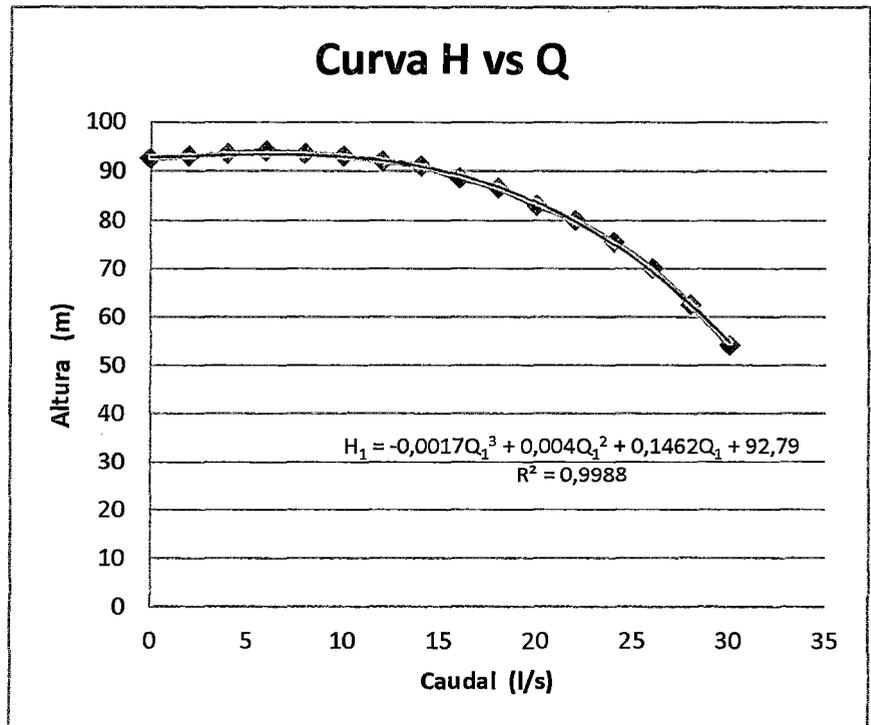
- De 1 y 2

$$H_1 = H_2 \times \frac{Q_1^2}{Q_2^2} \rightarrow \text{Reemplazando } Q_2 \text{ y } H_2 \text{ se tiene:}$$

$$H_1 = 0.1084 \times Q_1^2 \dots (4)$$

- De la ecuación de la Curva de la Bomba Q vs H.

caudal (l/s)	altura (m)
0	92,5
2	93
4	93,5
6	94
8	93,5
10	93
12	92
14	91
16	88,5
18	86,5
20	83
22	80
24	75,5
26	70
28	62,5
30	54



$$H_1 = -0.0017Q_1^3 + 0.004Q_1^2 + 0.1462Q_1 + 92.79 \dots (5)$$

-De 4 y 5 obtenemos. $Q_1 = 25.6 \text{ l/s}$

$$H_1 = 71.02 \text{ m}$$

2do halló N_2 Reemplazando H_1, H_2 y N_1 en (2)

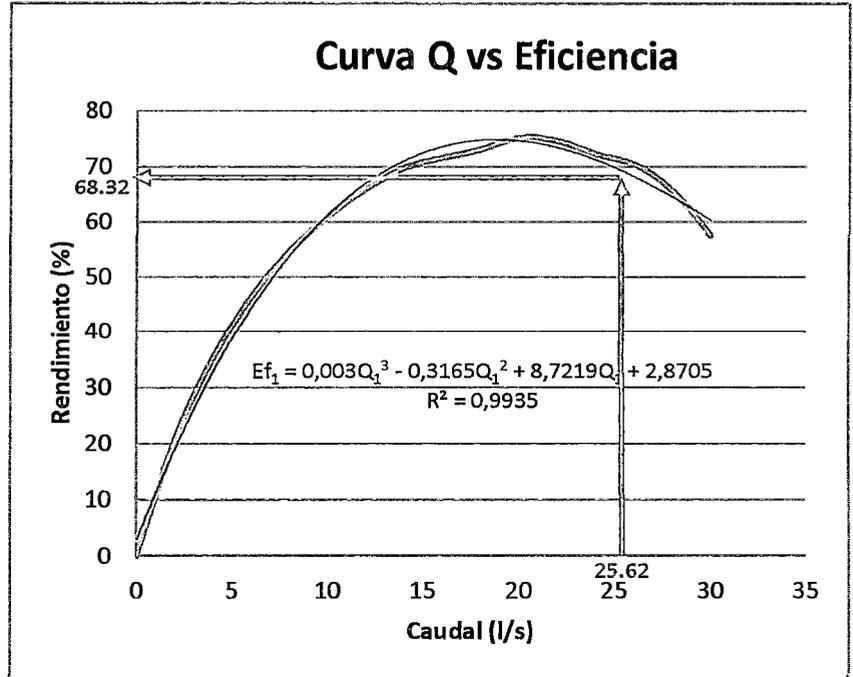
Se obtiene: $N_2 = 2569.11 \text{ RPM}$

Una vez hallado la RPM a las que debe girar la bomba para satisfacer dichos requerimiento de presión y caudal (Q_2 y H_2), fue necesario determinar cuál es la nueva potencia de trabajo de la bomba (P_2) y cuál es la eficiencia con la que trabaja (Ef_2), de esta manera se pudo determinar el ahorro energético que conlleva plantear dicho sistema.

3er paso se determinó la eficiencia (Ef_1) para el Q_1 de la curva nominal de rendimiento de la bomba.

- De la ecuación de la curva nominal de rendimiento Q vs Ef.

caudal (l/s)	Rendimiento (%)
0	0
2	20,36
4	35,09
6	46,31
8	54,59
10	61,09
12	65,92
14	69,73
16	71,55
18	73,05
20	75,20
22	74,58
24	72,13
26	70,32
28	65,68
30	57,52



$$Ef_1 = 0.003Q_1^3 - 0.3165Q_1^2 + 8.7219Q_1 + 2.8705 \dots (6)$$

-Reemplazando Q_1 en la ec (6):

$$.Q_1 = 25.6 \text{ l/s} \rightarrow Ef_1 = 68.32\%$$

4to se halló la potencia (P_1)

$$P_{(kw)} = \frac{Q \times H}{102 \times Ef} \dots (7)$$

- Reemplazando Q_1 , H_1 y Ef_1 en la ec. 7

$$P_1 = 26.09 \text{ kw}$$

5to de la ley de afinidad ec. (3) se halló la P_2 reemplazando P_1 , N_1 y N_2

$$\left. \begin{array}{l} .N_1 = 3540 \text{ RPM} \\ .N_2 = 2569.11 \text{ RPM} \\ .P_1 = 26.09 \text{ kw} \end{array} \right\} \boxed{P_2 = 9.97 \text{ kw}}$$

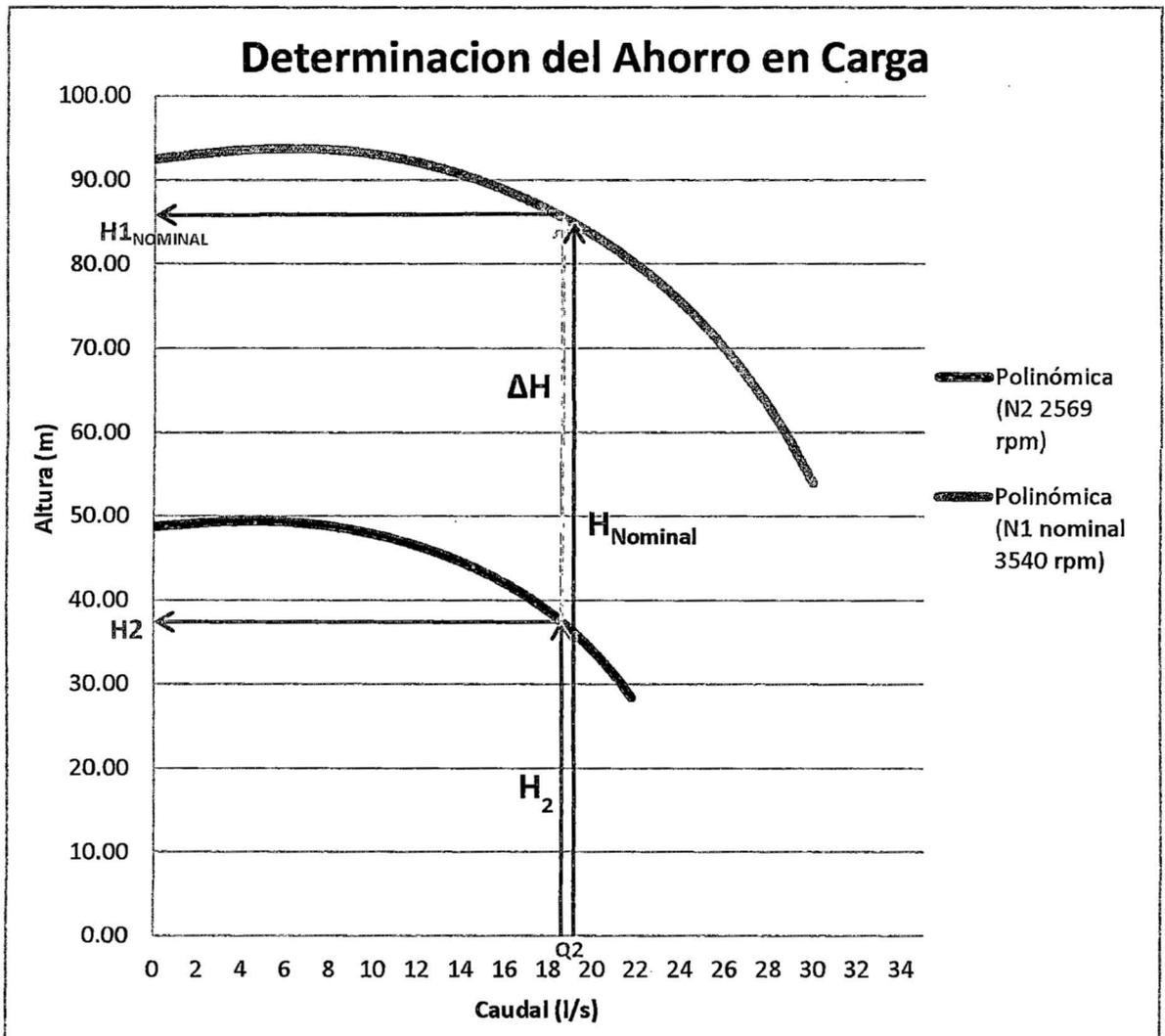
6to se halló la eficiencia (Ef_2) reemplazando P_2 , Q_2 y H_2 en la ec. (7)

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 9.97 \text{ kw} \\ Q_2 = 18.6 \text{ l/s} \\ H_2 = 37.49 \text{ m} \end{array} \right\} \boxed{Ef_2 = 68.55 \%}$$

Determinación del ahorro energético

Para la determinación del ahorro energético se halló la altura nominal ($H_{1NOMINAL}$) y la eficiencia ($Ef_{1NOMINAL}$) a la que funcionaría el sistema para un Q_2 si no tuviese el Variador de Velocidad.

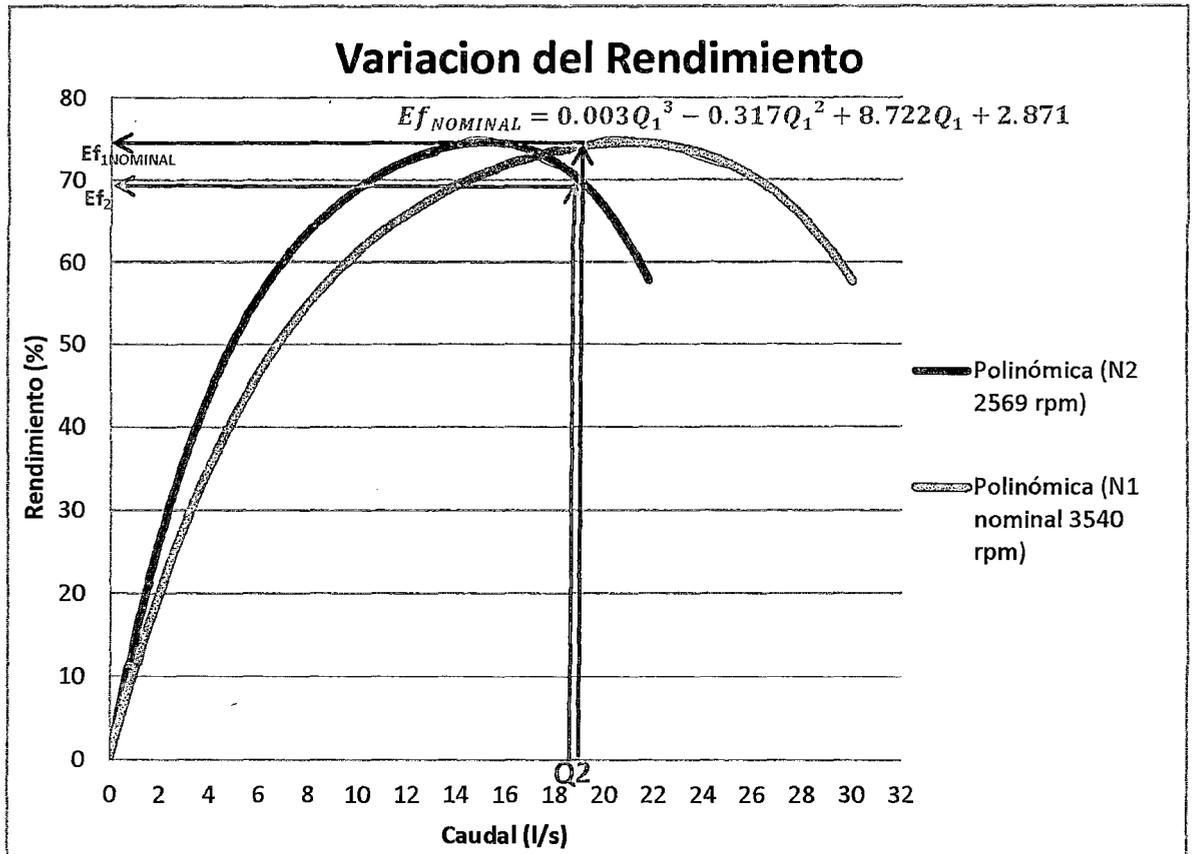
Determinación del $H_{1NOMINAL}$



De la ec. (5) se procedió a hallar $H_{1NOMINAL}$ reemplazando Q_2

Para $Q_2 = 18.6 \text{ l/s} \rightarrow H_{1NOMINAL} = 85.52 \text{ m}$

Determinación del $Ef_{1NOMINAL}$



De la ec. (6) se procedió a hallar $Ef_{1NOMINAL}$ reemplazando Q_2

Para $Q_2 = 18.6 \text{ l/s} \rightarrow Ef_{1NOMINAL} = 73.4 \%$

Una vez determinado la altura y eficiencia ($H_{1NOMINAL}$ y $Ef_{1NOMINAL}$) nominales se procedió a determinar la potencia ($P_{1NOMINAL}$) que hubiese consumido sin un sistema de bombeo con Variador de Velocidad.

De la ec. (7) se halló $P_{1NOMINAL}$ reemplazando Q_2 , $H_{1NOMINAL}$ y $Ef_{1NOMINAL}$

$Q_2 = 18.6 \text{ l/s}$
 $H_{1NOMINAL} = 85.52 \text{ m}$
 $Ef_{1NOMINAL} = 73.4 \%$

$$P_{1NOMINALES} = 21.25 \text{ kw}$$

Se procedió a hallar el ahorro energético

$$\Delta P = P_{1NOMINAL} - P_2 \dots (8)$$

ΔP : Es el ahorro en potencia

$$\Delta P = 21.25 \text{ kw} - 9.97 \text{ kw}$$

$$\Delta P = 11.28 \text{ kw}$$

Por último, para determinar el ahorro económico que involucra el uso del Variador de Velocidad se debe saber cuál es el intervalo de tiempo en la que se estaba realizando dicho ahorro energético.

$$\Delta S/. = \Delta P_{(kw)} \times Nh_{(hr-año)} \times CE_{\left(\frac{S/.}{kw-hr}\right)} \dots (9)$$

- $\Delta S/.$: Ahorro económico en soles
- Nh : Número de horas al año
- CE: Costo energético

Del ejemplo, sabemos que el tiempo de funcionamiento bajo estas condiciones es de 1 hora al día, en un año sería 365 horas, por otro lado se sabe que el costo energético es de $0.1561 \frac{S/.}{kw-hr}$ aplicando la ec. (9).

$$\Delta S/. = 11.28_{(kw)} \times 365_{(hr-año)} \times 0.1561_{\left(\frac{S/.}{kw-hr}\right)}$$

$$\Delta S/. = 642.7 \text{ soles}$$

A) Finalmente se compararon los escenarios y se eligió el sistema de riego óptimo.

V. RESULTADOS

5.1. Análisis de datos básicos

5.1.1. Fuente de agua

El funcionamiento del sistema de riego que fue planteado para las áreas verdes de la UNALM tiene garantizada la fuente de agua, la cuales provista por el canal principal llamado “Canal Bajo” el que abastecerá de manera intercalada los dos reservorios, uno cada semana, 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 de 19.66 ha y además de 11.51 ha del programa de hortalizas llamado “El Huerto”.

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

Capacidad del reservorio que abastece a Jardines y al Huerto fue de 9372 m³

En el siguiente Cuadro N° 8, presenta la operación de llenado de los reservorios.

Cuadro 8. Operación de llenado de reservorios

Cuadro de operación para el llenado de reservorios													
Usuario	Tipo de Reservorio	Capacidad	Volumen a	Caudal de	Tiempo	Turnos de riego				Turnos de riego (Hr)			
		Neta	llenar	ingreso	de	martes	miércoles	jueves	sábado	martes	miércoles	jueves	sábado
		(m ³)	(m ³)	(m ³ /hr)	(horas)								
Jardines - Huerto	Reservorio I de Geomembrana PVC (*)	9.372	9.372	1.080	8,7	Canal Bajo				8:00AM-5:00PM			
Jardines - Huerto	Reservorio II de Geomembrana PVC (*)	9.372	0	1.080	0,0	Canal Bajo				8:00AM-5:00PM			
Frutales	Reservorio III de Geomembrana PVC	8.370	8.370	1.080	7,8		Canal Alto	Canal Alto-Canal Bajo		1:00PM-5:00PM	8:00AM-12:00PM		
Ornamentales	Reservorio IV de Geomembrana PVC	5.000	1.400	540	2,6				Canal Bajo				9:30AM-12:00PM
Fundo	Reservorio VI de Geomembrana PVC	6.816	6.816	1.080	6,3			Canal Bajo-Canal Alto	Canal Bajo-Canal Alto			12:00AM-5:00PM	8:00AM-9:30AM
TOTAL		38.930,1	25.958,1	4.860,0	25,3								

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.1.2. Análisis de agua

✓ Análisis químico

Muestra canal bajo (progresiva 0+003)

- Contó con un pH de 7.18, por lo que se trata de un agua ligeramente neutra.
- La conductividad eléctrica presentó un valor equivalente a $CE = 0.43$ dS/m, por lo que la muestra se clasifica como una C2, es decir, es un agua con moderada Salinidad.
- La relación de adsorción de Sodio (RAS) dio un resultado de 0.57 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.

Muestra canal alto (progresiva 0+005)

- Cuenta con un pH de 7.07, por lo que se trata de un agua ligeramente neutra.
- La conductividad eléctrica presenta un valor equivalente a $CE = 0.46$ dS/m, por lo que la muestra se clasificó como una C2, es decir, es un agua con moderada Salinidad.
- La relación de adsorción de Sodio (RAS) dio un resultado de 0.465 que corresponde a un valor bajo en sodio representándose como S1
- El Índice de Saturación de Langelier dio un resultado de -0.363, 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.

✓ 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 9. Análisis Microbiológico

ANALISIS MICROBIOLÓGICO		
Análisis Microbiológico	Muestra	Agua Tipo III
Coliformes Totales	87x10 ³	50x10 ²
Coliformes Fecales	35x10	10x10 ²

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Haciendo una comparación entre los resultados obtenidos y los parámetros máximos para el Agua tipo III (Agua para Riego) se puede decir que no hay problema en la cantidad de coliformes fecales ya que se encuentra por debajo del permitido, pero con respecto a la cantidad de coliformes totales se observó que pasan los límites permisibles.

5.1.3. Datos climáticos

Se contó con información de la estación meteorológica de Humbolt

Cuadro 10. Calculo de ETo por Penman-Monteith con uso del Software cropwat

Monthly ETo Penman-Monteith - D:\Riego Campus-UNALM\Balance1.PEM							
Country		La Molina		Station		ALEXANDER VON HUMBOLD	
Altitude		244 m.		Latitude		12.05 °S	
				Longitude		75.95 °W	
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	18.4	27.4	80	1.3	5.3	18.4	3.72
February	20.3	28.9	76	1.3	6.0	19.4	4.11
March	19.8	28.7	76	1.2	7.0	20.2	4.17
April	17.8	26.9	79	1.1	7.6	19.5	3.72
May	15.5	23.3	83	0.9	5.6	14.9	2.65
June	14.2	19.9	88	0.8	2.7	10.4	1.80
July	14.2	18.9	89	0.8	2.0	9.8	1.68
August	13.9	18.3	89	0.9	2.4	11.4	1.89
September	14.0	20.0	88	1.0	3.2	13.8	2.33
October	14.5	21.2	86	1.1	4.4	16.6	2.83
November	15.7	22.7	84	1.1	5.0	17.8	3.15
December	17.4	25.1	83	1.1	4.9	17.7	3.32
Average	16.4	23.4	83	1.0	4.7	15.8	2.95

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.1.4. Oferta de Agua

Cuadro 11. Oferta global mensual de agua.

OFERTA GLOBAL DE AGUA													
CANAL ALTO Y CANAL BAJO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
OFERTA MENSUAL m ³	122.400,0	119.500,0	123.600,0	114.500,0	109.300,0	80.000,0	80.000,0	80.000,0	84.000,0	104.400,0	109.000,0	109.000,0	1.235.700,0

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Cuadro 12. Oferta mensual para Áreas Verdes y Huerto

OFERTA DE AGUA PARA ÁREAS VERDES - HUERTO													
CANAL ALTO Y CANAL BAJO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
DEMANDA MENSUAL FRUTALES (m ³)	29.811,9	30.460,0	34.526,2	28.238,0	26.165,9	14.718,9	12.195,6	13.579,5	20.346,9	25.687,3	27.054,0	25.371,3	288.155,5
DEMANDA MENSUAL FUNDO (m ³)	25.362,7	25.914,1	29.373,4	24.023,7	22.260,9	12.522,2	10.375,5	11.552,9	17.310,3	21.853,7	23.016,4	21.584,8	245.150,5
DEMANDA MENSUAL ORNAMENTALES (m ³)	3.195,6	3.189,0	3.582,2	3.092,5	2.276,4	1.496,4	1.443,2	1.623,6	1.937,0	2.431,1	2.618,7	2.852,0	29.737,6
OFERTA MENSUL TOTAL(m ³)	122.400,0	119.500,0	123.600,0	114.500,0	109.300,0	80.000,0	80.000,0	80.000,0	84.000,0	104.400,0	109.000,0	109.000,0	1.235.700,0
OFERTA MENSUAL JARDINES - HUERTO (m ³)	64.029,8	59.936,9	56.118,2	59.145,8	58.596,7	51.262,6	55.985,6	53.244,1	44.405,8	54.427,9	56.310,9	59.192,0	672.656,4

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Cuadro 13. Oferta semanal para Áreas Verdes y Huerto

OFERTA SEMANAL DE AGUA PARA ÁREAS VERDES - HUERTO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DEMANDA SEMANAL FRUTALES (m ³)	6.731,7	7.615,0	7.796,2	6.588,9	5.908,4	3.434,4	2.753,9	3.066,3	4.747,6	5.800,4	6.312,6	5.729,0	
DEMANDA SEMANAL FUNDO (m ³)	5.727,1	6.478,5	6.632,7	5.605,5	5.026,7	2.921,8	2.342,9	2.608,7	4.039,1	4.934,7	5.370,5	4.874,0	
DEMANDA SEMANAL ORNAMENTALES (m ³)	721,6	797,2	808,9	721,6	514,0	349,2	325,9	366,6	452,0	549,0	611,0	644,0	
OFERTA SEMANAL TOTAL (m ³)	27.638,7	29.875,0	27.909,7	26.716,7	24.680,6	18.666,7	18.064,5	18.064,5	19.600,0	23.574,2	25.433,3	24.612,9	
OFERTA SEMANAL JARDINES - HUERTO (m ³)	14.458,4	14.984,2	12.671,9	13.800,7	13.231,5	11.961,3	12.641,9	12.022,9	10.361,4	12.290,2	13.139,2	13.365,9	

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.1.5. Demanda de Agua

Cuadro 14. Demanda Hídrica de Áreas Verdes Urbanas (Jardines)

DEMANDA AREAS VERDES												
Descripcion	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB.	OCTUBRE	NOVIEMB.	DICIEMB.
Área Agrícola (has)	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3
Kc Ponderado	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ETO (mm/día)	3,7	4,1	4,2	3,7	2,7	1,8	1,7	1,9	2,3	2,8	3,2	3,3
ETO (mm/mes)	115,3	115,1	129,3	111,6	82,2	54,0	52,1	58,6	69,9	87,7	94,5	102,9
ETC(mm/mes)	115,3	115,1	129,3	111,6	82,2	54,0	52,1	58,6	69,9	87,7	94,5	102,9
PP(mm/mes)												
Días del mes	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Demanda Neta(mm/mes)	115,3	115,1	129,3	111,6	82,2	54,0	52,1	58,6	69,9	87,7	94,5	102,9
Eficiencia de Riego(%)	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0
Demanda Bruta(mm/mes)	138,9	138,7	155,7	134,5	99,0	65,1	62,7	70,6	84,2	105,7	113,9	124,0
Demanda Bruta(mm/día)	4,48	4,95	5,02	4,48	3,19	2,17	2,02	2,28	2,81	3,41	3,80	4,00
Demanda Unitaria(m3/Ha-día)	44,8	49,5	50,2	44,8	31,9	21,7	20,2	22,8	28,1	34,1	38,0	40,0
Modulo de riego (lps/ha)	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
CAUDAL Q (l/seg)	10,0	11,1	11,2	10,0	7,1	4,8	4,5	5,1	6,3	7,6	8,5	8,9
Demanda Total de Agua por mes (m3/mes)	26815,4	26759,6	30059,2	25950,4	19102,3	12556,6	12110,2	13623,9	16253,9	20399,9	21974,1	23932,0
Demanda Total de Agua por semana (m3/semana)	6055,1	6689,9	6787,6	6055,1	4313,4	2929,9	2734,6	3076,4	3792,6	4606,4	5127,3	5404,0

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Cuadro 15. Demanda Hídrica del Huerto

DEMANDA HUERTO												
Descripción	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB.	OCTUBRE	NOVIEMB.	DICIEMB.
Área Agrícola (has)	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Kc Ponderado	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7
ETO (mm/día)	3,7	4,1	4,2	3,7	2,7	1,8	1,7	1,9	2,3	2,8	3,2	3,3
ETO (mm/mes)	115,3	115,1	129,3	111,6	82,2	54,0	52,1	58,6	69,9	87,7	94,5	102,9
ETC(mm/mes)	87,0	88,8	100,7	82,4	76,3	42,9	35,6	39,6	59,3	74,9	78,9	74,0
PP(mm/mes)												
Días del mes	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Demanda Neta(mm/mes)	87,0	88,8	100,7	82,4	76,3	42,9	35,6	39,6	59,3	74,9	78,9	74,0
Eficiencia de Riego(%)	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0
Demanda Bruta(mm/mes)	106,0	108,3	122,8	100,4	93,1	52,4	43,4	48,3	72,4	91,4	96,2	90,2
Demanda Bruta(mm/día)	3,42	3,87	3,96	3,35	3,00	1,75	1,40	1,56	2,41	2,95	3,21	2,91
Demanda Unitaria(m ³ /Ha-día)	34,2	38,7	39,6	33,5	30,0	17,5	14,0	15,6	24,1	29,5	32,1	29,1
Módulo de riego (lps/ha)	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
Caudal (l/seg)	4,6	5,2	5,3	4,5	4,0	2,3	1,9	2,1	3,2	3,9	4,3	3,9
Demanda Total de Agua por mes (m ³ /mes)	12205,0	12470,3	14135,0	11560,6	10712,3	6025,9	4992,9	5559,4	8330,0	10516,4	11075,9	10387,0
Demanda Total de Agua por semana (m ³ /semana)	2756,0	3117,6	3191,8	2697,5	2418,9	1406,0	1127,4	1255,4	1943,7	2374,7	2584,4	2345,5

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.1.6. Balance Hídrico Global

Cuadro 16. Balance hídrico mensual global

	BALANCE HIDRICO GLOBAL												
	CANAL ALTO Y CANAL BAJO												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
DEMANDA (m3)	97.391	98.793	111.676	92.865	80.518	47.320	41.117	45.939	64.178	80.888	85.739	84.127	930.552
OFERTA	122.400	119.500	123.600	114.500	109.300	80.000	80.000	80.000	84.000	104.400	109.000	109.000	1.235.700
BALANCE	25.009	20.707	11.924	21.635	28.782	32.680	38.883	34.061	19.822	23.512	23.261	24.873	305.148
% Satisfaccion de agua	1,3	1,2	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	1,7	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

FUENTE: Elaboración Propia. (2014)

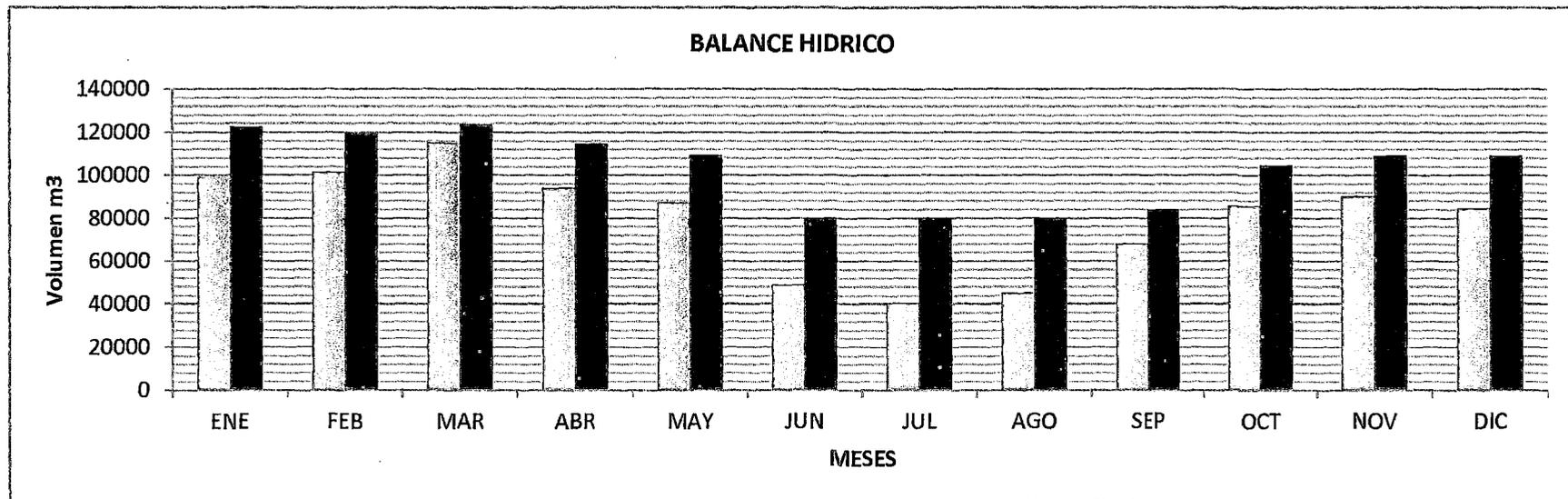


Figura 34. Balance hídrico mensual global

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.1.7. Balance hídrico mensual para volumen ofertado para Áreas Verdes - Huerto

Cuadro 17. Balance hídrico mensual Áreas Verdes - Huerto

	BALANCE HIDRICO MENSUAL JARDINES - HUERTO												
	CANAL CANAL BAJO												Anual
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DEMANDA MENSUAL JARDINES - HUERTO (m3)	39.020	39.230	44.194	37.511	29.815	18.583	17.103	19.183	24.584	30.916	33.050	34.319	367.508
OFERTA MENSUAL JARDINES - HUERTO (m3)	64.030	59.937	56.118	59.146	58.597	51.263	55.986	53.244	44.406	54.428	56.311	59.192	672.656
BALANCE	25.009	20.707	11.924	21.635	28.782	32.680	38.883	34.061	19.822	23.512	23.261	24.873	305.148
% Satisfaccion de agua	1,6	1,5	1,3	1,6	2,0	2,8	3,3	2,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,8

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

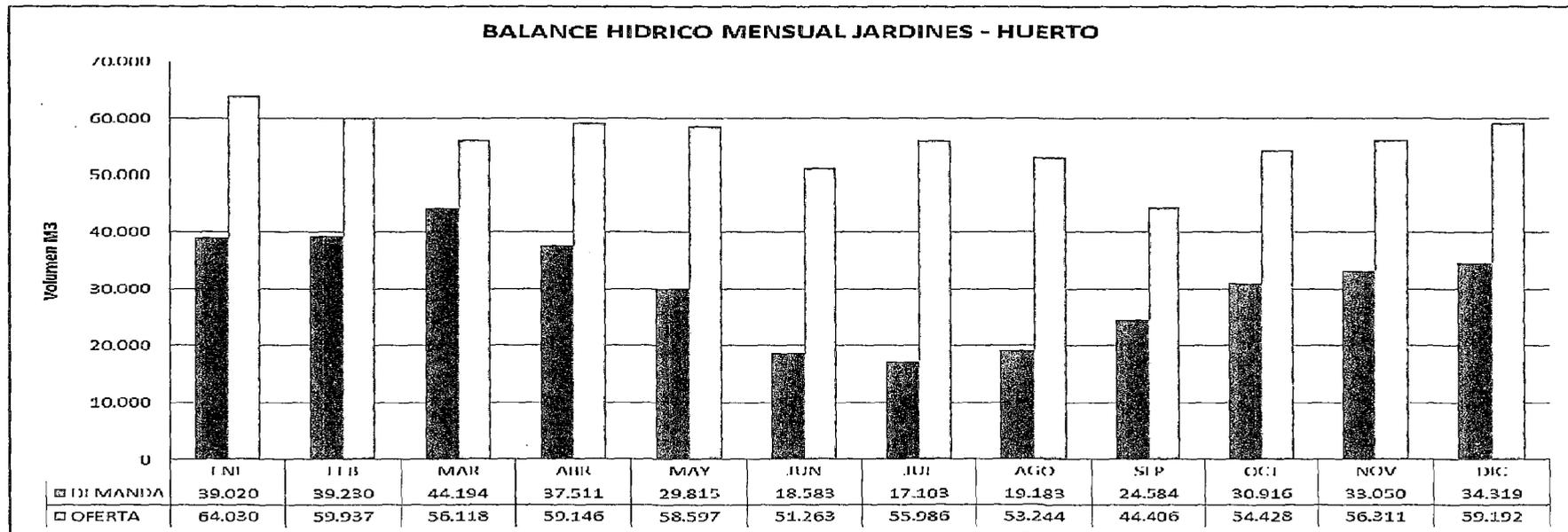


Figura 35. Balance hídrico mensual Áreas Verdes - Huerto

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.1.8. Balance hídrico semanal para volumen ofertado para Áreas Verdes - Huerto

Cuadro 18. Balance hídrico semanal Áreas Verdes - Huerto

	BALANCE HIDRICO SEMANAL JARDINES - HUERTO											
	CANAL CANAL BAJO											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DEMANDA SEMANAL JARDINES - HUERTO (m3)	8.811	9.807	9.979	8.753	6.732	4.336	3.862	4.332	5.736	6.981	7.712	7.749
OFERTA SEMANAL JARDINES - HUERTO (m3)	14.458	14.984	12.672	13.801	13.232	11.961	12.642	12.023	10.361	12.290	13.139	13.366
BALANCE	5.647	5.177	2.693	5.048	6.499	7.625	8.780	7.691	4.625	5.309	5.428	5.616
% Satisfaccion de agua	1,6	1,5	1,3	1,6	2,0	2,8	3,3	2,8	1,8	1,8	1,7	1,7

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

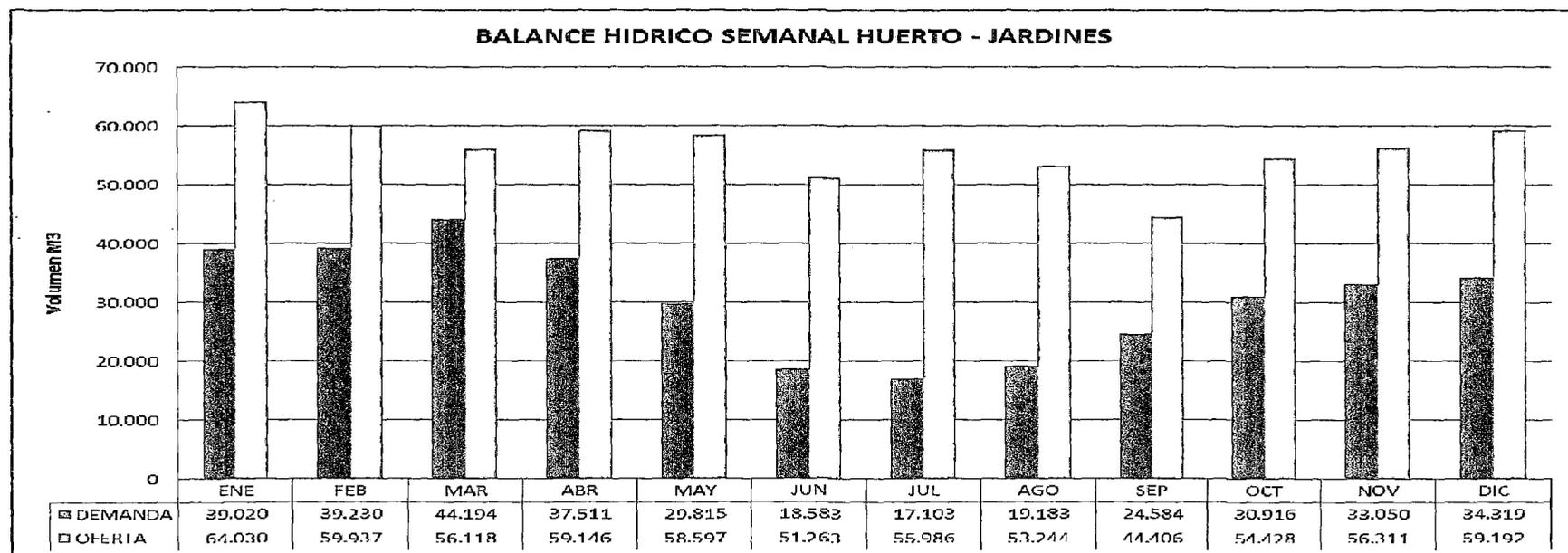


Figura 36. Balance hídrico semanal Áreas Verdes - Huerto

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.2. Diseño Agronómico

Cuadro 19. Diseño Agronómico – Áreas Verdes Urbanas

PARAMETROS DE DISEÑO AGRONÓMICO - AREAS VERDES URBANAS						
DESCRIPCION	UNIDADES	VALORES				
Área de Proyecto	ha	11,14	1,50	2,23	0,98	2,28
Cultivos		GRASS	GRASS	GRASS	GRASS	GRASS
Tipo de Emisor		Rotor de 1/2" y 3/4"	Difusores	Acople con aspersor	Rotores de 1 ^{ra}	Rotores de 2 ^{da}
LAMINA DE RIEGO A REPONER						
Evapotranspiración - Eto	mm/día	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
Coefficiente Cultivo - Kc		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Evapotranspiración Cultivo - Etc	mm/día	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
Precipitación Efectiva	mm/día	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lamina Neta de Riego	mm/día	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
Eficiencia de Riego	%	83%	83%	83%	83%	83%
Lamina Bruta a Reponer	mm/día	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02
CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS						
Cultivo		GRASS	GRASS	GRASS	GRASS	GRASS
Radio de Alcance	m	3 - 9	2,5 - 4	12	15 - 18	15 - 18
Caudal del gotero-difusor-rotor	l/h	480 - 720	67 - 860	1400,0	3222,0	3222,0
Frecuencia adoptada en el sistema de riego por goteo	días	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dosis Total de Riego	mm	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02
Precipitación horaria	mm/h	10,00	42,90	10,00	20,00	10,00
	m3/h-ha	100,00	429,00	100,00	200,00	100,00
Tiempo de riego calculado por	horas	0,50	0,12	0,50	0,25	0,50
Tiempo de riego calculado por	min	30	7	30	15	30
"ESCENARIO 1" y "ESCENARIO 1 OPTIMIZADO"						
NºTurnos	Nº	22	12	1	4	4
Tiempo de bombeo	horas/día	11,1	1,4	2,0	1,0	2,0
Área de Riego por turno	ha	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable
"ESCENARIO 2" y "ESCENARIO 2 OPTIMIZADO"						
NºTurnos	Nº	19	11	1	3	4
Tiempo de bombeo	horas/día	210,0	15,5	8,0	3,0	8,0
Área de Riego por turno	ha	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable

FUENTE: Elaboración Propia (2014)



Todos los rotores pertenecientes a este turno giran 360°



Todos los rotores pertenecientes a este turno giran 180°

Cuadro 20. Diseño Agronómico – Área Agrícola (Cereales y Maíz)

PARAMETROS DE DISEÑO AGRONOMICO - AREA ARGICOLA (Cereales)		
DESCRIPCION	UNIDADES	
Área de Proyecto	ha	1,40
Cultivos		CEREALES y MAIZ
		Goteo
LAMINA DE RIEGO A REPONER		
Evapotranspiración - Eto	mm/día	4,17
Coeficiente Cultivo - Kc		1,00
Evapotranspiración Cultivo - Etc	mm/día	4,17
Precipitación Efectiva	mm/día	0,00
Lamina Neta de Riego	mm/día	4,17
Eficiencia de Riego	%	83%
Lamina Bruta a Reponer	mm/día	5,02
CARACTERISTICAS AGRONOMICAS		
Cultivo		Cereales-maiz
Separación Plantas	m	0,40
Separación Hileras de Plantas	m	0,8
		0,32
Caudal del gotero-difusor-rotor	l/h	1,6
Separacion entre goteros	m	0,4
Numero de goteros x planta	Unidades	1,0
Nº Laterales de goteo Seleccionado/Hileras de planta	Nº	1,00
Frecuencia adoptada en el sistema de riego por goteo	días	1,00
Dosis Total de Riego	mm	5,02
	litros/planta	1,61
Precipitacion horaria	mm/h	5,00
	m3/h-ha	50,00
Tiempo de riego calculado por turno	horas	1,00
Tiempo de bombeo	horas/día	1,00
NºTurnos	Nº	1,00
Área de Riego por turno	ha	1,40
Tiempo total riego determinado por día	horas	1,00
Capacidad máxima del sistema por turno	l/s	19,44
CARACTERISTICAS DE EMISOR SELECCIONADO		
Lateral de Riego		Manguera
Diámetro	φ	PE -16.50 mm
Clase	C	12 Mil
Espesor de pared de manguera	mm	0,30
Caudal del gotero	l/h	1,60
Coeficiente de descarga	k	0,568
Exponente del emisor	e	0,45
Presión media nominal de trabajo	m.c.a	10,00
Coeficiente de uniformidad-CU	%	90%
Separación entre goteros	m	0,40
Nº Laterales por Hilera de cultivo	Nº Laterales	1,00
Fuente: Elaboración propia		

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.3. Parámetros de Operación

Según los criterios planteados en la metodología se obtuvieron los siguientes parámetros de operación.

Parámetros de Operación del “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado”.

Cuadro 21. Parámetros de operación del “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado”.

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 1" y "ESCENARIO 1 OPTIMIZADO"										
TURNOS	N° VALVULA	CAUDAL				CULTIVO	TIPO DE EMISOR DE RIEGO	DOSIS TOTAL DE RIEGO m3/día	TIEMPO RIEGO (min)	Vel. de Aplicación (mm/hr)
		VALVULA		TURNO						
		m3/hr	l/s	m3/hr	l/s					
I	1	23,35	6,49	64,99	18,05	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	32,50	30,00	10,00
	9	25,34	7,04							
	45	16,30	4,53							
II	2	22,92	6,37	63,30	17,58	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	31,65	30,00	10,00
	19	24,31	6,75							
	48	16,06	4,46							
III	3	23,26	6,46	61,63	17,12	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	30,81	30,00	10,00
	16	24,95	6,93							
	49	13,42	3,73							
IV	15	26,41	7,34	60,70	16,86	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	30,35	30,00	10,00
	43	26,13	7,26							
	55	8,17	2,27							
V	8	27,29	7,58	67,20	18,67	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	33,60	30,00	10,00
	32	24,20	6,72							
	102	15,71	4,37							
VI	5	22,18	6,16	66,83	18,56	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	33,41	30,00	10,00
	12	22,50	6,25							
	24	22,15	6,15							
VII	7	24,93	6,93	60,96	16,93	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	30,48	30,00	10,00
	42	24,75	6,88							
	54	11,27	3,13							
VIII	18	22,18	6,16	67,23	18,68	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	33,62	30,00	10,00
	6	22,51	6,25							
	31	22,54	6,26							
IX	23	22,82	6,34	68,16	18,93	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	34,08	30,00	10,00
	35	22,96	6,38							
	17	22,37	6,21							
X	30	22,28	6,19	67,23	18,67	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	33,61	30,00	10,00
	33	22,54	6,26							
	26	22,40	6,22							
XI	4	22,18	6,16	68,38	18,99	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	34,19	30,00	10,00
	11	23,63	6,56							
	53	22,57	6,27							
XII	25	23,33	6,48	69,08	19,19	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	34,54	30,00	10,00
	41	23,85	6,62							
	37	21,91	6,09							

XIII	10	24,25	6,74	48,04	13,34	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,02	30,00	10,00
	40	23,79	6,61							
XIV	52	25,34	7,04	49,53	13,76	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,76	30,00	10,00
	39	24,18	6,72							
XV	13	24,72	6,87	51,09	14,19	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	25,54	30,00	10,00
	44	26,37	7,32							
XVI	14	26,42	7,34	49,96	13,88	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,98	30,00	10,00
	34	23,53	6,54							
XVII	20	24,55	6,82	48,32	13,42	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,16	30,00	10,00
	36	23,76	6,60							
XVIII	22	23,54	6,54	49,46	13,74	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,73	30,00	10,00
	46	25,91	7,20							
XIX	38	22,72	6,31	48,85	13,57	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,43	30,00	10,00
	51	26,14	7,26							
XX	28	22,97	6,38	48,31	13,42	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,16	30,00	10,00
	50	25,34	7,04							
XXI	21	24,13	6,70	48,07	13,35	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,04	30,00	10,00
	47	23,95	6,65							
XXII	27	26,14	7,26	49,22	13,67	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,61	30,00	10,00
	29	23,08	6,41							
XXIII	69	22,55	6,27	74,11	20,59	grass americano	rotores de 1"	18,53	15,00	20,00
	115	32,22	8,95							
	73	19,33	5,37							
XXIV	65	22,55	6,27	70,88	19,69	grass americano	rotores de 1"	35,44	30,00	10,00
	57	25,78	7,16							
	70	22,55	6,27							
XXV	66	22,55	6,27	70,88	19,69	grass americano	rotores de 1"	35,44	30,00	10,00
	56	25,78	7,16							
	67	22,55	6,27							
XXVI	112	22,55	6,27	77,31	21,48	grass americano	rotores de 1"	19,33	15,00	20,00
	113	28,98	8,05							
	114	25,78	7,16							
XXVII	61	22,55	6,27	70,88	19,69	grass americano	rotores de 1"	35,44	30,00	10,00
	62	25,78	7,16							
	59	22,55	6,27							
XXVIII	63	22,55	6,27	70,88	19,69	grass americano	rotores de 1"	35,44	30,00	10,00
	58	25,78	7,16							
	60	22,55	6,27							
XXIX	68	25,78	7,16	45,11	12,53	grass americano	rotores de 1"	11,28	15,00	20,00
	72	19,33	5,37							
XXX	64	25,78	7,16	45,11	12,53	grass americano	rotores de 1"	11,28	15,00	20,00
	71	19,33	5,37							

XXXI	93	24,76	6,88	70,20	19,50	grass americano	difusores c/boq regulable	8,19	7,00	42,90
	99	25,78	7,16							
	103	19,66	5,46							
XXXII	79	23,53	6,54	66,15	18,38	grass americano	difusores c/boq regulable	7,72	7,00	42,90
	94	19,23	5,34							
	101	23,39	6,50							
XXXIII	81	23,58	6,55	73,65	20,46	grass americano	difusores c/boq regulable	8,59	7,00	42,90
	89	25,49	7,08							
	100	24,57	6,83							
XXXIV	74	25,39	7,05	74,74	20,76	grass americano	difusores c/boq regulable	8,72	7,00	42,90
	96	25,24	7,01							
	92	24,12	6,70							
XXXV	77	25,03	6,95	74,37	20,66	grass americano	difusores c/boq regulable	8,68	7,00	42,90
	87	24,27	6,74							
	97	25,06	6,96							
XXXVI	78	25,52	7,09	75,11	20,86	grass americano	difusores c/boq regulable	8,76	7,00	42,90
	95	24,37	6,77							
	106	25,22	7,01							
XXXVII	75	25,85	7,18	70,98	19,72	grass americano	difusores c/boq regulable	8,28	7,00	42,90
	83	20,15	5,60							
	98	24,98	6,94							
XXXVIII	85	25,20	7,00	74,21	20,61	grass americano	difusores c/boq regulable	8,66	7,00	42,90
	90	25,26	7,02							
	91	23,75	6,60							
XXXIX	86	28,44	7,90	59,23	16,45	grass americano	difusores c/boq regulable	6,91	7,00	42,90
	105	30,79	8,55							
XL	82	25,41	7,06	54,91	15,25	grass americano	difusores c/boq regulable	6,41	7,00	42,90
	104	29,51	8,20							
XLI	88	26,24	7,29	53,41	14,84	grass americano	difusores c/boq regulable	6,23	7,00	42,90
	80	27,17	7,55							
XLII	84	26,05	7,24	52,15	14,49	grass americano	difusores c/boq regulable	6,08	7,00	42,90
	76	26,10	7,25							
XLIII	107	23,04	6,40	46,08	12,80	grass americano	acople c/aspersor de impacto de 0.4	92,16	120,00	10,00
	108	23,04	6,40							
XLIV	109	10,94	3,04	66,96	18,60	maíz y cereales	got autocompensado 1.6 l/h @ 0.40 mts.	66,96	60,00	5,00
	110	14,04	3,90							
	111	41,98	11,66							

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.4. Parámetros de Operación “Escenario 2” y “Escenario 2 Optimizado”

Según los criterios planteados en la metodología se obtuvieron los siguientes parámetros de operación.

Cuadro 22. Parámetros de operación del “Escenario 2” y “Escenario 2 Optimizado”.

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2" y "ESCENARIO 2 OPTIMIZADO"										
TURNOS	N° VALVULA	CAUDAL				CULTIVO	TIPO DE EMISOR DE RIEGO	DOSIS TOTAL DE RIEGO m ³ /día	TIEMPO RIEGO (min)	Vel. De Aplicacion (mm/hr)
		VALVULA		TURNO						
		m ³ /hr	l/s	m ³ /hr	l/s					
I	1	23,36	6,49	69,55	19,32	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	34,78	30,00	10,00
	2	22,93	6,37							
	3	23,26	6,46							
II	4	22,18	6,16	68,15	18,93	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	34,07	30,00	10,00
	5	22,18	6,16							
	40	23,80	6,61							
III	37	21,92	6,09	68,83	19,12	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	34,42	30,00	10,00
	38	22,72	6,31							
	39	24,19	6,72							
IV	31	22,54	6,26	70,49	19,58	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	35,24	30,00	10,00
	32	24,19	6,72							
	36	23,76	6,60							
V	29	23,08	6,41	68,33	18,98	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	34,16	30,00	10,00
	30	22,28	6,19							
	35	22,97	6,38							
VI	43	26,14	7,26	76,03	21,12	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	38,02	30,00	10,00
	44	26,35	7,32							
	34	23,54	6,54							
VII	6	22,50	6,25	75,13	20,87	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	37,57	30,00	10,00
	8	27,29	7,58							
	9	25,34	7,04							
VIII	7	24,95	6,93	77,80	21,61	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	38,90	30,00	10,00
	14	26,42	7,34							
	15	26,42	7,34							
IX	10	24,26	6,74	70,38	19,55	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	35,19	30,00	10,00
	11	23,62	6,56							
	12	22,50	6,25							
X	41	23,83	6,62	71,14	19,76	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	35,57	30,00	10,00
	42	24,77	6,88							
	33	22,54	6,26							
XI	13	24,73	6,87	72,04	20,01	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	36,02	30,00	10,00
	16	24,95	6,93							
	17	22,36	6,21							

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2" y "ESCENARIO 2 OPTIMIZADO"

TURNOS	N° VALVULA	CAUDAL				CULTIVO	TIPO DE EMISOR DE RIEGO	DOSIS TOTAL DE RIEGO m ³ /día	TIEMPO RIEGO (min)	Vel. De Aplicación (mm/hr)
		VALVULA		TURNO						
		m ³ /hr	l/s	m ³ /hr	l/s					
XII	19	24,30	6,75	72,40	20,11	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	36,20	30,00	10,00
	20	24,55	6,82							
	22	23,54	6,54							
VII	18	22,18	6,16	69,12	19,20	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	34,56	30,00	10,00
	21	24,12	6,70							
	23	22,82	6,34							
VII	25	23,33	6,48	72,43	20,12	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	36,22	30,00	10,00
	27	26,14	7,26							
	28	22,97	6,38							
VII	24	22,14	6,15	60,84	16,90	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	30,42	30,00	10,00
	26	22,39	6,22							
	45	16,31	4,53							
VII	46	25,92	7,20	49,82	13,84	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	24,91	30,00	10,00
	55	8,17	2,27							
	102	15,73	4,37							
VII	47	23,94	6,65	53,42	14,84	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	26,71	30,00	10,00
	48	16,06	4,46							
	49	13,43	3,73							
VII	52	25,34	7,04	59,18	16,44	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	29,59	30,00	10,00
	53	22,57	6,27							
	54	11,27	3,13							
XIX	50	25,34	7,04	51,48	14,30	grass americano	rotores de 1/2" y 3/4"	25,74	30,00	10,00
	51	26,14	7,26							
VII	65	22,57	6,27	67,72	18,81	grass americano	Rotores de 1"	33,86	30,00	10,00
	66	22,57	6,27							
	67	22,57	6,27							
VII	56	25,78	7,16	74,12	20,59	grass americano	Rotores de 1"	37,06	30,00	10,00
	57	25,78	7,16							
	70	22,57	6,27							
VII	61	22,57	6,27	70,92	19,70	grass americano	Rotores de 1"	35,46	30,00	10,00
	62	25,78	7,16							
	63	22,57	6,27							
XXIII	58	25,78	7,16	70,92	19,70	grass americano	rotores de 1"	35,46	30,00	10,00
	59	22,57	6,27							
	60	22,57	6,27							
XXIV	113	28,98	8,05	86,98	24,16	grass americano	rotores de 1"	21,74	15,00	20,00
	71	19,33	5,37							
	72	19,33	5,37							
	73	19,33	5,37							
XXV	64	25,78	7,16	74,12	20,59	grass americano	rotores de 1"	18,53	15,00	20,00
	68	25,78	7,16							
	69	22,57	6,27							

PARAMETROS DE OPERACIÓN "ESCENARIO 2" y "ESCENARIO 2 OPTIMIZADO"

TURNOS	N° VALVULA	CAUDAL				CULTIVO	TIPO DE EMISOR DE RIEGO	DOSIS TOTAL DE RIEGO m ³ /día	TIEMPO RIEGO (min)	Vel. De Aplicación (mm/hr)
		VALVULA		TURNO						
		m ³ /hr	l/s	m ³ /hr	l/s					
XXVI	112	22,57	6,27	80,57	22,38	grass americano	rotores de 1P	20,14	15,00	20,00
	114	25,78	7,16							
	115	32,22	8,95							
XXVII	74	25,38	7,05	76,43	21,23	grass americano	difusores c/boq regulable	8,92	7,00	42,90
	75	25,85	7,18							
	85	25,20	7,00							
XXVIII	76	26,10	7,25	78,30	21,75	grass americano	difusores c/boq regulable	9,14	7,00	42,90
	77	25,02	6,95							
	80	27,18	7,55							
XXVIII	78	25,52	7,09	72,65	20,18	grass americano	difusores c/boq regulable	8,48	7,00	42,90
	79	23,54	6,54							
	81	23,58	6,55							
XXVIII	83	20,16	5,60	71,46	19,85	grass americano	difusores c/boq regulable	8,34	7,00	42,90
	84	26,06	7,24							
	96	25,24	7,01							
XXVIII	86	28,44	7,90	79,45	22,07	grass americano	difusores c/boq regulable	9,27	7,00	42,90
	88	26,24	7,29							
	93	24,77	6,88							
XXVIII	94	19,22	5,34	68,87	19,13	grass americano	difusores c/boq regulable	8,03	7,00	42,90
	95	24,37	6,77							
	90	25,27	7,02							
XXVIII	87	24,26	6,74	73,51	20,42	grass americano	difusores c/boq regulable	8,58	7,00	42,90
	89	25,49	7,08							
	91	23,76	6,60							
XXVIII	98	24,98	6,94	74,88	20,80	grass americano	difusores c/boq regulable	8,74	7,00	42,90
	99	25,78	7,16							
	92	24,12	6,70							
XXVIII	82	25,42	7,06	81,25	22,57	grass americano	difusores c/boq regulable	9,48	7,00	42,90
	97	25,06	6,96							
	105	30,78	8,55							
XXVIII	100	24,59	6,83	77,51	21,53	grass americano	difusores c/boq regulable	9,04	7,00	42,90
	101	23,40	6,50							
	104	29,52	8,20							
XXXVII	106	25,24	7,01	44,89	12,47	grass americano	difusores c/boq regulable	5,24	7,00	42,90
	103	19,66	5,46							
XXXVIII	107	23,04	6,40	46,08	12,80	grass americano	acople c/aspersor de impactor de 024l/h	92,16	120,00	10,00
	108	23,04	6,40							
XXXIX	109	10,94	3,04	66,96	18,60	grass americano	got auto compensado 1.6 l/h @ 0.40 mts. Líneas cada 0.8 mts.	66,96	60,00	5,00
	110	14,04	3,90							
	111	41,98	11,66							

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.5. Descripción de Componentes del Sistema de Riego Seleccionado

5.5.1. Sectores de Riego

El proyecto fue conformado por 115 sectores de riego, cada uno controlado por una electroválvula que puede ser de 1.5", 2" o 3". De los 115 sectores 112 son de aspersión y los tres restantes forman el único turno de goteo.

a. Emisores de riego por aspersión

Fueron los encargados de aplicar agua en forma uniforme a los jardines. Serán casi en su totalidad aspersores del tipo emergente (pop-up). Se utilizarán los siguientes:

a.1) Difusor emergente POP –UP, de ½" con tobera tipo ajustable

Con conexión de entrada de agua en ½" en rosca interior NPT. Fabricado con precisión y moldeado con plástico ABS de gran resistencia, 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.

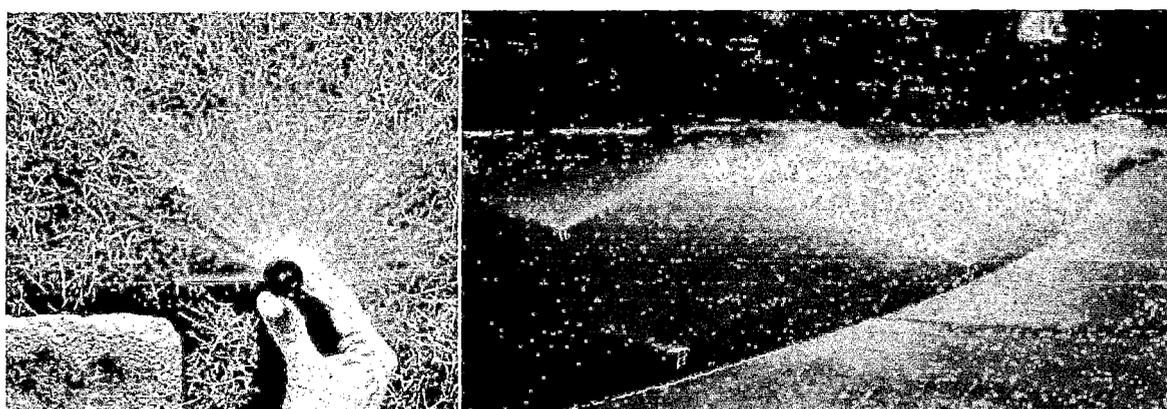


Figura 37. Difusor emergente con tobera ajustable

FUENTE: www.riegopro.com

Rango de operación:

- Espaciamiento: de 1.6 a 5.20 mts. (Según el modelo de tobera que se use).
- Presión de trabajo: 1.4 a 2.5 bar. (trabaja a una presión de 2.1 bar)

- Velocidad de Aplicación prom. : 43 mm/hr

Especificaciones:

- Entrada de 1/2" rosca hembra NPT.
- Toberas intercambiables ajustables, desde la de 1.8 mts de radio hasta la de 5 mts. de radio de alcance. Todas vienen con filtro.

Dimensiones:

- Altura de elevación: 10 cm.
- Altura del cuerpo: 15.5 cm
- Diámetro de superficie expuesta: 5.7 cm.

Datos de rendimiento de las toberas de arco ajustable - Métrico

Arco	2.4 Radio					3.0 Radio					3.7 Radio					4.6 Radio					5.2 Radio						
	Ajustable de 0° a 360° Traectoria: 0°					Tobera Ajustable de 0° a 360° Traectoria: 15°					Tobera Ajustable de 0° a 360° Traectoria: 28°					Tobera Ajustable de 0° a 360° Traectoria: 28°					Tobera Ajustable de 0° a 360° Traectoria: 28°						
	Presión	Radio	Caudal	Pluv	Código de color: Marrón	Radio	Caudal	Pluv	Código de color: Rojo	Radio	Caudal	Pluv	Código de color: Verde	Radio	Caudal	Pluv	Código de color: Negro	Radio	Caudal	Pluv	Código de color: Gris						
45°	1.0	100	1.7	0.04	0.63	104	121	2.1	0.04	0.63	68	79	2.7	0.05	0.81	53	61	3.4	0.07	1.19	50	57	4.7	0.09	1.54	33	39
	1.5	150	2.1	0.05	0.79	86	99	2.4	0.05	0.79	66	76	3.2	0.06	1.01	47	55	3.9	0.09	1.49	47	54	4.9	0.12	1.93	38	44
	2.0	200	2.3	0.06	0.92	84	96	2.9	0.06	0.92	53	61	3.6	0.07	1.18	44	51	4.5	0.10	1.75	41	48	5.1	0.14	2.26	42	46
	2.1	210	2.4	0.06	0.95	79	91	3.0	0.06	0.95	50	58	3.7	0.07	1.22	43	49	4.6	0.11	1.80	41	47	5.2	0.14	2.32	41	42
	2.5	250	2.8	0.06	1.04	64	74	3.5	0.06	1.04	41	47	4.2	0.08	1.34	36	42	5.2	0.12	1.98	35	40	5.7	0.15	2.55	38	43
90°	1.0	100	1.7	0.08	1.26	104	121	2.1	0.08	1.26	68	79	2.7	0.10	1.62	53	61	3.4	0.14	2.39	50	57	4.7	0.18	3.08	33	39
	1.5	150	2.1	0.09	1.57	86	99	2.4	0.09	1.57	66	76	3.2	0.12	2.02	47	55	3.9	0.18	2.89	47	54	4.9	0.23	3.85	38	44
	2.0	200	2.3	0.11	1.84	84	96	2.9	0.11	1.84	53	61	3.6	0.14	2.37	44	51	4.5	0.21	3.50	41	48	5.1	0.27	4.51	42	46
	2.1	210	2.4	0.11	1.89	79	91	3.0	0.11	1.89	50	58	3.7	0.15	2.43	43	49	4.6	0.22	3.59	41	47	5.2	0.28	4.63	41	42
	2.5	250	2.8	0.12	2.08	64	74	3.5	0.12	2.08	41	47	4.2	0.14	2.60	36	42	5.2	0.24	3.95	35	40	5.7	0.31	5.10	38	43
120°	1.0	100	1.7	0.10	1.68	104	121	2.1	0.10	1.68	68	79	2.7	0.13	2.16	53	61	3.4	0.19	3.18	50	57	4.7	0.25	4.11	33	39
	1.5	150	2.1	0.13	2.10	86	99	2.4	0.13	2.10	66	76	3.2	0.16	2.70	47	55	3.9	0.24	3.98	47	54	4.9	0.31	5.13	38	44
	2.0	200	2.3	0.15	2.46	84	96	2.9	0.15	2.46	53	61	3.6	0.19	3.16	44	51	4.5	0.28	4.66	41	48	5.1	0.36	6.01	42	46
	2.1	210	2.4	0.15	2.52	79	91	3.0	0.15	2.52	50	58	3.7	0.19	3.24	43	49	4.6	0.29	4.79	41	47	5.2	0.37	6.18	41	42
	2.5	250	2.8	0.17	2.78	64	74	3.5	0.17	2.70	41	47	4.2	0.21	3.57	36	42	5.2	0.32	5.27	35	40	5.7	0.41	6.80	38	43
180°	1.0	100	1.7	0.15	2.52	104	121	2.1	0.15	2.52	68	79	2.7	0.19	3.23	53	61	3.4	0.29	4.77	50	57	4.7	0.37	6.16	33	39
	1.5	150	2.1	0.19	3.14	86	99	2.4	0.19	3.14	66	76	3.2	0.24	4.04	47	55	3.9	0.36	5.97	47	54	4.9	0.46	7.70	38	44
	2.0	200	2.3	0.22	3.68	84	96	2.9	0.22	3.68	53	61	3.6	0.28	4.74	44	51	4.5	0.42	6.99	41	48	5.1	0.54	9.02	42	46
	2.1	210	2.4	0.23	3.78	79	91	3.0	0.23	3.78	50	58	3.7	0.29	4.86	43	49	4.6	0.43	7.18	41	47	5.2	0.56	9.27	41	42
	2.5	250	2.8	0.25	4.16	64	74	3.5	0.25	4.16	41	47	4.2	0.32	5.35	36	42	5.2	0.47	7.90	35	40	5.7	0.61	10.20	38	43
240°	1.0	100	1.7	0.20	3.35	104	121	2.1	0.20	3.35	68	79	2.7	0.24	4.21	53	61	3.4	0.38	6.37	50	57	4.7	0.49	8.21	33	39
	1.5	150	2.1	0.25	4.19	86	99	2.4	0.25	4.19	66	76	3.2	0.32	5.39	47	55	3.9	0.48	7.96	47	54	4.9	0.62	10.27	38	44
	2.0	200	2.3	0.29	4.91	84	96	2.9	0.29	4.91	53	61	3.6	0.38	6.31	44	51	4.5	0.56	9.32	41	48	5.1	0.72	12.03	42	46
	2.1	210	2.4	0.30	5.04	79	91	3.0	0.30	5.04	50	58	3.7	0.39	6.49	43	49	4.6	0.57	9.57	41	47	5.2	0.74	12.35	41	42
	2.5	250	2.8	0.33	5.55	64	74	3.5	0.33	5.55	41	47	4.2	0.43	7.14	36	42	5.2	0.63	10.54	35	40	5.7	0.82	13.60	38	43
270°	1.0	100	1.7	0.23	3.77	104	121	2.1	0.23	3.77	68	79	2.7	0.27	4.65	53	61	3.4	0.43	7.16	50	57	4.7	0.55	9.24	33	39
	1.5	150	2.1	0.28	4.72	86	99	2.4	0.28	4.72	66	76	3.2	0.36	6.06	47	55	3.9	0.54	8.95	47	54	4.9	0.69	11.55	38	44
	2.0	200	2.3	0.33	5.52	84	96	2.9	0.33	5.52	53	61	3.6	0.43	7.10	44	51	4.5	0.63	10.49	41	48	5.1	0.81	13.53	42	46
	2.1	210	2.4	0.34	5.68	79	91	3.0	0.34	5.68	50	58	3.7	0.44	7.30	43	49	4.6	0.65	10.77	41	47	5.2	0.83	13.90	41	42
	2.5	250	2.8	0.37	6.25	64	74	3.5	0.37	6.25	41	47	4.2	0.48	8.03	36	42	5.2	0.71	11.86	35	40	5.7	0.92	15.30	38	43
360°	1.0	100	1.7	0.30	5.03	104	121	2.1	0.30	5.03	68	79	2.7	0.39	6.47	53	61	3.4	0.57	9.55	50	57	4.7	0.74	12.32	33	39
	1.5	150	2.1	0.38	6.29	86	99	2.4	0.38	6.29	66	76	3.2	0.49	8.09	47	55	3.9	0.72	11.94	47	54	4.9	0.92	15.40	38	44
	2.0	200	2.3	0.44	7.37	84	96	2.9	0.44	7.37	53	61	3.6	0.57	9.47	44	51	4.5	0.84	13.98	41	48	5.1	1.08	18.04	42	46
	2.1	210	2.4	0.45	7.57	79	91	3.0	0.45	7.57	50	58	3.7	0.58	9.73	43	49	4.6	0.86	14.36	41	47	5.2	1.11	18.53	41	42
	2.5	250	2.8	0.50	8.33	64	74	3.5	0.50	8.33	41	47	4.2	0.64	10.71	36	42	5.2	0.95	15.81	35	40	5.7	1.22	20.40	38	43

Nota: La regulación de presión integrada del Institucional Spray, limita la salida a un máximo de 2.1 bar (210 kPa).

Figura 38. Características y Rendimientos de los difusores con toberas ajustables

Fuente: Catalogo de Hunter (2014)

a.2) Difusor emergente POP –UP, de ½” con turbina rotator

Este tipo de difusor de ½” debe estar regulado a una presión de trabajo de 2.8 bar para un funcionamiento óptimo cuando se le utiliza con la turbina rotatoria.

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 este proyecto se emplea tres modelos de turbina en sus variedades de medio círculo y de círculo completo.

Rango de operación:

- Caudal: 0.12 a 0.23 l/s
- Radio de trabajo: 4.0 a 6.4 mts.
- Presión de trabajo: 3.0 bar.
- Velocidad de Aplicación prom. : 10 mm/hr

Dimensiones:

- Altura de elevación: 10.00 cm.
- Altura del cuerpo: 15.50 cm
- Diámetro de superficie expuesto: 5.7 cm.

Características de funcionamiento de las turbinas rotatorias:

- Pluviometría ajustada con cualquier configuración de radio o arco.
- Chorros resistentes al viento de trayectoria múltiple, pues suministran el riego más lento y uniformemente que los difusores convencionales; utilizan 30% menos de agua reduciendo la escorrentía en el terreno.
- Diseño “double-pop” que descarga agua en la abertura y el cierre para mantener el aspersor limpio de residuos.
- Filtro de entrada extraíble, que protege al aspersor de partículas internas.

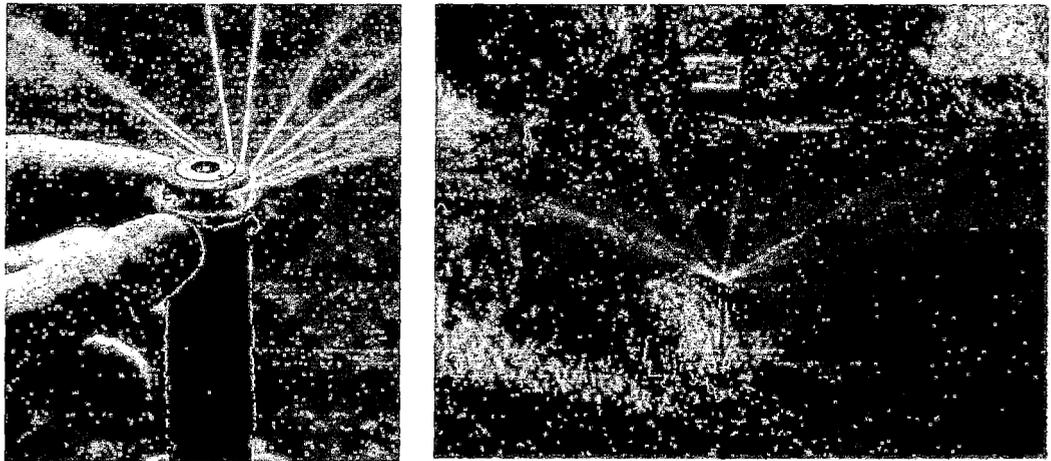


Figura 39. Difusor emergente MP Rotator.

FUENTE: www.hunterindustries.com/es/product/toberas/mp-rotator

MP Rotator Datos de rendimiento - Métrico																			
MP1000					MP2000					MP3000									
Radio: 2.5 a 4.6 m					Radio: 4 a 6.4 m					Radio: 6.7 a 9.1 m									
Arco Ajustable y Círculo Completo					Arco Ajustable y Círculo Completo					Arco Ajustable y Círculo Completo									
Código de Color: Granate, Azul Claro u Oliva					Código de Color: Negro, Verde o Rojo					Código de Color: Azul, Amarillo o Gris									
Arco	Presión Bares	Presión kPa	Radio m	Caudal LPH	Caudal LPM	Pluv. mm/hr ■	Pluv. mm/hr ▲	Color	Radio m	Caudal LPH	Caudal LPM	Pluv. mm/hr ■	Pluv. mm/hr ▲	Color	Radio m	Caudal LPH	Caudal LPM	Pluv. mm/hr ■	Pluv. mm/hr ▲
90°	1.75	175	---	---	---	---	---	Granate, Azul Claro u Oliva	5.2	71	1.18	11	12	Azul, Amarillo o Gris	7.6	158	2.63	11	13
	2.00	200	3.7	36	0.61	11	12		5.5	74	1.23	10	11		8.2	166	2.77	10	11
	2.25	225	3.8	38	0.63	10	12		5.6	80	1.33	10	12		8.4	175	2.92	10	12
	2.50	250	4.0	41	0.68	10	12		5.8	86	1.43	10	12		8.5	185	3.08	10	12
	2.75	275	4.1	42	0.70	10	11		6.1	91	1.52	10	11		9.1	195	3.25	9	11
	3.00	300	4.3	44	0.73	10	11		6.4	94	1.57	9	10		9.1	203	3.38	10	11
	3.25	325	4.3	45	0.75	10	11		6.6	97	1.62	9	10		9.1	212	3.53	10	12
3.50	350	4.4	47	0.78	10	11	6.7	101	1.68	9	10	9.1	220	3.67	11	12			
3.75	375	4.6	49	0.81	9	11	6.7	106	1.77	9	10	9.1	228	3.80	11	13			
180°	1.75	175	---	---	---	---	---	Negro o Rojo	4.9	133	2.22	11	12	Azul, Amarillo o Gris	7.6	329	5.48	11	13
	2.00	200	3.7	72	1.20	11	12		5.2	141	2.35	11	13		8.2	353	5.88	10	12
	2.25	225	3.8	76	1.27	10	12		5.3	150	2.50	11	13		8.4	373	6.22	11	12
	2.50	250	4.0	81	1.35	10	12		5.5	160	2.67	11	12		8.5	393	6.55	11	12
	2.75	275	4.1	84	1.40	10	11		5.8	168	2.80	10	12		9.1	413	6.88	10	11
	3.00	300	4.3	88	1.46	10	11		6.1	174	2.90	10	11		9.1	431	7.18	10	12
	3.25	325	4.3	91	1.51	10	11		6.2	182	3.03	9	11		9.1	449	7.48	11	12
3.50	350	4.4	94	1.56	10	11	6.4	189	3.15	9	10	9.1	465	7.77	11	13			
3.75	375	4.6	97	1.62	9	11	6.4	193	3.22	9	11	9.1	481	8.02	12	13			
210°	1.75	175	---	---	---	---	---	Granate, Azul Claro u Oliva	4.9	155	2.58	11	12	Azul, Amarillo o Gris	7.6	384	6.40	11	13
	2.00	200	3.7	85	1.41	11	13		5.2	165	2.75	11	13		8.2	411	6.85	10	12
	2.25	225	3.8	89	1.48	10	12		5.3	175	2.92	11	13		8.4	436	7.27	11	12
	2.50	250	4.0	95	1.58	10	12		5.5	185	3.08	10	12		8.5	459	7.65	11	12
	2.75	275	4.1	98	1.63	10	11		5.8	195	3.25	10	12		9.1	481	8.02	10	11
	3.00	300	4.3	102	1.71	10	11		6.1	205	3.42	10	11		9.1	502	8.37	10	12
	3.25	325	4.3	106	1.76	10	11		6.2	214	3.57	9	11		9.1	523	8.72	11	12
3.50	350	4.4	109	1.82	10	11	6.4	222	3.70	9	10	9.1	542	9.03	11	13			
3.75	375	4.6	113	1.89	9	11	6.4	228	3.80	10	11	9.1	562	9.37	12	13			
270°	1.75	175	---	---	---	---	---	Negro o Rojo	4.9	199	3.32	11	12	Azul, Amarillo o Gris	7.6	501	8.35	12	13
	2.00	200	3.7	108	1.80	11	13		5.2	212	3.53	11	13		8.2	530	8.83	10	12
	2.25	225	3.8	114	1.90	10	12		5.3	225	3.75	11	13		8.4	560	9.33	11	12
	2.50	250	4.0	123	2.05	10	12		5.5	238	3.97	10	12		8.5	589	9.82	11	12
	2.75	275	4.1	126	2.10	10	11		5.8	249	4.15	10	12		9.1	619	10.32	10	11
	3.00	300	4.3	132	2.20	10	11		6.1	261	4.35	10	11		9.1	645	10.77	10	12
	3.25	325	4.3	135	2.25	10	11		6.2	272	4.53	9	11		9.1	673	11.22	11	12
3.50	350	4.4	141	2.35	10	11	6.4	282	4.70	9	10	9.1	701	11.68	11	13			
3.75	375	4.6	147	2.45	9	11	6.4	293	4.88	9	11	9.1	727	12.12	12	13			
360°	1.75	175	---	---	---	---	---	Granate, Azul Claro u Oliva	4.9	265	4.42	11	12	Azul, Amarillo o Gris	7.6	659	10.98	11	13
	2.00	200	3.5	144	2.40	12	14		5.2	283	4.72	11	13		8.2	703	11.72	10	12
	2.25	225	3.8	153	2.55	11	13		5.3	300	5.00	11	13		8.4	745	12.42	11	12
	2.50	250	4.0	161	2.69	10	12		5.5	317	5.28	10	12		8.5	786	13.10	11	12
	2.75	275	4.1	169	2.81	10	12		5.8	333	5.55	10	12		9.1	825	13.75	10	11
	3.00	300	4.3	177	2.94	10	11		6.1	348	5.80	10	11		9.1	862	14.37	10	12
	3.25	325	4.3	183	3.05	10	11		6.2	362	6.03	9	11		9.1	897	14.95	11	12
3.50	350	4.4	190	3.17	10	11	6.4	375	6.25	9	10	9.1	931	15.52	11	13			
3.75	375	4.5	195	3.25	10	11	6.4	384	6.40	9	10	9.1	964	16.07	12	13			

Figura 40. Características y rendimientos del Difusor MP Rotator

FUENTE: Catalogo de Hunter (2014)

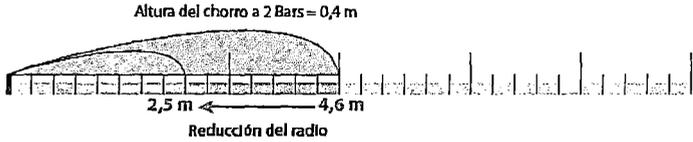
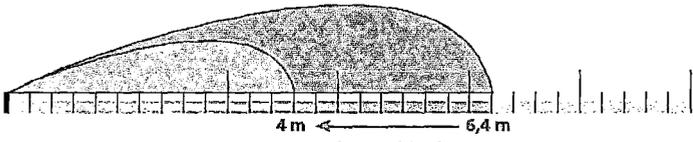
Radio ajustable		Arco ajustable		
<p>Todos los modelos del MP Rotator permiten ajustar el radio fácilmente hasta en un 25% y mantener la pluviometría ajustada automática.</p>		 90° a 210°	 210° a 270°	 360°
MP1000  <p>Altura del chorro a 2 Bars = 0,4 m 2,5 m ← 4,6 m Reducción del radio</p>	MP1000-90-210  Granate	MP1000-210-270  Azul claro	MP1000-360  Aceituna	
MP2000  <p>Altura del chorro a 2 Bars = 1 m 4 m ← 6,4 m Reducción del radio</p>	MP2000-90-210  Negro	MP2000-210-270  Verde olivo	MP2000-360  Rojo	
MP3000  <p>Altura del chorro a 2,8 Bars = 2 m 6,7 m ← 9,1 m Reducción del radio</p>	MP3000-90-210  Azul	MP3000-210-270  Amarillo	MP3000-360  Gris	

Figura 41. Radios de alcance según modelo de difusor MP Rotator

FUENTE: Catalogo de Hunter (2014)

a.3) Aspersor rotor emergente de ½"

Aspersor rotor emergente POP-UP, de ½" de conexión de entrada, rosca interior NPT. Rotor con ajuste de giro parcial y completo en un mismo equipo. Viene con juego de 6 boquillas. Su tornillo de ajuste permite mayor precisión en el ajuste del radio de alcance, sea cuando está operando o no.

Rango de operación:

- Caudal: 0.13 a 1.23 m³/h.
- Radio: de 4 a 11mts (se le está empleando para trabajar a no más de 7.5 mts de radio).
- Pluviometrías: 10 mm/h aproximadamente.

- Intervalo de presión de funcionamiento: 1.4 a 6.9 bar. Se ha diseñado para 3 bares.

Dimensiones:

- Altura de elevación: 10 cm.
- Altura del cuerpo: 18 cm.
- Diámetro de superficie expuesto: 3 cm.

Características:

- Tapa de goma de protección que mantiene la suciedad fuera.
- Filtro extra grande que atrapa más partículas, evitando que se obstruya.
- Arco ajustable de 40° a 360°, se ajusta fácilmente por la parte superior.
- Excelente engranaje de gran durabilidad, lubricado por agua.
- Juego de 8 toberas intercambiables. El proyecto emplea la tobera estándar N° 2.

a.4) *Aspersor rotor emergente de 3/4"*

Rotor con ajuste de giro parcial y completo en un mismo equipo. Viene con juego de 12 boquillas. Su conexión de entrada es roscada interior NPT.

Rango de operación:

- Altura de elevación: 10 cm.
- Caudal: 0.10 a 3.22 m³/h.
- Pluviometrías: 10 mm/h aproximadamente.
- Radio: de 6.4 a 15.8mts. (se le está usando a un espaciamiento máximo de 10 mts entre equipo y equipo).
- Intervalo de presión operativa: 1.4 – 7 bares. Se ha diseñado para 3 bar.

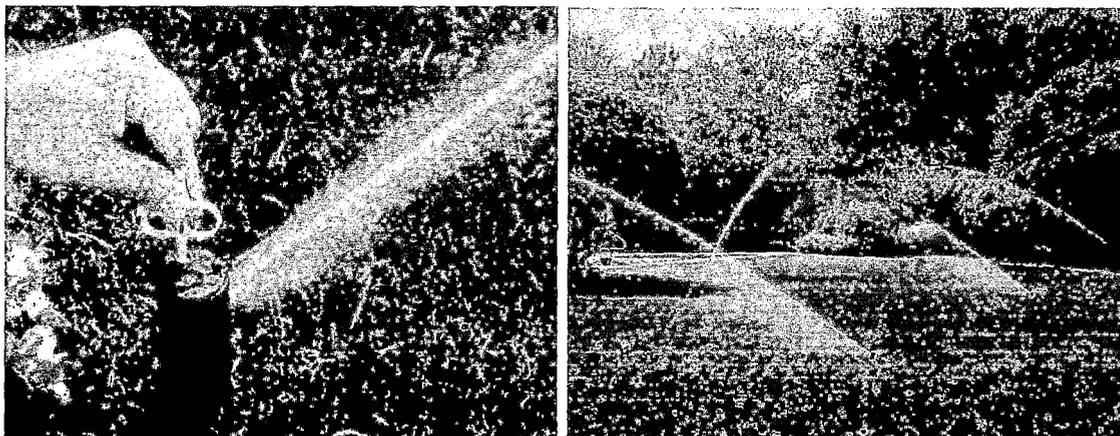


Figura 42. Aspersor rotor emergente de ½” y ¾”

FUENTE: <http://www.hunterindustries.com/es/products>

Características:

- Cubierta de goma integral con orificio cubierto por membrana, la suciedad se mantiene fuera en todo momento.
- Ajuste por la parte superior con símbolos de fácil lectura, sea parado o en funcionamiento siempre es fácil de ajustar.
- Juego completo de 12 toberas estándar, 7 de ángulo bajo y 8 nuevas toberas azules intercambiables según los requerimientos del riego. El proyecto emplea las toberas estándar N° 4 y 7.
- Excelente engranaje de gran durabilidad, lubricado por agua.

a.5) Aspersor rotor emergente de 1”

Aspersor rotor emergente de 1” de conexión de entrada, rosca interior NPT, de largo alcance.

Rotor con ajuste de giro parcial y completo, para riego de campos deportivos y grandes espacios abiertos. Tapa y cuerpo con rebordes de gran resistencia para aguantar tráfico denso, y son de fácil mantenimiento.

Rango de operación:

- Caudal: 0.82 a 7.24 m³/h.

- Radio: 11.9 a 21.6 mts. El diseño contempla un espaciamiento máximo de 17 mts entre equipo y equipo.
- Intervalo de presión de trabajo: de 2.5 a 7 bar. Se ha diseñado para 4.5 bar.
- Pluviometrías:

{	Rotores 180 ° → 20 mm/hr
	Rotores 360 ° → 10 mm/hr
- Tobera empleada: la N° 15 (color gris, de 0.895 l/s).

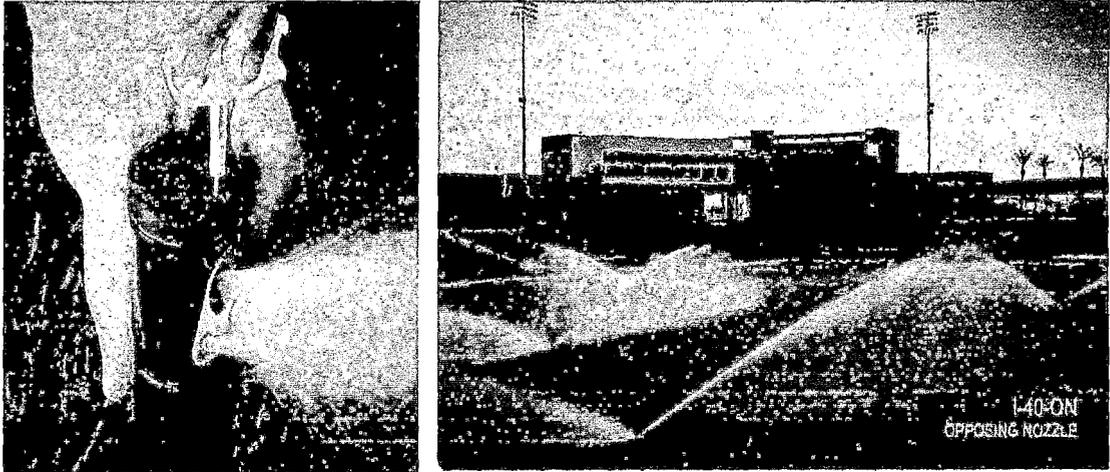


Figura 43. Aspersor rotor emergente de 1”

FUENTE: <http://www.hunterindustries.com/es/products>

a.6) Aspersor de impacto de ¾”

Con rosca interior de entrada NTP. De cuerpo de plástico, de giro parcial.

Rango de operación:

- Caudal: 0.8 a 1.4 m³/h.
- Radio: 12mts. El diseño contempla un espaciamiento máximo de 12mts entre aspersores.
- Intervalo de presión de trabajo: de 1.7 a 4.5 bar. Se ha diseñado para 2.1 bar.

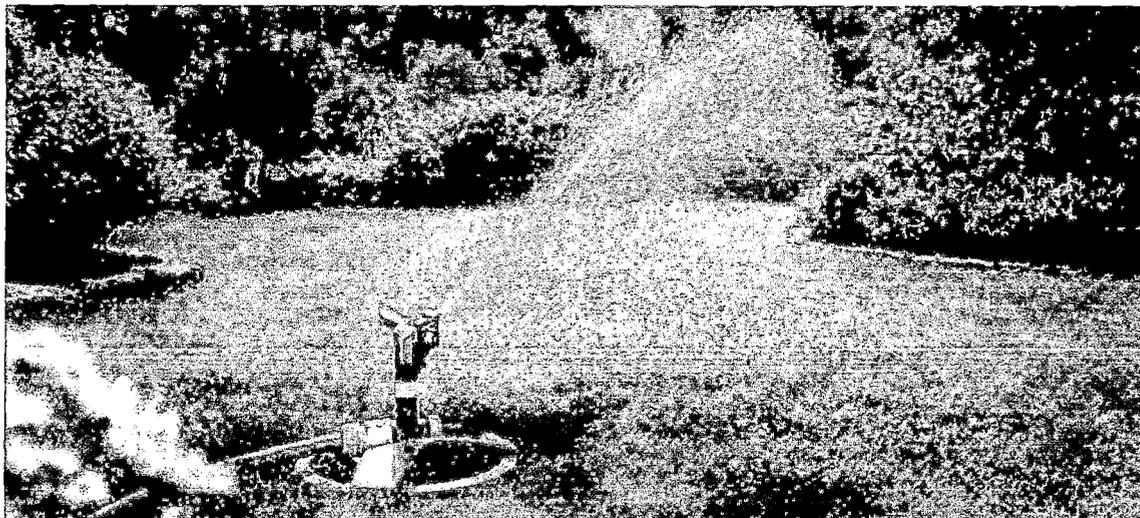


Figura 44. Aspersor de impacto de 3/4"

FUENTE: <http://flickrhivemind.net/Tags/aspersores/Timeline>

a.7) Emisores de riego por goteo

Para el goteo se ha considerado usar manguera de polietileno de baja densidad de 16 mm, con goteros autocompensados integrados de 1.6 l/h cada 0.40 mts. Las líneas de goteo irán cada 0.8 mts.

5.6. Diseño y Cálculos Hidráulicos

Se hizo el cálculo hidráulico de diversos escenarios planteados, de acuerdo a los diversos criterios.

Primero se mostrará los resultados del análisis hidráulico del “**Escenario 1**” y “**Escenario 2**”, y posteriormente, después de realizar los respectivos dimensionamientos óptimos de cada uno de los escenarios en GESTAR se mostrará el análisis hidráulico del “**Escenario 1 Optimizado**” y “**Escenario 2 Optimizado**”

5.6.1. Diseño de la red del Escenario 1y Escenario 2

Ambos escenarios trabajan en la misma red, pero con distintos parámetros de operación.

La red principal de los escenarios fue conformado por:

De menor a mayor diámetro la red principal fue conformada por una longitud de 4.4 m para tuberías de 63 mm de diámetro, 78.3 m para tuberías de 75 mm de diámetro, 104 m para tuberías de 90 mm de diámetro, 488.4 m para tuberías de 110 mm de diámetro, 2678.2 m para tuberías de 140 mm de diámetro, 626.1 m para tuberías de 160 mm de diámetro.

De la red se puede observar que los diámetro de 63, 75 y 90 mm en su mayoría son tuberías de tramo corto que salen de la tubería principal hasta cada una de las 115 electroválvulas. Por otro lado los diámetros 110, 140 y 160 mm forman parte de la tubería principal, siendo el 67% del total de las tuberías de 140mm.

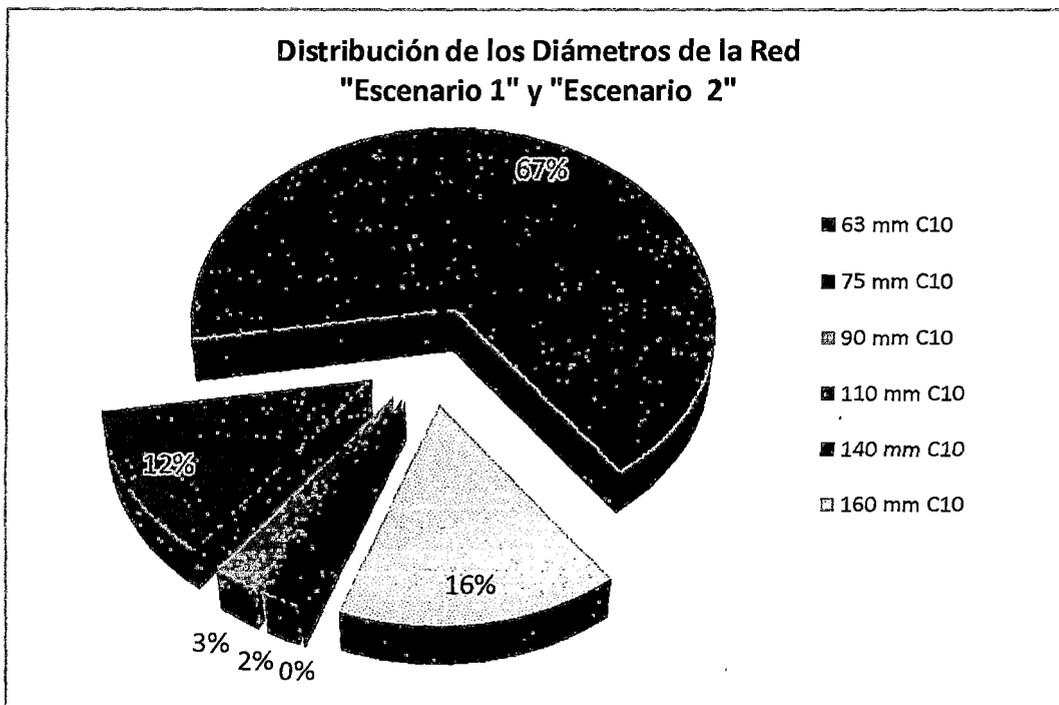


Figura 45. Distribución de los Diámetros de la Red. “Escenario 1” y “Esc. 2”

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

La clase que se asignó a toda la red de tuberías es de 10, esta clase asignada en este escenario garantiza el soporte a solicitudes internas que se presentarán cuando el sistema entre en funcionamiento.

El costo total de la red del “Escenario 1” y “Escenario 2” con los diámetros planteados es de 92 923 soles.

	MATERIAL	TIMBRAJE	D. NOMINAL	PRECIO UNIT	LONGITUD	S/. IMPORTE
1	PVC	CLASE_10	63	5,01	4,40	22,04
2	PVC	CLASE_10	75	7,02	78,34	549,93
3	PVC	CLASE_10	90	10,04	103,96	1043,72
4	PVC	CLASE_10	110	14,82	493,43	7238,49
5	PVC	CLASE_10	140	24,03	2678,17	64356,40
6	PVC	CLASE_10	160	31,48	626,09	19709,40

Importe Total S/. **92.923,03**

Figura 46. Resultado del costo de la red del “Escenario 1” y “Escenario 2” en Gestar

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

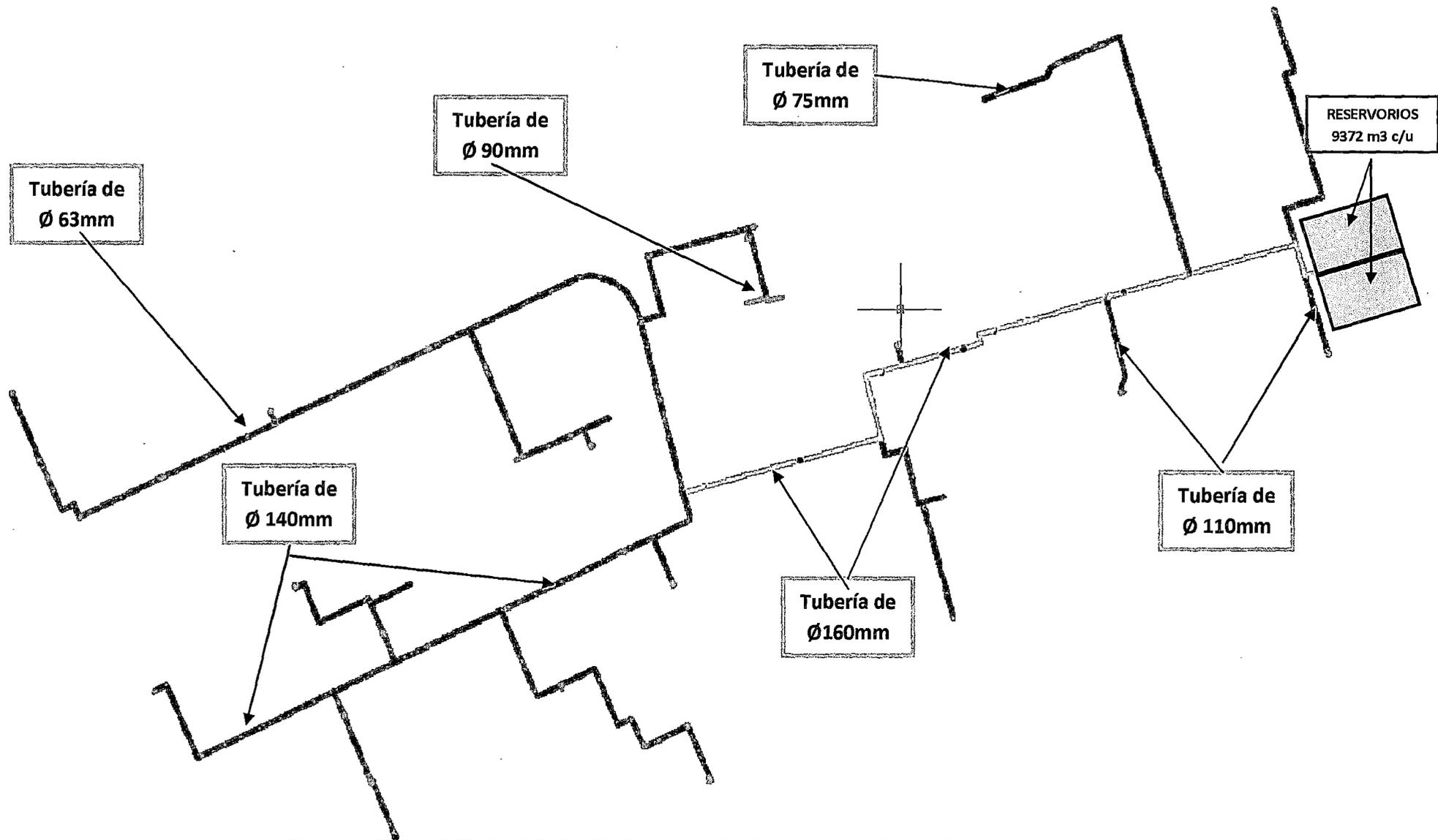


Figura 47. ESQUEMA HIDRAULICO DEL "ESCENARIO 1" y "ESCENARIO 2"

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

a. Cálculos hidráulicos del “escenario 1”

Los cálculos hidráulicos fueron realizados a nivel de toda la matriz principal hasta cada una de las válvulas, las cuales fueron agrupadas en turnos.

La CDT del turno corresponde al requerimiento máximo de presión de las válvulas que lo conforman, y el caudal del turno corresponde a la suma de los caudales de las válvulas que forman parte del éste.

Cuadro 23. Cálculos Hidráulicos del “Escenario 1”

COTA DE BORDE DE RESERVORIO (m)		CALCULOS HIDRAULICOS - ESCENARIO 1												
242,25		Cota de Válvula	Desnivel Topográfico (m)	ΔH en Matriz (m)	Perdida Singularidades 10% (m)	H. Cabezal (m)	P. Trabajo (m)	H Arco de Riego (m)	ΔH máx. en Sub unidad 10% (m)	Margen de Seguridad 10% (m)	Profundidad de Reservorio (m)	CDT (m)	CAUDAL L/S	
TURNOS	N° VALVULA													
I	1	233,4	-8,85	6,37	0,637	10	30	2,5	3	5,251	4	52,91	6,49	
	9	234,4	-7,85	5,63	0,563	10	30	2,5	3	5,169	4	53,01	7,04	
	45	238	-4,25	4,45	0,445	10	30	2,5	3	5,040	4	55,18	4,53	
												55,18	18,06	
II	2	233,4	-8,85	4,69	0,469	10	30	2,5	3	5,066	4	50,87	6,37	
	19	238,25	-4	3,97	0,397	10	30	2,5	3	4,987	4	54,85	6,75	
	48	240,75	-1,5	2,61	0,261	10	30	2,5	3	4,837	4	55,71	4,46	
												55,71	17,58	
III	3	233,5	-8,75	4,73	0,473	10	30	2,5	3	5,070	4	51,02	6,46	
	16	235,9	-6,35	3,85	0,385	10	30	2,5	3	4,974	4	52,36	6,93	
	49	240,5	-1,75	1,72	0,172	10	30	2,5	3	4,739	4	54,38	3,73	
												54,38	17,12	
IV	15	235,35	-6,9	4,71	0,471	10	30	2,5	3	5,068	4	52,85	7,34	
	43	239	-3,25	4,54	0,454	10	30	2,5	3	5,049	4	56,29	7,26	
	55	239,25	-3	2,96	0,296	10	30	2,5	3	4,876	4	54,63	2,27	
												56,29	16,87	
V	8	234,4	-7,85	5,23	0,523	10	30	2,5	3	5,125	4	52,53	7,58	
	32	236,25	-6	4,94	0,494	10	30	2,5	3	5,093	4	54,03	6,72	
	102	240	-2,25	2,55	0,255	10	30	2,5	3	4,831	4	54,89	4,37	
												54,89	18,67	
VI	5	234,25	-8	5,88	0,588	10	30	2,5	3	5,197	4	53,16	6,16	
	12	235,5	-6,75	5,87	0,587	10	30	2,5	3	5,196	4	54,40	6,25	
	24	237,75	-4,5	5,41	0,541	10	30	2,5	3	5,145	4	56,10	6,15	
												56,10	18,56	
VII	7	234,4	-7,85	5,63	0,563	10	30	2,5	3	5,169	4	53,01	6,93	
	42	235,75	-6,5	5,32	0,532	10	30	2,5	3	5,135	4	53,99	6,88	
	54	242	-0,25	0,16	0,016	10	30	2,5	3	4,568	4	53,99	3,13	
												53,99	16,94	
VIII	18	236,25	-6	6,29	0,629	10	30	2,5	3	5,242	4	55,66	6,16	
	6	234	-8,25	7,15	0,715	10	30	2,5	3	5,337	4	54,45	6,25	
	31	236,25	-6	5,63	0,563	10	30	2,5	3	5,169	4	54,86	6,26	
												55,66	18,67	

VIII	18	236,25	-6	6,29	0,629	10	30	2,5	3	5,242	4	55,66	6,16
	6	234	-8,25	7,15	0,715	10	30	2,5	3	5,337	4	54,45	6,25
	31	236,25	-6	5,63	0,563	10	30	2,5	3	5,169	4	54,86	6,26
												55,66	18,67
IX	23	236,5	-5,75	6,53	0,653	10	30	2,5	3	5,268	4	56,20	6,34
	35	236,9	-5,35	5,87	0,587	10	30	2,5	3	5,196	4	55,80	6,38
	17	235,9	-6,35	6,44	0,644	10	30	2,5	3	5,258	4	55,49	6,21
												56,20	18,93
X	30	236,85	-5,4	5,81	0,581	10	30	2,5	3	5,189	4	55,68	6,19
	33	235,85	-6,4	5,99	0,599	10	30	2,5	3	5,209	4	54,90	6,26
	26	237,25	-5	5,23	0,523	10	30	2,5	3	5,125	4	55,38	6,22
												55,68	18,67
XI	4	234,25	-8	3,5	0,35	10	30	2,5	3	4,935	4	50,29	6,16
	11	235,75	-6,5	3,41	0,341	10	30	2,5	3	4,925	4	51,68	6,56
	53	242	-0,25	0,47	0,047	10	30	2,5	3	4,602	4	54,37	6,27
												54,37	18,99
XII	25	237	-5,25	5,72	0,572	10	30	2,5	3	5,179	4	55,72	6,48
	41	235,25	-7	6,88	0,688	10	30	2,5	3	5,307	4	55,37	6,62
	37	236,5	-5,75	5,71	0,571	10	30	2,5	3	5,178	4	55,21	6,09
												55,72	19,19
XIII	10	235,75	-6,5	3,64	0,364	10	30	2,5	3	4,950	4	51,95	6,74
	40	235,15	-7,1	3,69	0,369	10	30	2,5	3	4,956	4	51,41	6,61
												51,95	13,35
XIV	52	242,75	0,5	0,62	0,062	10	30	2,5	3	4,618	4	55,30	7,04
	39	235,6	-6,65	1,78	0,178	10	30	2,5	3	4,746	4	49,55	6,72
												55,30	13,76
XV	13	236,25	-6	3,52	0,352	10	30	2,5	3	4,937	4	52,31	6,87
	44	238	-4,25	3,1	0,31	10	30	2,5	3	4,891	4	53,55	7,32
												53,55	14,19
XVI	14	235,75	-6,5	3,61	0,361	10	30	2,5	3	4,947	4	51,92	7,34
	34	238,25	-4	3,09	0,309	10	30	2,5	3	4,890	4	53,79	6,54
												53,79	13,88
XVII	20	238,25	-4	3,74	0,374	10	30	2,5	3	4,961	4	54,58	6,82
	36	236,75	-5,5	3,34	0,334	10	30	2,5	3	4,917	4	52,59	6,60
												54,58	13,42
XVIII	22	237,85	-4,4	3,36	0,336	10	30	2,5	3	4,920	4	53,72	6,54
	46	238,5	-3,75	2,32	0,232	10	30	2,5	3	4,805	4	53,11	7,20
												53,72	13,74
XIX	38	236,2	-6,05	1,5	0,15	10	30	2,5	3	4,715	4	49,82	6,31
	51	242,75	0,5	0,78	0,078	10	30	2,5	3	4,636	4	55,49	7,26
												55,49	13,57
XX	28	236,75	-5,5	1,01	0,101	10	30	2,5	3	4,661	4	49,77	6,38
	50	242,75	0,5	0,68	0,068	10	30	2,5	3	4,625	4	55,37	7,04
												55,37	13,42
XXI	21	237,5	-4,75	1,98	0,198	10	30	2,5	3	4,768	4	51,70	6,70
	47	241,25	-1	1,04	0,104	10	30	2,5	3	4,664	4	54,31	6,65
												54,31	13,35

XXII	27	236	-6,25	3,21	0,321	10	30	2,5	3	4,903	4	51,68	7,26
	29	236,85	-5,4	3,77	0,377	10	30	2,5	3	4,965	4	53,21	6,41
												53,21	13,67
XXIII	69	239,25	-3	2,82	0,282	10	45	2,5	4,5	6,510	4	72,61	6,27
	75	241,25	-1	1,65	0,165	10	45	2,5	4,5	6,382	4	73,20	8,95
	78	238,75	-3,5	3,32	0,332	10	45	2,5	4,5	6,565	4	72,72	5,37
												73,20	20,59
XXIV	65	239,25	-3	2,85	0,285	10	45	2,5	4,5	6,514	4	72,65	6,27
	57	241	-1,25	1,67	0,167	10	45	2,5	4,5	6,384	4	72,97	7,16
	70	239	-3,25	3,37	0,337	10	45	2,5	4,5	6,571	4	73,03	6,27
												73,03	19,70
XXV	66	239,25	-3	3,56	0,356	10	45	2,5	4,5	6,592	4	73,51	6,27
	56	241	-1,25	1,65	0,165	10	45	2,5	4,5	6,382	4	72,95	7,16
	67	239,25	-3	3,6	0,36	10	45	2,5	4,5	6,596	4	73,56	6,27
												73,56	19,70
XXVI	102	241,75	-0,5	1,04	0,104	10	45	2,5	4,5	6,314	4	72,96	6,27
	105	240,75	-1,5	1,58	0,158	10	45	2,5	4,5	6,374	4	72,61	8,05
	110	241	-1,25	2,14	0,214	10	45	2,5	4,5	6,435	4	73,54	7,16
												73,54	21,48
XXVII	61	241	-1,25	3,36	0,336	10	45	2,5	4,5	6,570	4	75,02	6,27
	62	241	-1,25	3,39	0,339	10	45	2,5	4,5	6,573	4	75,05	7,16
	59	241,5	-0,75	1,1	0,11	10	45	2,5	4,5	6,321	4	72,78	6,27
												75,05	19,70
XXVIII	63	241	-1,25	1,76	0,176	10	45	2,5	4,5	6,394	4	73,08	6,27
	58	241	-1,25	1,3	0,13	10	45	2,5	4,5	6,343	4	72,52	7,16
	60	241,75	-0,5	0,96	0,096	10	45	2,5	4,5	6,306	4	72,86	6,27
												73,08	19,70
XXIX	68	239,25	-3	2,12	0,212	10	45	2,5	4,5	6,433	4	71,77	7,16
	72	238,6	-3,65	2,52	0,252	10	45	2,5	4,5	6,477	4	71,60	5,37
												71,77	12,53
XXX	64	239,25	-3	1,95	0,195	10	45	2,5	4,5	6,415	4	71,56	7,16
	71	239	-3,25	2,26	0,226	10	45	2,5	4,5	6,449	4	71,68	5,37
												71,68	12,53
XXXI	93	234,75	-7,5	6,11	0,611	10	21	2,5	2,1	4,232	4	43,05	6,88
	99	238,25	-4	6,36	0,636	10	21	2,5	2,1	4,260	4	46,86	7,16
	103	240,25	-2	2,44	0,244	10	21	2,5	2,1	3,828	4	44,11	5,46
												46,86	19,50
XXXII	79	236,5	-5,75	4,73	0,473	10	21	2,5	2,1	4,080	4	43,13	6,54
	94	235,5	-6,75	4,62	0,462	10	21	2,5	2,1	4,068	4	42,00	5,34
	101	239,25	-3	3,52	0,352	10	21	2,5	2,1	3,947	4	44,42	6,50
												44,42	18,38
XXXIII	81	236,5	-5,75	5,33	0,533	10	21	2,5	2,1	4,146	4	43,86	6,55
	89	235,75	-6,5	5,5	0,55	10	21	2,5	2,1	4,165	4	43,32	7,08
	100	239,25	-3	3,65	0,365	10	21	2,5	2,1	3,962	4	44,58	6,83
												44,58	20,46

XXXIV	74	233,5	-8,75	9,53	0,953	10	21	2,5	2,1	4,608	4	45,94	7,05
	96	237,5	-4,75	9,08	0,908	10	21	2,5	2,1	4,559	4	49,40	7,01
	92	236	-6,25	6,29	0,629	10	21	2,5	2,1	4,252	4	44,52	6,70
												49,40	20,76
XXXV	77	235	-7,25	7,1	0,71	10	21	2,5	2,1	4,341	4	44,50	6,95
	87	235,25	-7	7,22	0,722	10	21	2,5	2,1	4,354	4	44,90	6,74
	97	238	-4,25	5,97	0,597	10	21	2,5	2,1	4,217	4	46,13	6,96
												46,13	20,65
XXXVI	78	235,75	-6,5	4,41	0,441	10	21	2,5	2,1	4,045	4	42,00	7,09
	95	235,5	-6,75	4,33	0,433	10	21	2,5	2,1	4,036	4	41,65	6,77
	106	241,25	-1	1,77	0,177	10	21	2,5	2,1	3,755	4	44,30	7,01
												44,30	20,87
XXXVII	75	233,5	-8,75	8,1	0,81	10	21	2,5	2,1	4,451	4	44,21	7,18
	83	237,75	-4,5	6,84	0,684	10	21	2,5	2,1	4,312	4	46,94	5,60
	98	237,75	-4,5	5,79	0,579	10	21	2,5	2,1	4,197	4	45,67	6,94
												46,94	19,72
XXXVIII	85	233,6	-8,65	7,38	0,738	10	21	2,5	2,1	4,372	4	43,44	7,00
	90	235,75	-6,5	7,67	0,767	10	21	2,5	2,1	4,404	4	45,94	7,02
	91	236	-6,25	7,4	0,74	10	21	2,5	2,1	4,374	4	45,86	6,60
												45,94	20,62
XXXIX	86	234	-8,25	5,47	0,547	10	21	2,5	2,1	4,162	4	41,53	7,90
	105	238,5	-3,75	3,25	0,325	10	21	2,5	2,1	3,918	4	43,34	8,55
											4	43,34	16,45
XL	82	238,25	-4	3	0,3	10	21	2,5	2,1	3,890	4	42,79	7,06
	104	239,5	-2,75	2,88	0,288	10	21	2,5	2,1	3,877	4	43,89	8,20
												43,89	15,26
XLI	88	235,25	-7	4,06	0,406	10	21	2,5	2,1	4,007	4	41,07	7,29
	80	234,25	-8	4,76	0,476	10	21	2,5	2,1	4,084	4	40,92	7,55
												41,07	14,84
XLII	84	238,5	-3,75	4,45	0,445	10	21	2,5	2,1	4,050	4	44,79	7,24
	76	235	-7,25	5,17	0,517	10	21	2,5	2,1	4,129	4	42,17	7,25
												44,79	14,49
XLIII	107	239,5	-2,75	1,58	0,158	10	21	2,5	2,1	3,734	4	42,32	6,40
	108	239,5	-2,75	1,59	0,159	10	21	2,5	2,1	3,735	4	42,33	6,40
												42,33	12,80
XLIV	109	241,5	-0,75	1,25	0,125	10	15	2,5	1,5	3,038	4	36,66	3,04
	110	241,5	-0,75	1,93	0,193	10	15	2,5	1,5	3,112	4	37,49	3,90
	111	241,5	-0,75	1,93	0,193	10	15	2,5	1,5	3,112	4	37,49	11,66
												37,49	18,60

FUENTE: Elaboración Propia.

Como resumen del cuadro anterior se muestra el siguiente cuadro, donde figuran los requerimientos de presión y caudal para cada uno de los 44 turnos que tiene el escenario 1.

Cuadro 24. Cuadro de requerimiento de presión y caudal para cada turno del “Escenario 1”

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
I	18,06	55,18
II	17,58	55,71
III	17,12	54,38
IV	16,87	56,29
V	18,67	54,89
VI	18,56	56,10
VII	16,94	53,99
VIII	18,67	55,66
IX	18,93	56,20
X	18,67	55,68
XI	18,99	54,37
XII	19,19	55,72
XIII	13,35	51,95
XIV	13,76	55,30
XV	14,19	53,55
XVI	13,88	53,79
XVII	13,42	54,58
XVIII	13,74	53,72
XIX	13,57	55,49
XX	13,42	55,37
XXI	13,35	54,31
XXII	13,67	53,21
XXIII	20,59	73,20
XXIV	19,7	73,03
XXV	19,7	73,56
XXVI	21,48	73,54
XXVII	19,7	75,05
XXVIII	19,7	73,08
XXIX	12,53	71,77
XXX	12,53	71,68
XXXI	19,5	46,86
XXXII	18,38	44,42
XXXIII	20,46	44,58
XXXIV	20,76	49,40
XXXV	20,65	46,13
XXXVI	20,87	44,30
XXXVII	19,72	46,94
XXXVIII	20,62	45,94
XXXIX	16,45	43,34
XL	15,26	43,89
XLI	14,84	41,07
XLII	14,49	44,79
XLIII	12,8	42,33
XLIV	18,6	37,49
MAX	21,48	75,05
MIN	12,53	37,49

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

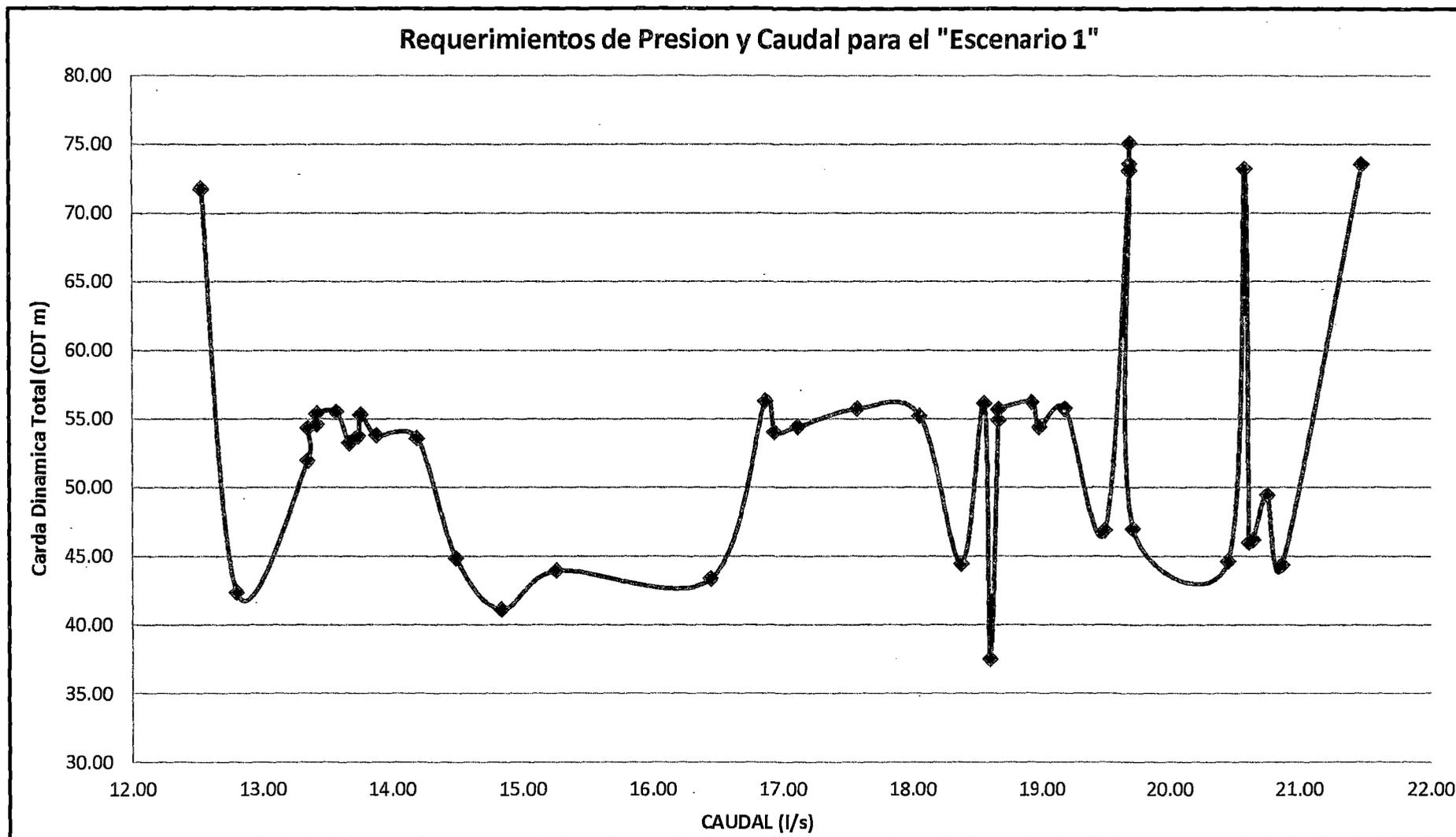


Figura 48. Requerimiento de Presión y Caudal para el “Escenario 1”

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Del cuadro de requerimientos de presión y caudal se halló las velocidades a las que debe girar el motor de la bomba para cada uno de los turnos respectivos con la finalidad de satisfacer de manera exacta los requerimientos.

Cuadro 25. Porcentaje de RPM requerido respecto al RPM nominal. “Escenario 1”

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)	RPM nominal (Nn)	3540
			RPM requerido (N2)	Porcentaje respecto al RPM nominal % (N2/Nn)
I	18,06	55,18	2933,56	82,87%
II	17,58	55,71	2931,95	82,82%
III	17,12	54,38	2890,31	81,65%
IV	16,87	56,29	2926,43	82,67%
V	18,67	54,89	2947,28	83,26%
VI	18,56	56,10	2968,84	83,87%
VII	16,94	53,99	2876,89	81,27%
VIII	18,67	55,66	2963,33	83,71%
IX	18,93	56,20	2983,61	84,28%
X	18,67	55,68	2963,74	83,72%
XI	18,99	54,37	2948,31	83,29%
XII	19,19	55,72	2983,39	84,28%
XIII	13,35	51,95	2730,99	77,15%
XIV	13,76	55,30	2817,43	79,59%
XV	14,19	53,55	2786,00	78,70%
XVI	13,88	53,79	2784,52	78,66%
XVII	13,42	54,58	2794,80	78,95%
XVIII	13,74	53,72	2780,13	78,53%
XIX	13,57	55,49	2818,64	79,62%
XX	13,42	55,37	2813,38	79,47%
XXI	13,35	54,31	2787,28	78,74%
XXII	13,67	53,21	2766,82	78,16%
XXIII	20,59	73,20	3372,68	95,27%
XXIV	19,70	73,03	3345,89	94,52%
XXV	19,70	73,56	3356,18	94,81%
XXVI	21,48	73,54	3406,88	96,24%
XXVII	19,70	75,05	3384,88	95,62%
XXVIII	19,70	73,08	3346,86	94,54%
XXIX	12,53	71,77	3145,49	88,86%
XXX	12,53	71,68	3143,66	88,80%
XXXI	19,50	46,86	2813,96	79,49%
XXXII	18,38	44,42	2714,10	76,67%
XXXIII	20,46	44,58	2810,55	79,39%
XXXIV	20,76	49,40	2921,78	82,54%
XXXV	20,65	46,13	2851,04	80,54%
XXXVI	20,87	44,30	2825,76	79,82%
XXXVII	19,72	46,94	2825,15	79,81%
XXXVIII	20,62	45,94	2845,77	80,39%
XXXIX	16,45	43,34	2614,04	73,84%
XL	15,26	43,89	2593,53	73,26%
XLI	14,84	41,07	2510,83	70,93%
XLII	14,49	44,79	2594,38	73,29%
XLIII	12,80	42,33	2481,84	70,11%
XLIV	18,60	37,49	2569,44	72,58%
			MAX	70,11%

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se insertaron en la tabla de EPANET el porcentaje correspondiente que representa las RPM requeridos (N2) respecto al RPM nominal hallados en el cuadro anterior. La metodología fue explicada en el apartado correspondiente.

En el siguiente cuadro se hace la comparación entre los resultados obtenidos con Excel y los hallados mediante la simulación en EPANET, esto se hace con la finalidad de verificar que los datos ingresados estén correctos en ambos, además la aproximación entre ambos resultados es evidencia de que se hicieron los procedimientos adecuados, aumentando la confiabilidad de los datos obtenidos.

Cuadro 26. Comparación de los resultados de presión obtenidos con Excel y Epanet. "Escenario 1"

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia	TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
I	1	43,66	43,62	0,04	XI	4	44,87	44,72	0,15
	9	43,40	43,36	0,04		11	43,46	43,32	0,14
	45	40,98	40,94	0,04		53	40,15	40,01	0,14
II	2	45,87	45,83	0,04	XII	25	41,25	41,11	0,14
	19	41,74	41,69	0,05		41	41,84	41,69	0,15
	48	40,60	40,56	0,04		37	41,76	41,61	0,15
III	3	44,40	44,38	0,02	XIII	10	40,81	40,75	0,06
	16	42,88	42,85	0,03		40	41,36	41,3	0,06
	49	40,41	40,38	0,03	XIV	52	40,18	40,11	0,07
IV	15	44,48	44,48	0,00		39	46,17	46,1	0,07
	43	41,00	41,01	-0,01	XV	13	42,03	42,01	0,02
	55	42,33	42,34	-0,01		44	40,70	40,68	0,02
V	8	43,51	43,4	0,11	XVI	14	42,68	42,62	0,06
	32	41,95	41,84	0,11		34	40,70	40,65	0,05
	102	40,59	40,48	0,11	XVII	20	40,84	40,8	0,04
VI	5	44,22	44,17	0,05		36	42,74	42,69	0,05
	12	42,98	42,93	0,05	XVIII	22	40,76	40,7	0,06
	24	41,19	41,14	0,05		46	41,15	41,08	0,07
VII	7	42,21	42,19	0,02	XIX	38	46,04	45,99	0,05
	42	41,17	41,15	0,02		51	40,21	40,16	0,05
	54	40,08	40,06	0,02	XX	28	45,86	45,83	0,03
VIII	18	41,37	41,28	0,09		50	40,19	40,16	0,03
	6	42,76	42,67	0,09	XXI	21	43,08	43,04	0,04
	31	42,03	41,94	0,09		47	40,27	40,22	0,05
IX	23	41,42	41,3	0,12		XXII	27	42,25	42,18
	35	41,68	41,56	0,12	29		40,84	40,77	0,07
	17	42,11	41,98	0,13					
X	30	41,27	41,18	0,09					
	33	42,09	42	0,09					
	26	41,45	41,36	0,09					

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
XXIII	69	59,38	59,32	0,06
	115	58,55	58,49	0,06
	73	59,38	59,31	0,07
XXIV	65	59,18	59,16	0,02
	57	58,61	58,62	-0,01
	70	58,91	58,89	0,02
XXV	66	59,00	58,99	0,01
	56	59,16	59,15	0,01
	67	58,96	58,94	0,02
XXVI	112	59,00	58,88	0,12
	113	59,46	59,34	0,12
	114	58,65	58,52	0,13
XXVII	61	58,94	58,94	0,00
	62	58,91	58,92	-0,01
	59	60,70	60,7	0,00
XXVIII	63	58,57	58,55	0,02
	58	59,03	59,01	0,02
	60	58,62	58,6	0,02
XXIX	68	58,65	58,62	0,03
	72	58,90	58,87	0,03
XXX	64	58,73	58,7	0,03
	71	58,67	58,64	0,03
XXXI	93	34,25	34,15	0,10
	99	30,50	30,41	0,09
	103	32,42	32,33	0,09
XXXII	79	31,44	31,44	0,00
	94	32,55	32,55	0,00
	101	29,90	29,9	0,00
XXXIII	81	31,00	30,93	0,07
	89	31,58	31,51	0,07
	100	29,93	29,86	0,07

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia	
XXXIV	74	34,62	34,48	0,14	
	96	31,07	30,93	0,14	
	92	35,36	35,22	0,14	
XXXV	77	32,28	32,19	0,09	
	87	31,91	31,81	0,10	
	97	30,41	30,31	0,10	
XXXVI	78	32,39	32,33	0,06	
	95	32,72	32,66	0,06	
	106	29,53	29,47	0,06	
XXXVII	75	33,59	33,48	0,11	
	83	30,60	30,49	0,11	
	98	31,65	31,55	0,10	
XXXVIII	85	33,21	33,12	0,09	
	90	30,77	30,68	0,09	
	91	30,79	30,69	0,10	
XXXIX	86	32,12	32,05	0,07	
	105	29,84	29,77	0,07	
				0,00	
XL	82	30,89	30,88	0,01	
	104	29,76	29,75	0,01	
XLI	88	30,01	29,99	0,02	
	80	30,31	30,29	0,02	
XLII	84	30,09	30,09	0,00	
	76	32,87	32,86	0,01	
XLIII	107	29,50	29,46	0,04	
	108	29,49	29,45	0,04	
XLIV	109	22,99	22,91	0,08	
	110	22,31	22,23	0,08	
	111	22,31	22,23	0,08	
				MAX DIF	0,15

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Del cuadro mostrado se puede observar en cuanto a los resultados obtenidos en Excel y EPANET que la máxima diferencia entre ambos es de 0.15 m, es decir no hay una discordancia grande entre ambos resultados, por lo que se puede dar como correcto ambos cálculos.

Entendiendo que la falta o sobra de 0.15 m de presión en alguno de los puntos del sistema no tienen influencia para el correcto funcionamiento, ya que se considera un factor de seguridad del 10% en toda la red, que van de 3 a 6.5 m, para asegurar una puesta en marcha normal de la red.

b. Cálculos hidráulicos del “Escenario 2”

El diseño, la distribución de los diámetros en la red y el esquema hidráulico “Escenario 2” es similar los del “Escenario 1”, la diferencia está en los parámetros de operación (reagrupación de válvulas es diferente).

A continuación se muestra el cuadro resumen de los requerimientos de presión y caudal para cada uno de los 39 turnos planteados para el “Escenario 2”.

En **anexo 9.2** se muestra el cálculo hidráulico completo para el “Escenario 2”.

Cuadro 27. Cuadro de requerimiento de presión y caudal para cada turno del “Escenario 2”.

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
I	19,32	66,68
II	18,93	61,72
III	19,12	60,74
IV	19,58	61,71
V	18,98	63,47
VI	21,12	60,93
VII	20,87	63,73
VIII	21,61	62,21
IX	19,55	62,51
X	19,76	61,07
XI	20,01	58,86
XII	20,11	66,22
XIII	19,2	60,86
XIV	20,12	57,27
XV	16,9	55,12
XVI	13,84	53,59
XVII	14,84	56,79
XVIII	16,44	55,23
XIX	14,3	57,18
XX	18,81	75,84
XXI	20,59	73,10
XXII	19,7	77,81
XXIII	19,70	72,86
XXIV	24,16	79,48
XXV	20,59	76,91
XXVI	22,38	73,62
XXVII	21,23	57,19
XXVIII	21,75	55,06
XXIX	20,18	51,12
XXX	19,85	49,24
XXXI	22,07	52,96
XXXII	19,13	48,87
XXXIII	20,42	49,40
XXXIV	20,80	49,74
XXXV	22,57	47,24
XXXVI	21,53	46,36
XXXVII	12,47	43,44
XXXVIII	12,80	42,33
XXXIX	18,60	37,49
MAX	24,16	79,48
MIN	12,47	37,49

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

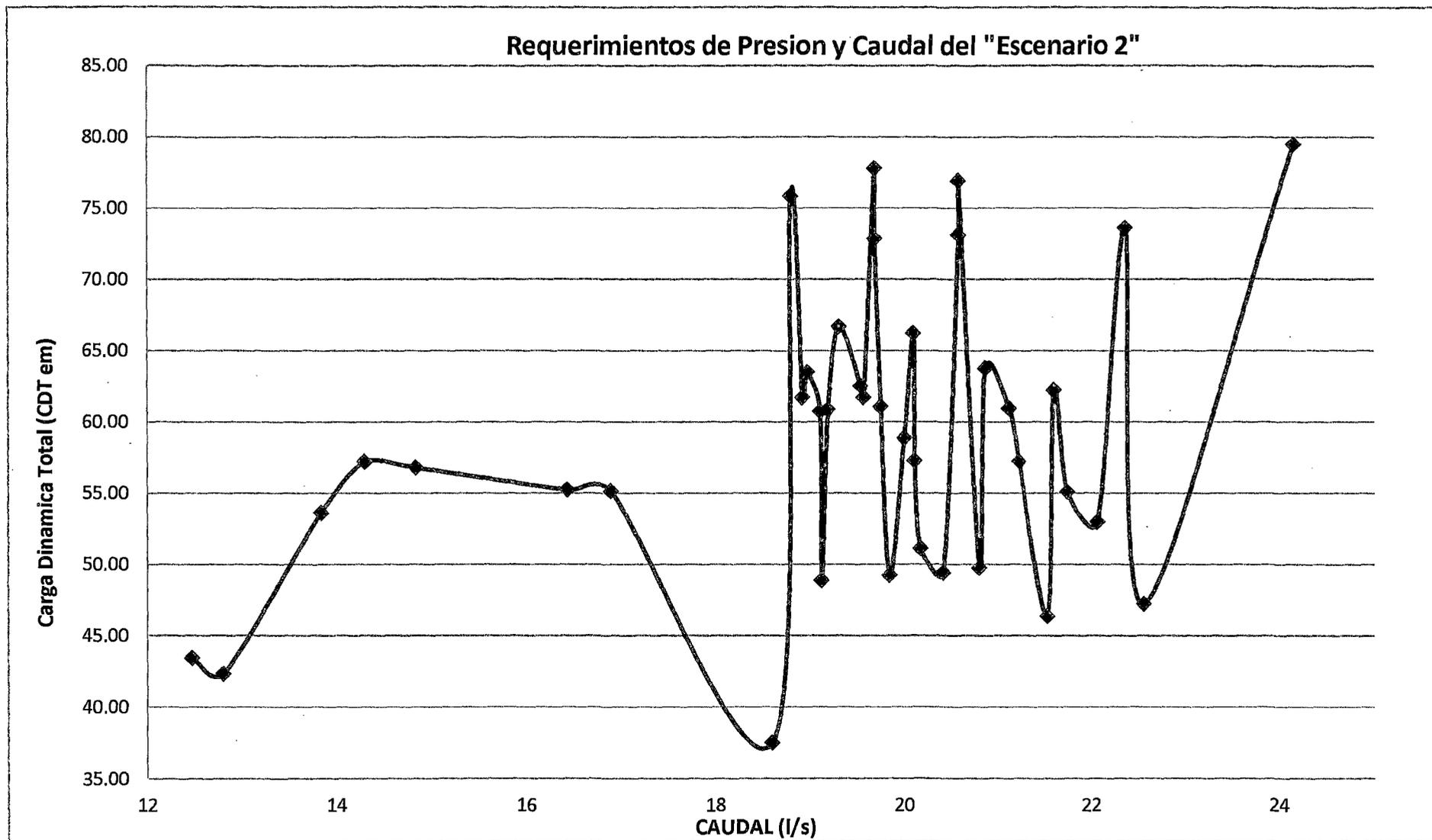


Figura 49. Requerimientos de Presión y Caudal del "Escenario 2"

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se muestra cuadro de velocidades a las que debe girar el motor de la bomba para cada uno de los turnos con la finalidad de satisfacer de manera exacta los requerimientos.

Cuadro 28. Porcentaje de RPM requerido respecto al RPM nominal. “Escenario 2”

TURNO	CAUDAL (l/s)	RPM nominal (Nn)		Porcentaje respecto al RPM nominal % (N2/Nn)
		CDT (m)	RPM requerido (N2)	
I	19,32	66,68	3209,94	90,68%
II	18,93	61,72	3097,60	87,50%
III	19,12	60,74	3083,02	87,09%
IV	19,58	61,71	3117,55	88,07%
V	18,98	63,47	3135,22	88,57%
VI	21,12	60,93	3161,77	89,32%
VII	20,87	63,73	3204,03	90,51%
VIII	21,61	62,21	3206,02	90,57%
IX	19,55	62,51	3132,50	88,49%
X	19,76	61,07	3111,16	87,89%
XI	20,01	58,86	3077,34	86,93%
XII	20,11	66,22	3223,73	91,07%
XIII	19,20	60,86	3087,98	87,23%
XIV	20,12	57,27	3050,74	86,18%
XV	16,90	55,12	2901,28	81,96%
XVI	13,84	53,59	2779,05	78,50%
XVII	14,84	56,79	2875,05	81,22%
XVIII	16,44	55,23	2891,31	81,68%
XIX	14,30	57,18	2870,71	81,09%
XX	18,81	75,84	3374,53	95,33%
XXI	20,59	73,10	3370,78	95,22%
XXII	19,70	77,81	3437,02	97,09%
XXIII	19,70	72,86	3342,58	94,42%
XXIV	24,16	79,48	3612,72	102,05%
XXV	20,59	76,91	3443,22	97,27%
XXVI	22,38	73,62	3441,68	97,22%
XXVII	21,23	57,19	3095,38	87,44%
XXVIII	21,75	55,06	3077,09	86,92%
XXIX	20,18	51,12	2931,10	82,80%
XXX	19,85	49,24	2878,59	81,32%
XXXI	22,07	52,96	3052,12	86,22%
XXXII	19,13	48,87	2840,58	80,24%
XXXIII	20,42	49,40	2906,55	82,11%
XXXIV	20,80	49,74	2930,40	82,78%
XXXV	22,57	47,24	2973,49	84,00%
XXXVI	21,53	46,36	2900,20	81,93%
XXXVII	12,47	43,44	2502,26	70,69%
XXXVIII	12,80	42,33	2481,84	70,11%
XXXIX	18,60	37,49	2569,44	72,58%
			MAX	70,11%

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se hizo la comparación entre los resultados obtenidos con Excel y los hallados mediante la simulación en EPANET, esto se hace con la finalidad de verificar que los datos ingresados estén correctos en ambos, además la aproximación entre ambos resultados es evidencia de que se hicieron los procedimientos adecuados, aumentando la confiabilidad de los datos obtenidos.

Cuadro 29. Comparación de los resultados de presión obtenidos con Excel y Epanet “Escenario 2”

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia	TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
I	1	43,78	43,72	0,06	XIII	18	43,78	43,76	0,02
	2	43,78	43,72	0,06		21	42,06	42,04	0,02
	3	45,04	44,99	0,05		23	43,28	43,26	0,02
II	4	42,86	42,82	0,04	XIV	25	41,58	41,47	0,11
	5	42,87	42,82	0,05		27	42,11	42,01	0,10
	40	42,61	42,56	0,05		28	41,56	41,45	0,11
III	37	42,21	42,19	0,02	XV	24	41,02	41,02	0,00
	38	42,26	42,24	0,02		26	41,77	41,77	0,00
	39	42,75	42,73	0,02		45	41,43	41,43	0,00
IV	31	42,53	42,45	0,08	XVI	46	41,50	41,45	0,05
	32	42,42	42,35	0,07		55	40,82	40,77	0,05
	36	42,58	42,5	0,08		102	40,36	40,31	0,05
V	29	42,62	42,56	0,06	XVII	47	41,79	41,74	0,05
	30	42,64	42,58	0,06		48	40,79	40,73	0,06
	35	43,01	42,96	0,05		49	43,87	43,81	0,05
VI	43	41,81	41,75	0,06	XVIII	52	40,17	40,18	-0,01
	44	43,75	43,69	0,06		53	40,58	40,59	-0,01
	34	42,99	42,92	0,07		54	40,59	40,6	-0,01
VII	6	43,16	43	0,16	XIX	50	40,57	40,52	0,05
	8	43,22	43,05	0,17		51	40,51	40,45	0,06
	9	43,21	43,05	0,16					
VIII	7	43,38	43,35	0,03	XX	65	59,50	59,5	0,00
	14	42,75	42,72	0,03		66	59,39	59,39	0,00
	15	42,66	42,63	0,03		67	59,35	59,35	0,00
IX	10	42,66	42,62	0,04	XXI	56	58,57	58,51	0,06
	11	42,65	42,61	0,04		57	58,57	58,51	0,06
	12	43,28	43,24	0,04		70	59,55	59,49	0,06
X	41	42,55	42,43	0,12	XXII	61	59,42	59,43	-0,01
	42	42,68	42,55	0,13		62	59,39	59,41	-0,02
	33	42,38	42,26	0,12		63	59,48	59,49	-0,01
XI	13	41,98	41,83	0,15	XXIII	58	58,99	58,98	0,01
	16	41,99	41,84	0,15		59	58,58	58,56	0,02
	17	41,99	41,84	0,15		60	58,40	58,38	0,02
XII	19	42,86	42,83	0,03	XXIV	73	64,03	63,94	0,09
	20	42,87	42,84	0,03		71	60,21	60,12	0,09
	22	43,65	43,61	0,04		72	60,17	60,07	0,10
				73		60,07	59,98	0,09	

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
XXV	64	59,90	59,85	0,05
	68	59,54	59,49	0,05
	69	59,62	59,57	0,05
XVI	112	59,00	58,82	0,18
	114	58,66	58,49	0,17
	115	59,06	58,89	0,17
XVII	74	33,11	33,06	0,05
	75	33,16	33,10	0,06
	85	33,50	33,44	0,06
XVIII	76	32,50	32,35	0,15
	77	32,48	32,33	0,15
	80	33,05	32,90	0,15
XIX	78	32,11	32,04	0,07
	79	31,54	31,47	0,07
	81	31,55	31,48	0,07
XXX	83	31,60	31,53	0,07
	84	31,17	31,09	0,08
	96	31,04	30,97	0,07
XXXI	86	32,29	32,18	0,11
	88	32,47	32,36	0,11
	93	32,42	32,32	0,10

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
XXXII	94	31,32	31,29	0,03
	95	31,32	31,28	0,04
	90	31,84	31,81	0,03
XXXIII	87	31,46	31,34	0,12
	89	31,54	31,42	0,12
	91	32,57	32,45	0,12
XXXIV	98	33,05	32,91	0,14
	99	31,00	30,87	0,13
	92	34,00	33,86	0,14
XXXV	82	30,56	30,40	0,16
	97	31,11	30,95	0,16
	105	31,18	31,02	0,16
XXXVI	100	31,36	31,26	0,10
	101	30,78	30,68	0,10
	104	30,19	30,10	0,09
XXXVII	106	29,38	29,33	0,05
	103	30,84	30,80	0,04
XXXVIII	107	29,50	29,46	0,04
	108	29,49	29,45	0,04
XXXIX	109	22,99	22,92	0,07
	110	22,31	22,24	0,07
	111	22,31	22,23	0,08
			MAX DIF	0,18

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Del cuadro mostrado se puede observar en cuanto a los resultados obtenidos en Excel y EPANET que la máxima diferencia entre ambos es de 0.18 m, es decir no hay una discordancia grande entre ambos resultados, por lo que se puede dar como correcto ambos cálculos.

Entendiendo que la falta o sobra de 0.18 m de presión en alguno de los puntos del sistema no tienen influencia para el correcto funcionamiento, ya que se considera un factor de seguridad del 10% en toda la red, que van de 3 a 7.2 m, para asegurar una puesta en marcha normal de la red.

5.6.2. Dimensionamiento técnico económico y cálculos hidráulicos del “Escenario 1 optimizado”.

a. Dimensionamiento óptimo en gestar “Escenario 1 Optimizado”

Para la optimización del “Escenario 1” se insertaron los siguientes datos de entrada necesarios para un correcto dimensionamiento.

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 2: Revisar Caudales

	Turno	Q	Sap	T max
Asignar caudales	1	0,018	0,537	0,564
Datos Cabecera	2	0,018	0,541	0,484
Presiones Requeridas	3	0,017	0,474	0,428
Restricciones	4	0,017	0,493	0,457
Estación Bombeo	5	0,019	0,541	0,472
Tarifas Eléctricas	6	0,019	0,612	0,596
Parámetros Desfavorables	7	0,017	0,541	0,524
Materiales	8	0,019	0,628	0,502
Terminar	9	0,019	0,698	0,544
	10	0,019	0,578	0,450
	11	0,019	0,639	0,534
	12	0,019	0,527	0,417
	13	0,013	0,318	0,395
	14	0,014	0,439	0,471

Cancelar < Anterior Sigüente > Finalizar

La revisión de los caudales de cada turno

Datos de cabecera

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 3: Datos Cabecera

Datos Cabecera:

ID Nodo: 0 Cota: 242,25 m Presión Regulada: 0 m

Presión Regulada Presión Desconocida Altura Piezométrica: 242,25 m

Editar Aceptar Cancelar

Pendientes:

Pendiente Nodo Crítico: 0,0015

Pendian. Hid. Min (Bifurcaciones): 0,0015

Cancelar < Anterior Sigüente > Finalizar

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 4: Presiones Mínimas

Presiones Requeridas:

P. Min común en todos los Hidrantes P. Min común en todos los Nodos extremos P. Min común en todos los Nodos Presión de Consigna en los Hidrantes abiertos con Regulación positiva

P. Min en Nodos sin Consumo P. Min común en todos los Nodos sin Consumo P. Min según Pendiente Hidráulica

P. Min en Nodos concretos

Nodo: Pmin m

Cancelar < Anterior Sigüente > Finalizar

La Presión Mínima a considerar en cada Nodo de Consumo es la presión de Consigna

Velocidad Min: 0.5 m/s
Vel. Máxima: 2.5 m/s
Años Amortización: 20
Interés Amort.: 10%

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 5: Restricciones

Velocidad: Velocidad Min (m/s) 0,5 Velocidad Max (m/s) 2,5

Asignar caudales

Datos Cabecera

Presiones Requeridas

Restricciones

Estación Bombeo

Tarifas Eléctricas

Parámetros Desfavorables

Materiales

Terminar

Tuberías instaladas: Definir Tuberías Instaladas

Datos Amortización: Años Amortización 20 Interés Amort. % 10

Cancelar < Anterior Siguiente > Finalizar

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 6: Estación Bombeo

Estación de Bombeo

Rend. % 70 Cor (φ) 0,8997

Volumen (m3)

P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total
252267,7						252267,7

Calcular Volumen:

Área Total (ha) 19,524 Calcular

Caudal de Diseño (m3/s)

Dotación Anual Red m3/ha 12921

Cancelar < Anterior Siguiente > Finalizar

La lámina promedia Anual a Reponer es de 3.54 mm/día que corresponde a una dotación anual por ha de 12 921 m3

Precio Base kwh: 0.1561 s./kwh
Precio Potencia Kw: 24.917 s./kw

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 7: Tarifas Eléctricas

Tarifa eléctrica: Personalizada Tarifas Incremento Anual del Coste Energía % 0

Precio Base del kWh: € 0,1561 Tipo Personalizada Discriminación

P1	P2	P3	P4	P5	P6
0	0	0	0	0	0

Recargo precio Kwh %

Precio Base Potencia Kw: € 24,917 Tipo Personalizada Discriminación (€/kw mes y periodo)

P1	P2	P3	P4	P5	P6
0	0	0	0	0	0

Recargo precio Kw %

P1	P2	P3	P4	P5	P6
100	100	100	100	100	100

Reperto potencia %

Cancelar < Anterior Siguiente > Finalizar

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 8: Previsiones Desfavorables

Asignar caudales
 Datos Cabecera
 Presiones Requeridas
 Restricciones
 Estación Bombeo
 Tarifas Eléctricas
Parámetros Desfavorables
 Materiales
 Terminar

Pérdidas Singulares:

Longitud Equivalente Añadida Global - %
 Definir Longitud Equivalente por Tubería

Rugosidad Forzada:

Rugosidad Forzada Global (mm)
 Definir Rugosidad por Tubería

Incremento Presión Estática para Timbraje

Incremento Global (m)
 Definir Incremento por Tuberías

Parámetros Desfavorables

Long. Eq. Añadida:
10%

El material usado es de PVC y todas las características de estas tuberías están adjuntadas en el Anexo 9.7

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 9: Materiales

Asignar caudales
 Datos Cabecera
 Presiones Requeridas
 Restricciones
 Estación Bombeo
 Tarifas Eléctricas
 Parámetros Desfavorables
Materiales
 Terminar

Materiales Disponibles: PVC

Materiales a Utilizar: PVC

Rango Diámetros Interiores(m)
 Min: Max:

Rango Presiones de Trabajo:
 Min: Max:

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 10: Resumen

Asignar caudales
 Datos Cabecera
 Presiones Requeridas
 Restricciones
 Estación Bombeo
 Tarifas Eléctricas
 Parámetros Desfavorables
 Materiales
Terminar

¡ATENCIÓN!
 Para proceder a la creación del Archivo de Entrada para el Módulo de Optimización presionar el botón Terminar.
 Los datos resultantes del dimensionado se importarán a la Red actual quedando esta modificada.
 Si se trata de un dimensionado con Bombeo Directo, el Nodo de unión aguas abajo de la Bomba de Cabecera se transformará en un Nodo de Presión Regulada con dato de Presión igual a la Presión de impulsión resultante del dimensionado. La Bomba por defecto es configurada de tal manera que no circulación del agua desde a cabecera original al nuevo Nodo. Así se puede proceder inmediatamente a simular hidráulicamente las condiciones de diseño. Para volver a dimensionar la Red, basta con modificar de nuevo el Nodo de Presión Conocida y convertirlo en Nodo de Unión.

Conservar datos.

Finalizamos la inserción de los datos

b. Diseño del “Escenario 1 Optimizado”

Después del llenado de los datos anteriores el programa GESTAR procedió al dimensionado de la matriz del sistema de riego teniendo en cuenta diversos criterios explicados anteriormente, el cual da como resultado los siguientes diámetros.

De menor a mayor diámetro la red principal fue conformada por una longitud de 242.6 m para tuberías de 63 mm de diámetro, 1964.8 m para tuberías de 75 mm de diámetro, 46.8 m para tuberías de 90 mm de diámetro, 834.5 m para tuberías de 110 mm de diámetro, 432.7 m para tuberías de 140 mm de diámetro, 451.3 m para tuberías de 160 mm de diámetro, 6.74 m para tuberías de 200 mm de diámetro.

En la red, **Figura 50**, se puede observar que el 50% de la red del sistema está conformado por tuberías de 75 mm de diámetro, a diferencia del “Escenario 1” donde los diámetros de 63 y 75 mm solo estaban en tramos cortos entre la red principal y cada una de las válvulas, luego de la optimización el diámetro de 75mm paso a formar parte de la red primaria de conducción, y junto con las tuberías de 110mm de diámetro abarcan el 71% de la red, reduciendo en gran medida el costo de inversión inicial de la red.

La gran diferencia entre el “escenario 1”y el “escenario 1 optimizado” también se puede notar con el menor uso de tuberías de 140 y 160mm, que a diferencia del 83% que abarcaba en el escenario 1, posterior a la optimización abarca solo el 22% de la red principal.

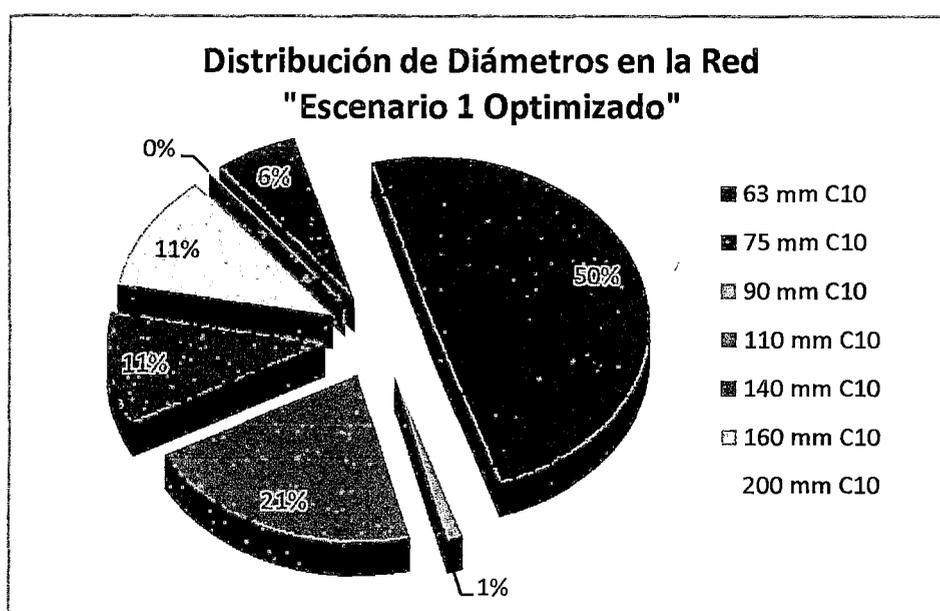


Figura 50. Distribución de Diámetro en la Red. “Escenario 1 Optimizado”

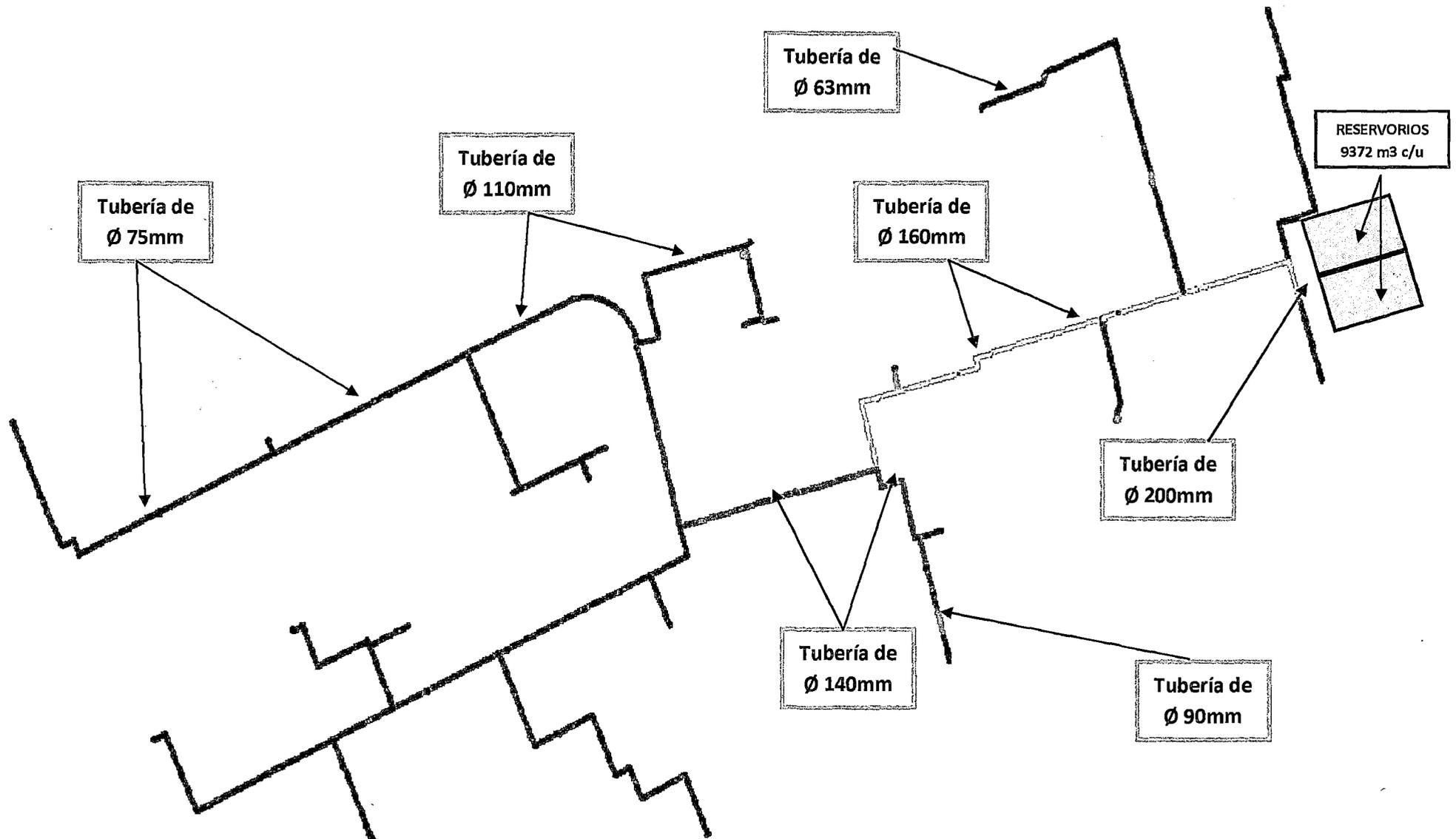
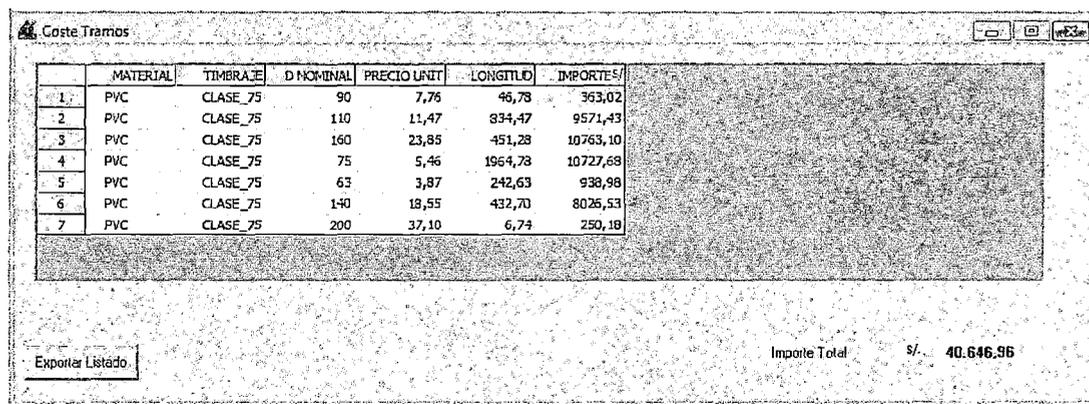


Figura 51. ESQUEMA HIDRAULICO DEL ESCENARIO 1 OPTIMIZADO

FUENTE: Elaboración Propia (2014).

La clase que fue asignada a toda la red de tuberías es de 7.5, esta clase asignada por el programa garantiza el soporte a solicitudes internas que se presentaran cuando el sistema entre en funcionamiento.

El costo total de la red es de 40 646.96 soles



	MATERIAL	TMBRAJE	D NOMINAL	PRECIO UNIT	LONGITUD	IMPORTE\$
1	PVC	CLASE_75	90	7,76	46,78	363,02
2	PVC	CLASE_75	110	11,47	834,47	9571,43
3	PVC	CLASE_75	160	23,85	451,28	10763,10
4	PVC	CLASE_75	75	5,46	1964,78	10727,68
5	PVC	CLASE_75	63	3,87	242,63	938,98
6	PVC	CLASE_75	140	18,55	432,70	8025,53
7	PVC	CLASE_75	200	37,10	6,74	250,18

Exportar Listado

Importe Total S/ 40.646,96

Figura 52. Resultado del costo de la red del “Escenario 1 Optimizado” en Gestar

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

c. **Cálculos hidráulicos del “Escenario 1 optimizado”**

Se muestra el resultado de los requerimientos de presión y caudal para cada uno de los 44 turnos.

Cuadro 30. Requerimiento de presión y caudal para cada turno del “Escenario 1 Optimizado”

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
I	18,06	75,16
II	17,58	72,18
III	17,12	70,66
IV	16,87	59,04
V	18,67	65,06
VI	18,56	65,97
VII	16,94	67,69
VIII	18,67	68,55
IX	18,93	64,01
X	18,67	65,17
XI	18,99	62,84
XII	19,19	64,37
XIII	13,35	62,20
XIV	13,76	65,04
XV	14,19	56,85
XVI	13,88	55,27
XVII	13,42	70,15
XVIII	13,74	65,89
XIX	13,57	67,17
XX	13,42	66,49
XXI	13,35	62,55
XXII	13,67	63,15

TURNO	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
XXIII	20,59	73,18
XXIV	19,70	73,74
XXV	19,70	73,56
XXVI	21,48	72,83
XXVII	19,70	73,15
XXVIII	19,70	72,74
XXIX	12,53	73,32
XXX	12,53	72,42
XXXI	19,50	66,26
XXXII	18,38	46,65
XXXIII	20,46	47,51
XXXIV	20,76	72,45
XXXV	20,65	55,75
XXXVI	20,87	52,69
XXXVII	19,72	69,06
XXXVIII	20,62	63,39
XXXIX	16,45	58,98
XL	15,26	44,62
XLI	14,84	59,05
XLII	14,49	54,83
XLIII	12,80	43,19
XLIV	18,60	39,76
MAX	21,48	75,16
MIN	12,53	39,76

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

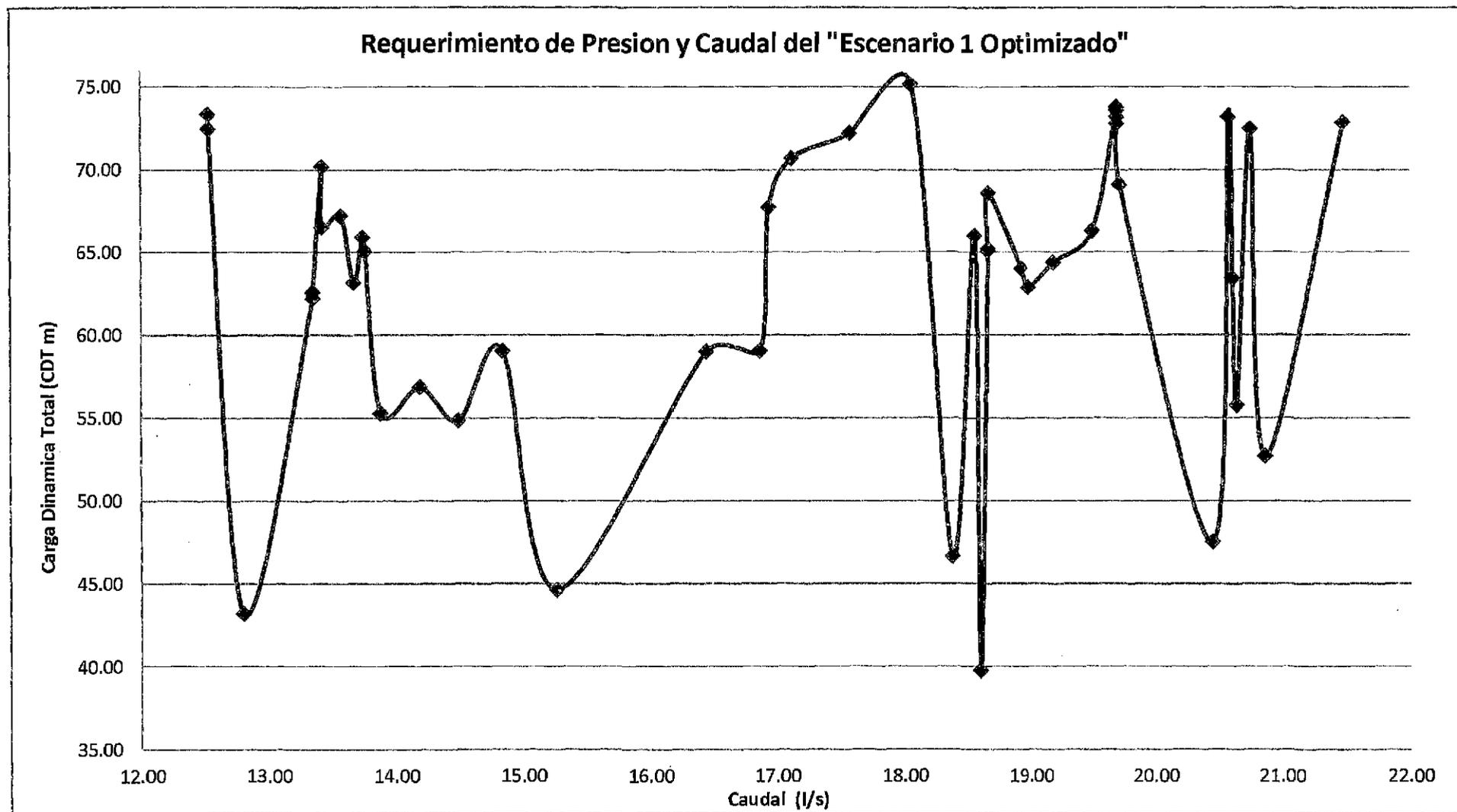


Figura 53. Requerimientos de Presión y Caudal del "Escenario 1 Optimizado"

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se muestra cuadro de velocidades a las que debe girar el motor de la bomba para cada uno de los turnos con la finalidad de satisfacer de manera exacta los requerimientos del “Escenario 1 Optimizado”

**Cuadro 31. Porcentaje de RPM requerido respecto al RPM nominal.
“Escenario 1 Optimizado”**

TURNO	CAUDAL (l/s)	RPM nominal (Nn)		Porcentaje respecto al RPM nominal % (N2/Nn)
		CDT (m)	RPM requerido (N2)	
I	18,06	75,16	3337,99	94,29%
II	17,58	72,18	3267,36	92,30%
III	17,12	70,66	3223,99	91,07%
IV	16,87	59,04	2985,78	84,34%
V	18,67	65,06	3160,07	89,27%
VI	18,56	65,97	3175,79	89,71%
VII	16,94	67,69	3161,33	89,30%
VIII	18,67	68,55	3230,81	91,27%
IX	18,93	64,01	3144,95	88,84%
X	18,67	65,17	3162,19	89,33%
XI	18,99	62,84	3122,58	88,21%
XII	19,19	64,37	3159,34	89,25%
XIII	13,35	62,20	2966,51	83,80%
XIV	13,76	65,04	3035,64	85,75%
XV	14,19	56,85	2860,98	80,82%
XVI	13,88	55,27	2818,89	79,63%
XVII	13,42	70,15	3132,77	88,50%
XVIII	13,74	65,89	3053,12	86,25%
XIX	13,57	67,17	3075,99	86,89%
XX	13,42	66,49	3058,56	86,40%
XXI	13,35	62,55	2973,99	84,01%
XXII	13,67	63,15	2993,24	84,55%
XXIII	20,59	73,18	3372,24	95,26%
XXIV	19,70	73,74	3359,70	94,91%
XXV	19,70	73,56	3356,10	94,81%
XXVI	21,48	72,83	3393,93	95,87%
XXVII	19,70	73,15	3348,26	94,58%
XXVIII	19,70	72,74	3340,26	94,36%
XXIX	12,53	73,32	3176,89	89,74%
XXX	12,53	72,42	3158,76	89,23%
XXXI	19,50	66,26	3206,40	90,58%
XXXII	18,38	46,65	2762,36	78,03%
XXXIII	20,46	47,51	2870,04	81,07%
XXXIV	20,76	72,45	3363,43	95,01%
XXXV	20,65	55,75	3043,15	85,96%
XXXVI	20,87	52,69	2992,13	84,52%
XXXVII	19,72	69,06	3268,35	92,33%
XXXVIII	20,62	63,39	3187,96	90,06%
XXXIX	16,45	58,98	2971,48	83,94%
XL	15,26	44,62	2611,79	73,78%
XLI	14,84	59,05	2923,97	82,60%
XLII	14,49	54,83	2822,59	79,73%
XLIII	12,80	43,19	2503,54	70,72%
XLIV	18,60	39,76	2620,13	74,01%
			MAX	70,72%

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se muestra el cuadro de comparación entre los resultados obtenidos con Excel y los hallados mediante la simulación en EPANET.

Cuadro 32. Comparación de los resultados de presión obtenidos con Excel y Epanet. "Escenario 1 Optimizado"

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia	TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
I	1	45,25	45,2	0,05	XI	4	42,96	42,9	0,06
	9	54,06	54	0,06		11	43,89	43,84	0,05
	45	60,63	60,58	0,05		53	43,67	43,62	0,05
II	2	44,73	44,68	0,05	XII	25	48,20	48,14	0,06
	19	45,62	45,57	0,05		41	43,06	43	0,06
	48	52,50	52,45	0,05		37	47,85	47,8	0,05
III	3	44,45	44,36	0,09	XIII	10	42,59	42,59	0,00
	16	57,85	57,77	0,08		40	43,81	43,81	0,00
	49	56,91	56,83	0,08	XIV	52	41,87	41,87	0,00
IV	15	42,11	42,12	-0,01		39	50,04	50,04	0,00
	43	42,37	42,37	0,00	XV	73	41,58	41,51	0,07
	55	45,46	45,46	0,00		44	43,74	43,67	0,07
V	8	43,32	43,3	0,02	XVI	14	41,39	41,33	0,06
	32	46,74	46,72	0,02		34	41,63	41,57	0,06
	102	51,10	51,08	0,02	XVII	20	43,54	43,51	0,03
VI	5	43,51	43,52	-0,01		36	55,90	55,87	0,03
	12	46,33	46,33	0,00	XVIII	22	42,87	42,88	-0,01
	24	48,70	48,7	0,00		46	53,34	53,35	-0,01
VII	7	43,78	43,7	0,08	XIX	38	54,31	54,31	0,00
	42	47,92	47,85	0,07		51	42,24	42,25	-0,01
	54	52,45	52,38	0,07	XX	28	56,45	56,46	-0,01
VIII	18	49,12	49,14	-0,02		50	42,12	42,12	0,00
	6	44,00	44,02	-0,02	XXI	21	42,35	42,35	0,00
	31	49,99	50	-0,01		47	42,13	42,14	-0,01
IX	23	42,78	42,72	0,06		XXII	27	51,00	51
	35	42,85	42,79	0,06	29		42,57	42,57	0,00
	17	46,65	46,58	0,07					
X	30	42,92	42,9	0,02					
	33	45,06	45,04	0,02					
	26	49,73	49,71	0,02					

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
XXIII	69	59,60	59,54	0,06
	115	58,72	58,66	0,06
	73	58,98	58,91	0,07
XXIV	65	60,23	60,22	0,01
	57	59,55	59,55	0,00
	70	59,03	59,03	0,00
XXV	66	59,19	59,17	0,02
	56	59,37	59,35	0,02
	67	58,96	58,94	0,02
XXVI	112	58,40	58,26	0,14
	113	58,94	58,8	0,14
	114	58,60	58,46	0,14
XXVII	61	58,59	58,58	0,01
	62	58,58	58,56	0,02
	59	58,89	58,88	0,01
XXVIII	63	58,71	58,69	0,02
	58	58,86	58,84	0,02
	60	58,38	58,36	0,02
XXIX	68	59,30	59,28	0,02
	72	59,03	59,01	0,02
XXX	64	59,69	59,68	0,01
	71	58,80	58,79	0,01
XXXI	93	45,35	45,29	0,06
	99	33,86	33,8	0,06
	103	52,12	52,06	0,06
XXXII	79	31,38	31,31	0,07
	94	30,94	30,86	0,08
	101	32,55	32,47	0,08
XXXIII	81	31,63	31,5	0,13
	89	31,04	30,91	0,13
	100	33,33	33,21	0,12

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
XXXIV	74	35,76	35,72	0,04
	96	42,31	42,27	0,04
	92	57,09	57,05	0,04
XXXV	77	32,60	32,59	0,01
	87	34,74	34,73	0,01
	97	39,49	39,48	0,01
XXXVI	78	34,78	34,66	0,12
	95	34,83	34,72	0,11
	106	30,99	30,87	0,12
XXXVII	75	35,17	35,11	0,06
	83	50,47	50,41	0,06
	98	51,61	51,55	0,06
XXXVIII	85	34,17	34,01	0,16
	90	43,94	43,79	0,15
	91	44,68	44,52	0,16
XXXIX	86	33,34	33,33	0,01
	105	45,55	45,54	0,01
XL	82	31,51	31,51	0,00
	104	29,89	29,89	0,00
XLI	88	43,74	43,73	0,01
	80	33,31	33,29	0,02
XLII	84	39,53	39,49	0,04
	76	32,44	32,4	0,04
XLIII	107	29,68	29,66	0,02
	108	29,64	29,62	0,02
XLIV	109	24,85	24,75	0,10
	110	22,95	22,84	0,11
	111	22,70	22,59	0,11
			MAX DIF	0,16

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Del cuadro mostrado se puede observar, en cuanto a los resultados obtenidos en Excel y EPANET, que la máxima diferencia entre ambos es de 0.16 m, es decir no hay una discordancia grande entre ambos resultados, por lo que se puede dar como correcto ambos cálculos.

5.6.3. Dimensionamiento del Escenario 2 Optimizado

Para el dimensionado óptimo del “Escenario 2” se introdujeron los mismos parámetros usados para el dimensionamiento óptimo del “Escenario 1”, los cuales se encuentran explicados en el apartado correspondiente.

a. Diseño del “Escenario 2 Optimizado”

Después del llenado de los datos necesarios para la optimización, el programa GESTAR procedió al dimensionamiento de la matriz del sistema de riego teniendo en cuenta diversos criterios explicados anteriormente, el cual da como resultado los siguientes diámetros.

De menor a mayor diámetro la red principal fue conformada por una longitud de 147.1 m para tuberías de 63 mm de diámetro, 353.8 m para tuberías de 75 mm de diámetro, 275.5 m para tuberías de 90 mm de diámetro, 1045.4 m para tuberías de 110 mm de diámetro, 1208.2 m para tuberías de 140 mm de diámetro, 571.8 m para tuberías de 160 mm de diámetro, 377.7 m para tuberías de 200mm de diámetro.

En la red, **Figura 61**, se puede observar, a diferencia del “Escenario 2” sin optimizar, que hay una distribución más pareja de los diámetros en toda la red, p.e. se redujo de 67% a 30% el uso de tuberías de 140mm, reemplazándolo por tuberías de menor diámetro por toda la red.

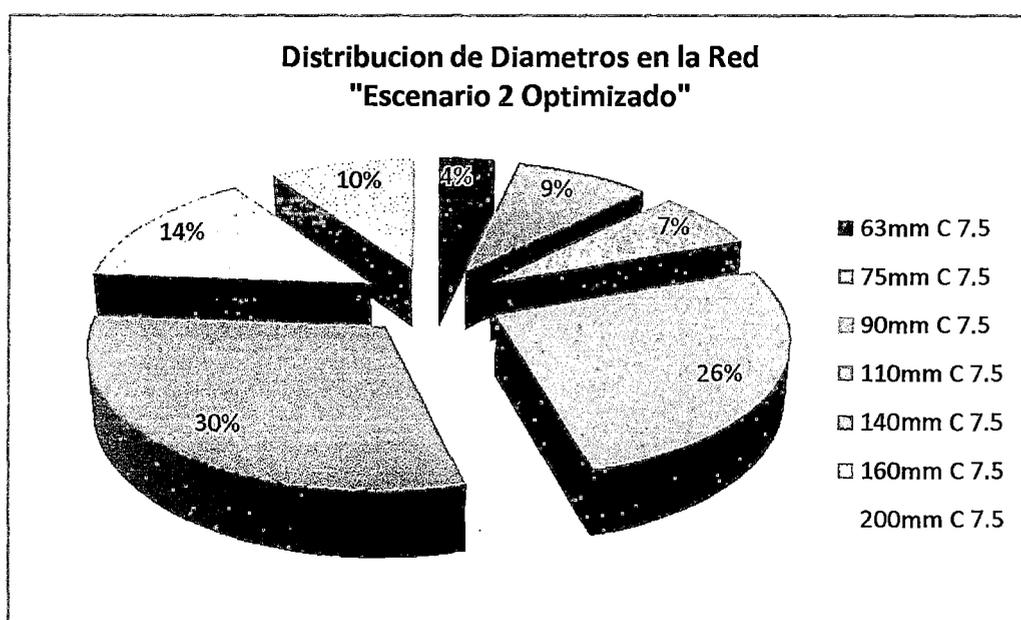


Figura 54. Distribución de Diámetro en la Red. “Escenario 2 Optimizado”

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

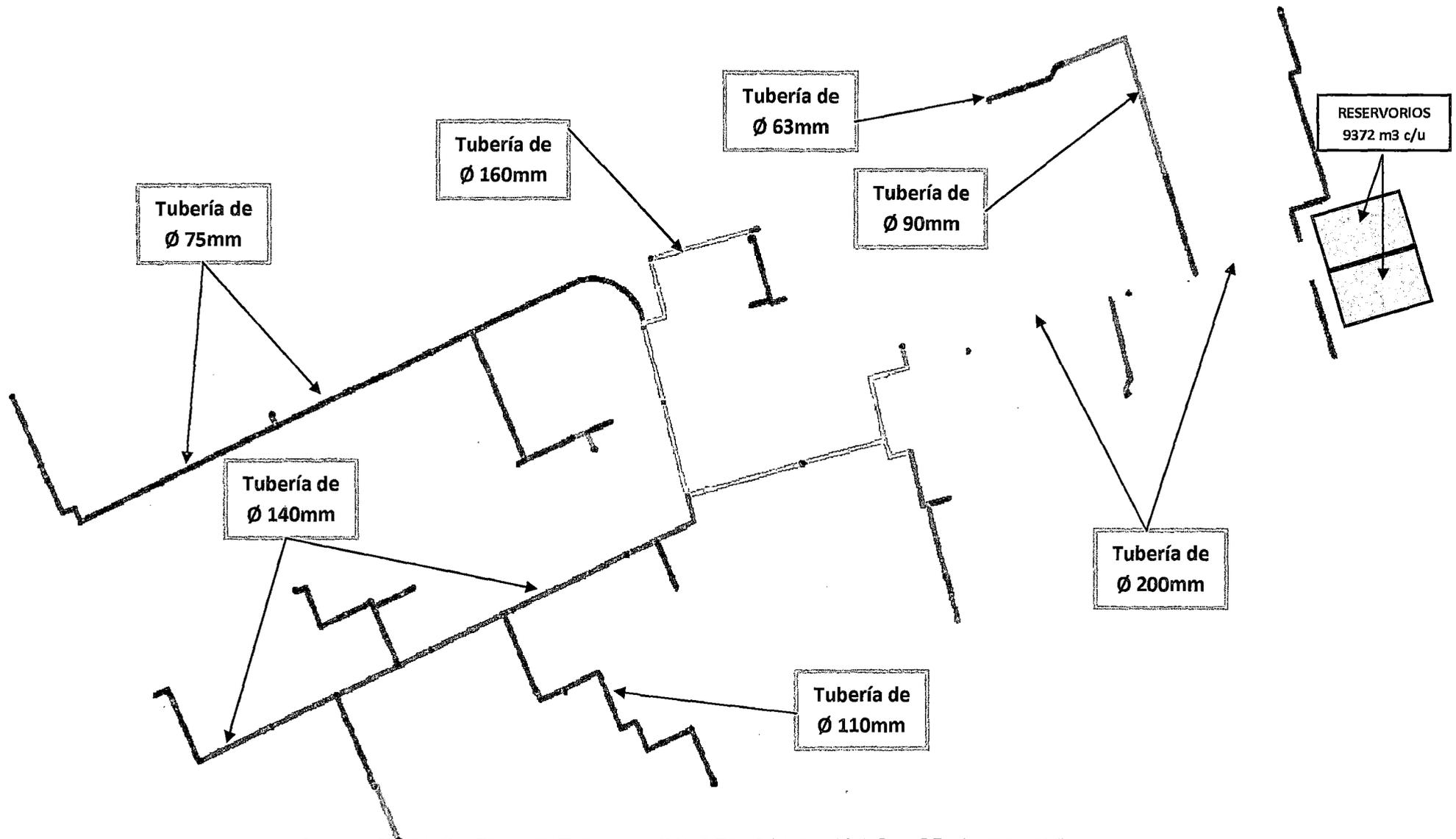


Figura 55. ESQUEMA HIDRAULICO DEL ESCENARIO 2 OPTIMIZADO

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

La clase que fue asignada a toda la red de tuberías es de 7.5, esta clase asignada por el programa garantiza el soporte a solicitudes internas que se presentaran cuando el sistema entre en funcionamiento.

El costo total de la red es de 66 695.13 soles.

	MATERIAL	TIMBRAJE	D NOMINAL	PRECIO UNIT	LONGITUD	IMPORTE S/.
1	PVC	CLASE_75	90	7,76	275,54	2138,22
2	PVC	CLASE_75	110	11,47	1045,38	11990,53
3	PVC	CLASE_75	200	37,10	377,67	14011,64
4	PVC	CLASE_75	75	5,46	353,81	1931,81
5	PVC	CLASE_75	63	3,87	147,06	569,11
6	PVC	CLASE_75	140	18,55	1208,16	22411,39
7	PVC	CLASE_75	160	23,85	571,76	13636,37

Exportar Listado.

Importe Total S/ **66.695,13**

Figura 56. Resultado del costo de la red del “Escenario 2 Optimizado” en Gestar

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

b. Cálculos hidráulicos del “Escenario 2 optimizado”

Se muestra el resultado de los requerimientos de presión y caudal para cada uno de los 39 turnos.

Cuadro 33. Requerimiento de presión y caudal para cada turno del “Escenario 2 Optimizado”

TURNOS	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
--------	-----------------	------------

I	19,32	63,34
II	18,93	56,85
III	19,12	56,12
IV	19,58	59,51
V	18,98	65,47
VI	21,12	56,25
VII	20,87	61,88
VIII	21,61	57,92
IX	19,55	64,48
X	19,76	62,80
XI	20,01	55,59
XII	20,11	72,91
XIII	19,2	60,90
XIV	20,12	53,96
XV	16,9	54,26
XVI	13,84	52,36
XVII	14,84	66,59
XVIII	16,44	59,80
XIX	14,3	61,36
XX	18,81	72,87
XXI	20,59	71,64

TURNOS	CAUDAL (l/s)	CDT (m)
--------	-----------------	------------

XXII	19,7	72,95
XXIII	19,70	72,11
XXIV	24,16	73,79
XXV	20,59	73,50
XXVI	22,38	72,18
XXVII	21,23	51,77
XXVIII	21,75	49,00
XXIX	20,18	46,03
XXX	19,85	46,61
XXXI	22,07	52,21
XXXII	19,13	46,36
XXXIII	20,42	50,17
XXXIV	20,80	47,73
XXXV	22,57	43,14
XXXVI	21,53	44,00
XXXVII	12,47	46,67
XXXVIII	12,80	42,19
XXXIX	18,60	39,14
MAX	24,16	73,79
MIN	12,47	39,14

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

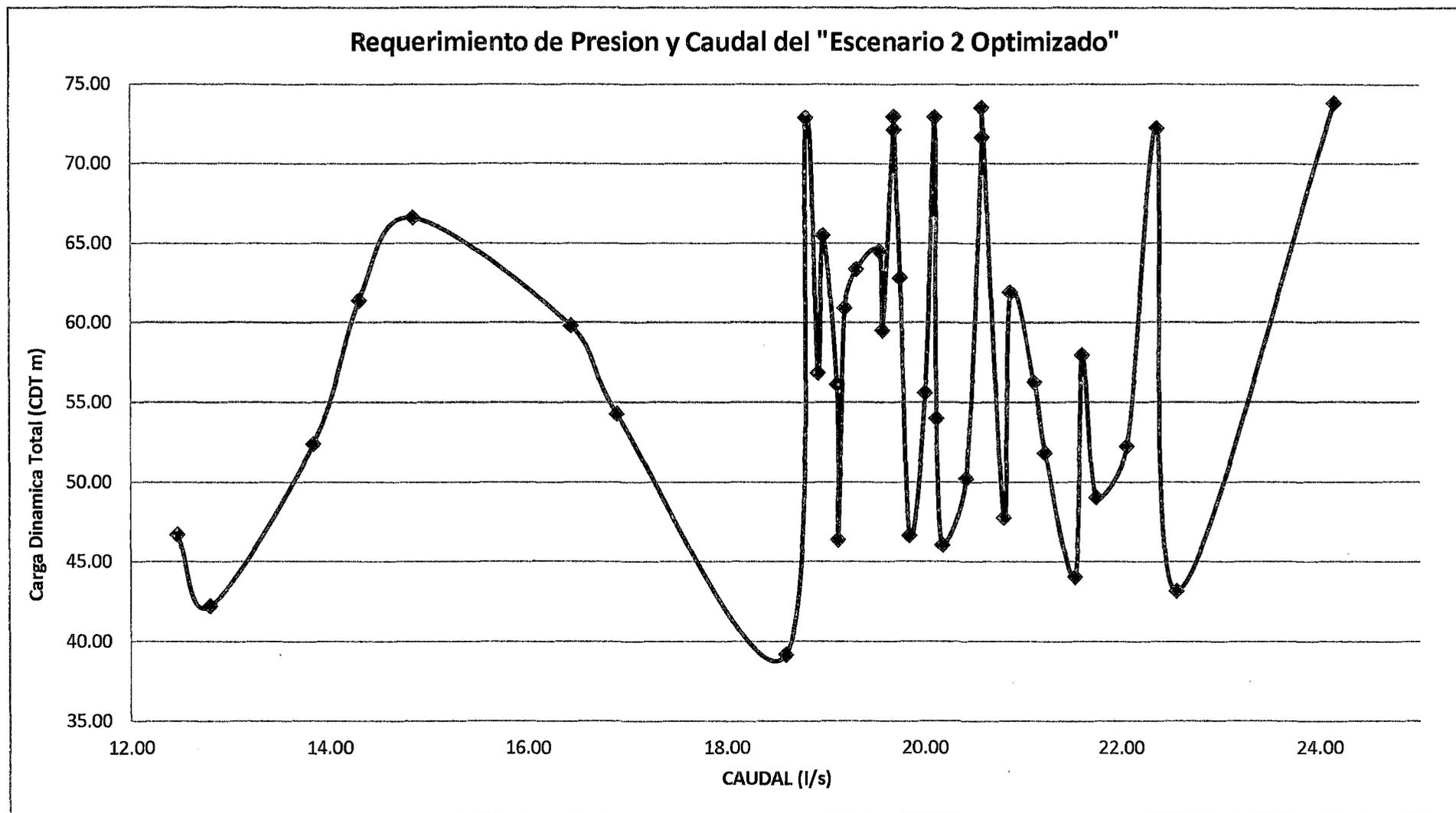


Figura 57. Requerimientos de Presión y Caudal del "Escenario 2 Optimizado"

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se muestra cuadro de velocidades a las que debe girar el motor de la bomba para cada uno de los turnos respectivos con la finalidad de satisfacer de manera exacta los requerimientos del “Escenario 2 Optimizado”

**Cuadro 34. Porcentaje de RPM requerido respecto al RPM nominal.
“Escenario 2 Optimizado”**

TURNO	CAUDAL (l/s)	RPM nominal (Nn)		3540
		CDT (m)	RPM requerido (N2)	
I	19,32	63,34	3142,12	88,76%
II	18,93	56,85	2996,97	84,66%
III	19,12	56,12	2988,89	84,43%
IV	19,58	59,51	3073,84	86,83%
V	18,98	65,47	3176,39	89,73%
VI	21,12	56,25	3072,60	86,80%
VII	20,87	61,88	3169,37	89,53%
VIII	21,61	57,92	3125,49	88,29%
IX	19,55	64,48	3171,96	89,60%
X	19,76	62,80	3145,22	88,85%
XI	20,01	55,59	3013,31	85,12%
XII	20,11	72,91	3354,11	94,75%
XIII	19,20	60,90	3088,80	87,25%
XIV	20,12	53,96	2985,62	84,34%
XV	16,90	54,26	2881,97	81,41%
XVI	13,84	52,36	2750,36	77,69%
XVII	14,84	66,59	3087,29	87,21%
XVIII	16,44	59,80	2988,16	84,41%
XIX	14,30	61,36	2964,48	83,74%
XX	18,81	72,87	3318,99	93,76%
XXI	20,59	71,64	3342,93	94,43%
XXII	19,70	72,95	3344,33	94,47%
XXIII	19,70	72,11	3327,93	94,01%
XXIV	24,16	73,79	3517,94	99,38%
XXV	20,59	73,50	3378,40	95,44%
XXVI	22,38	72,18	3416,56	96,51%
XXVII	21,23	51,77	2990,04	84,46%
XXVIII	21,75	49,00	2961,62	83,66%
XXIX	20,18	46,03	2826,80	79,85%
XXX	19,85	46,61	2823,95	79,77%
XXXI	22,07	52,21	3038,04	85,82%
XXXII	19,13	46,36	2787,59	78,75%
XXXIII	20,42	50,17	2922,16	82,55%
XXXIV	20,80	47,73	2890,25	81,65%
XXXV	22,57	43,14	2899,58	81,91%
XXXVI	21,53	44,00	2855,58	80,67%
XXXVII	12,47	46,67	2585,36	73,03%
XXXVIII	12,80	42,19	2478,32	70,01%
XXXIX	18,60	39,14	2606,28	73,62%
			MAX	70,01%

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se muestra el cuadro de comparación entre los resultados obtenidos con Excel y los hallados mediante la simulación en EPANET.

Cuadro 35. Comparación de los resultados de presión obtenidos con Excel y Epanet. “Escenario 2 Optimizado”

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia	TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
I	1	43,20	43,16	0,04	XIII	18	44,63	44,62	0,01
	2	43,24	43,2	0,04		21	42,06	42,05	0,01
	3	44,30	44,25	0,05		23	43,61	43,6	0,01
II	4	42,05	41,95	0,10	XIV	25	40,97	40,94	0,03
	5	42,06	41,95	0,11		27	41,61	41,58	0,03
	40	41,77	41,67	0,10		28	40,99	40,96	0,03
III	37	41,41	41,28	0,13	XV	24	40,87	40,86	0,01
	38	41,47	41,33	0,14		26	42,79	42,78	0,01
	39	42,01	41,87	0,14		45	42,45	42,44	0,01
IV	31	42,25	42,12	0,13	XVI	46	41,38	41,35	0,03
	32	42,04	41,92	0,12		55	40,72	40,68	0,04
	36	43,32	43,19	0,13		102	40,15	40,12	0,03
V	29	42,97	42,92	0,05	XVII	47	45,10	45,04	0,06
	30	43,05	43	0,05		48	42,49	42,44	0,05
	35	44,50	44,45	0,05		49	54,12	54,07	0,05
VI	43	41,00	40,94	0,06	XVIII	52	43,95	43,94	0,01
	44	42,64	42,58	0,06		53	41,09	41,08	0,01
	34	42,09	42,03	0,06		54	41,19	41,18	0,01
VII	6	42,84	42,71	0,13	XIX	50	41,23	41,18	0,05
	8	45,11	44,98	0,13		51	41,25	41,19	0,06
	9	45,06	44,93	0,13					
VIII	7	42,78	42,69	0,09	XX	65	59,04	59,04	0,00
	14	41,94	41,85	0,09		66	58,94	58,94	0,00
	15	41,92	41,83	0,09		67	58,84	58,84	0,00
IX	10	43,01	42,97	0,04	XXI	56	58,33	58,29	0,04
	11	42,99	42,95	0,04		57	58,32	58,28	0,04
	12	46,06	46,02	0,04		70	59,71	59,67	0,04
X	41	42,78	42,7	0,08	XXII	61	58,55	58,54	0,01
	42	45,84	45,76	0,08		62	58,59	58,57	0,02
	33	42,86	42,78	0,08		63	58,58	58,56	0,02
XI	13	41,36	41,27	0,09	XXIII	58	58,99	58,96	0,03
	16	41,71	41,62	0,09		59	58,47	58,44	0,03
	17	41,68	41,59	0,09		60	58,27	58,24	0,03
XII	19	44,02	43,97	0,05	XXIV	113	60,37	60,28	0,09
	20	44,05	44	0,05		71	59,04	58,95	0,09
	22	45,48	45,44	0,04		72	59,11	59,03	0,08
				73		59,08	59	0,08	

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
XXV	64	59,44	59,38	0,06
	68	58,95	58,89	0,06
	69	59,14	59,08	0,06
XVI	112	58,28	58,12	0,16
	114	58,72	58,55	0,17
	115	58,67	58,51	0,16
XVII	74	32,17	32,04	0,13
	75	32,24	32,11	0,13
	85	33,40	33,26	0,14
XVIII	76	31,46	31,45	0,01
	77	31,43	31,42	0,01
	80	32,21	32,20	0,01
XIX	78	31,29	31,16	0,13
	79	30,66	30,54	0,12
	81	30,67	30,55	0,12
XXX	83	32,75	32,63	0,12
	84	32,35	32,23	0,12
	96	30,58	30,47	0,11
XXXI	86	32,16	32,07	0,09
	88	35,58	35,50	0,08
	93	35,61	35,52	0,09

TURNO	N° de Valvula	Presion en c/valv.	Presion con Epanet	Diferencia
XXXII	94	30,90	30,85	0,05
	95	30,89	30,84	0,05
	90	32,18	32,13	0,05
XXXIII	87	31,59	31,48	0,11
	89	34,71	34,60	0,11
	91	36,35	36,24	0,11
XXXIV	98	32,49	32,37	0,12
	99	30,65	30,53	0,12
	92	34,98	34,87	0,11
XXXV	82	29,85	29,75	0,10
	97	30,22	30,13	0,09
	105	30,18	30,08	0,10
XXXVI	100	31,68	31,54	0,14
	101	31,25	31,10	0,15
	104	29,78	29,64	0,14
XXXVII	106	29,94	29,90	0,04
	103	34,46	34,42	0,04
XXXVIII	107	29,51	29,47	0,04
	108	29,47	29,43	0,04
XXXIX	109	24,74	24,64	0,10
	110	22,84	22,73	0,11
	111	22,59	22,49	0,10
			MAX DIF	0,17

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Del cuadro mostrado se puede observar, en cuanto a los resultados obtenidos en Excel y EPANET, que la máxima diferencia entre ambos es de 0.17 m, es decir no hay una discordancia grande entre ambos resultados, por lo que se puede dar como correcto ambos cálculos.

5.7. Análisis hidráulico – energético

5.7.1. Análisis hidráulico

Posterior al cálculo hidráulico de cada uno de los escenarios planteados para el sistema, y el dimensionado optimizado para cada uno de ellos; se muestra el análisis hidráulico para cada uno de los escenarios que profundizó el estudio a nivel de cada turno sobre posibles sobrepresiones que puedan ocurrir en el sistema.

a. Análisis Hidráulico del Escenario 1

Se muestra el cuadro de comparación de Presiones de Consigna versus las presiones de llegada a cada una de las válvulas, las cuales fueron calculadas con la herramienta de simulación de EPANET.

Cuadro 36. Comparación entre Presión de Consigna y Presión de llegada.

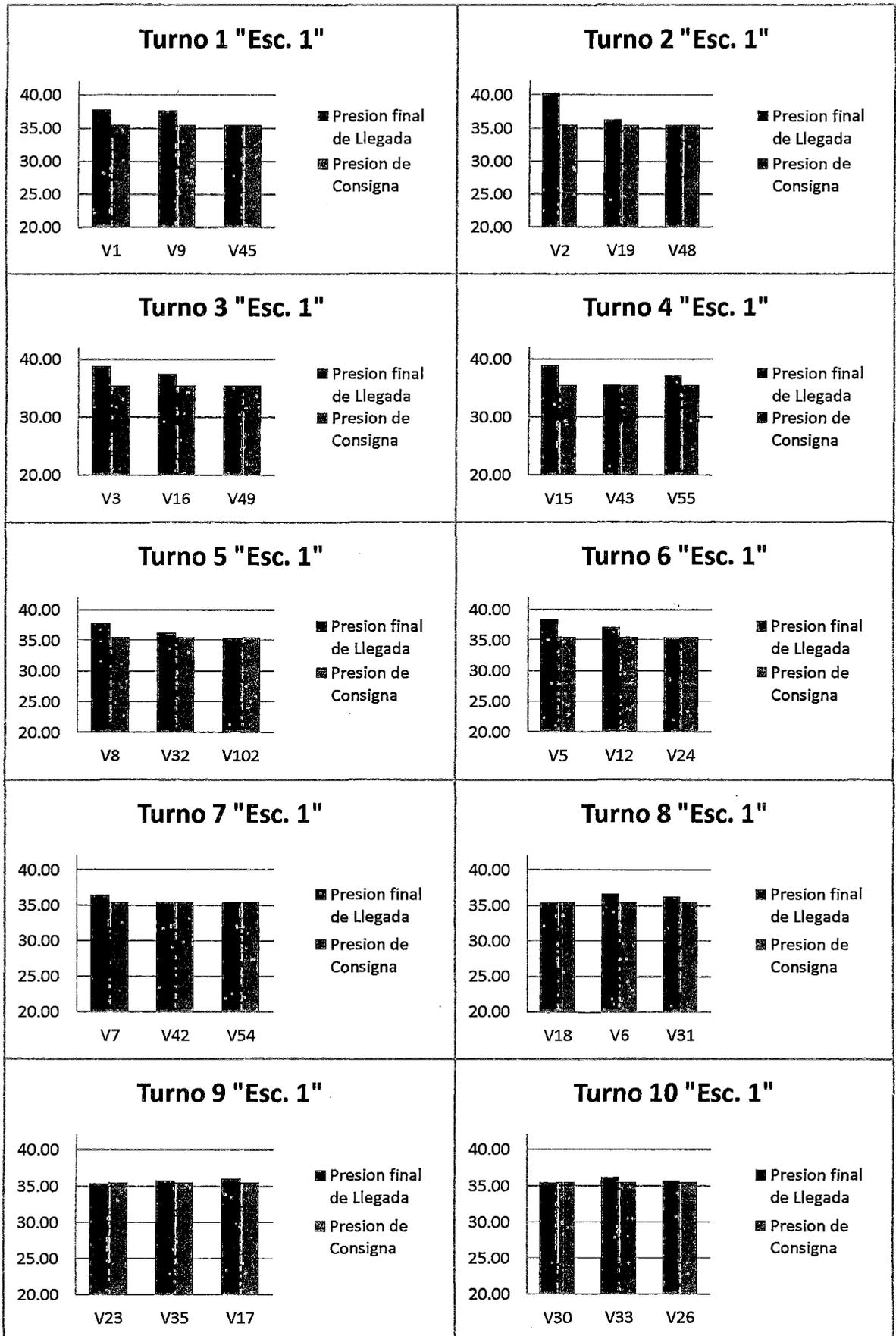
TURNO	Valvula	Presion de Consigna	Presion final de Llegada	Sobre presiones	TURNO	Valvula	Presion de Consigna	Presion final de Llegada	Sobre presiones
I	V1	35,50	37,73	2,23	XI	V4	35,50	39,44	3,94
	V9	35,50	37,63	2,13		V11	35,50	38,05	2,55
	V45	35,50	35,46	-0,04		V53	35,50	35,36	-0,14
II	V2	35,50	40,30	4,80	XII	V25	35,50	35,36	-0,14
	V19	35,50	36,31	0,81		V41	35,50	35,70	0,20
	V48	35,50	35,46	-0,04		V37	35,50	35,86	0,36
III	V3	35,50	38,84	3,34	XIII	V10	35,50	35,44	-0,06
	V16	35,50	37,49	1,99		V40	35,50	35,98	0,48
	V49	35,50	35,47	-0,03	XIV	V52	35,50	35,43	-0,07
IV	V15	35,50	38,94	3,44		V39	35,50	41,18	5,68
	V43	35,50	35,51	0,01	XV	V13	35,50	36,72	1,22
	V55	35,50	37,17	1,67		V44	35,50	35,48	-0,02
V	V8	35,50	37,75	2,25	XVI	V14	35,50	37,31	1,81
	V32	35,50	36,25	0,75		V34	35,50	35,45	-0,05
	V102	35,50	35,39	-0,11	XVII	V20	35,50	35,46	-0,04
VI	V5	35,50	38,39	2,89		V36	35,50	37,44	1,94
	V12	35,50	37,15	1,65	XVIII	V22	35,50	35,44	-0,06
	V24	35,50	35,45	-0,05		V46	35,50	36,04	0,54
VII	V7	35,50	36,46	0,96	XIX	V38	35,50	41,13	5,63
	V42	35,50	35,48	-0,02		V51	35,50	35,45	-0,05
	V54	35,50	35,48	-0,02	XX	V28	35,50	41,07	5,57
VIII	V18	35,50	35,41	-0,09		V50	35,50	35,47	-0,03
	V6	35,50	36,62	1,12	XXI	V21	35,50	38,07	2,57
	V31	35,50	36,21	0,71		V47	35,50	35,45	-0,05
IX	V23	35,50	35,38	-0,12	XXII	V27	35,50	36,96	1,46
	V35	35,50	35,78	0,28		V29	35,50	35,43	-0,07
	V17	35,50	36,08	0,58					
X	V30	35,50	35,41	-0,09					
	V33	35,50	36,19	0,69					
	V26	35,50	35,71	0,21					

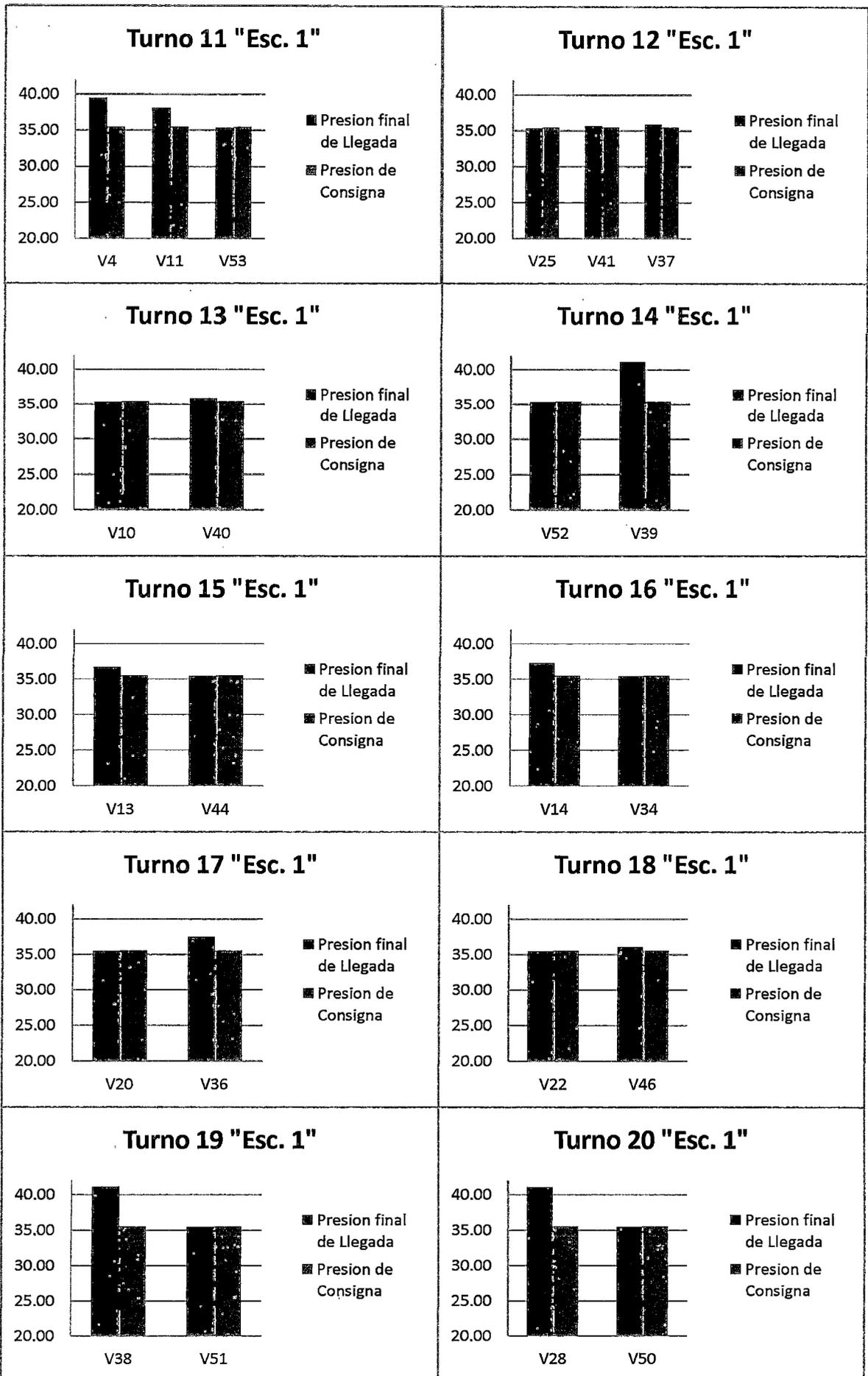
TURNO	Valvula	Presion de Consigna	Presion final de Llegada	Sobre presiones		TURNO	Valvula	Presion de Consigna	Presion final de Llegada	Sobre presiones
XXIII	V69	52,00	52,53	0,53		XXXIV	V74	25,60	28,92	3,32
	V115	52,00	51,94	-0,06			V96	25,60	25,46	-0,14
	V73	52,00	52,41	0,41			V92	25,60	30,34	4,74
XXIV	V65	52,00	52,36	0,36		XXXV	V77	25,60	27,14	1,54
	V57	52,00	52,07	0,07			V87	25,60	26,73	1,13
	V70	52,00	51,98	-0,02			V97	25,60	25,50	-0,10
XXV	V66	52,00	52,04	0,04		XXXVI	V78	25,60	27,84	2,24
	V56	52,00	52,60	0,60			V95	25,60	28,19	2,59
	V67	52,00	51,98	-0,02			V106	25,60	25,54	-0,06
XXVI	V112	52,00	52,46	0,46		XXXVII	V75	25,60	28,22	2,62
	V113	52,00	52,81	0,81			V83	25,60	25,49	-0,11
	V114	52,00	51,87	-0,13			V98	25,60	26,77	1,17
XXVII	V61	52,00	52,03	0,03		XXXVIII	V85	25,60	28,01	2,41
	V62	52,00	52,01	0,01			V90	25,60	25,51	-0,09
	V59	52,00	54,27	2,27			V91	25,60	25,58	-0,02
XXVIII	V63	52,00	51,98	-0,02		XXXIX	V86	25,60	27,34	1,74
	V53	52,00	52,54	0,54			V105	25,60	25,53	-0,07
	V60	52,00	52,20	0,20						
XXIX	V68	52,00	51,97	-0,03		XL	V82	25,60	26,69	1,09
	V72	52,00	52,14	0,14			V104	25,60	25,59	-0,01
XXX	V64	52,00	52,09	0,09		XLI	V88	25,60	25,58	-0,02
	V71	52,00	51,97	-0,03			V80	25,60	25,73	0,13
XXXI	V93	25,60	29,31	3,71		XLII	V84	25,60	25,60	0,00
	V99	25,60	25,51	-0,09			V76	25,60	28,21	2,61
	V103	25,60	28,26	2,66		XLIII	V107	25,60	25,57	-0,03
XXXII	V79	25,60	26,89	1,29			V108	25,60	25,56	-0,04
	V94	25,60	28,02	2,42		XLIV	V109	19,00	19,75	0,75
	V101	25,60	25,60	0,00			V110	19,00	18,92	-0,08
V81	25,60	26,25	0,65		V111		19,00	18,92	-0,08	
XXXIII	V89	25,60	26,80	1,20						
	V100	25,60	25,53	-0,07						

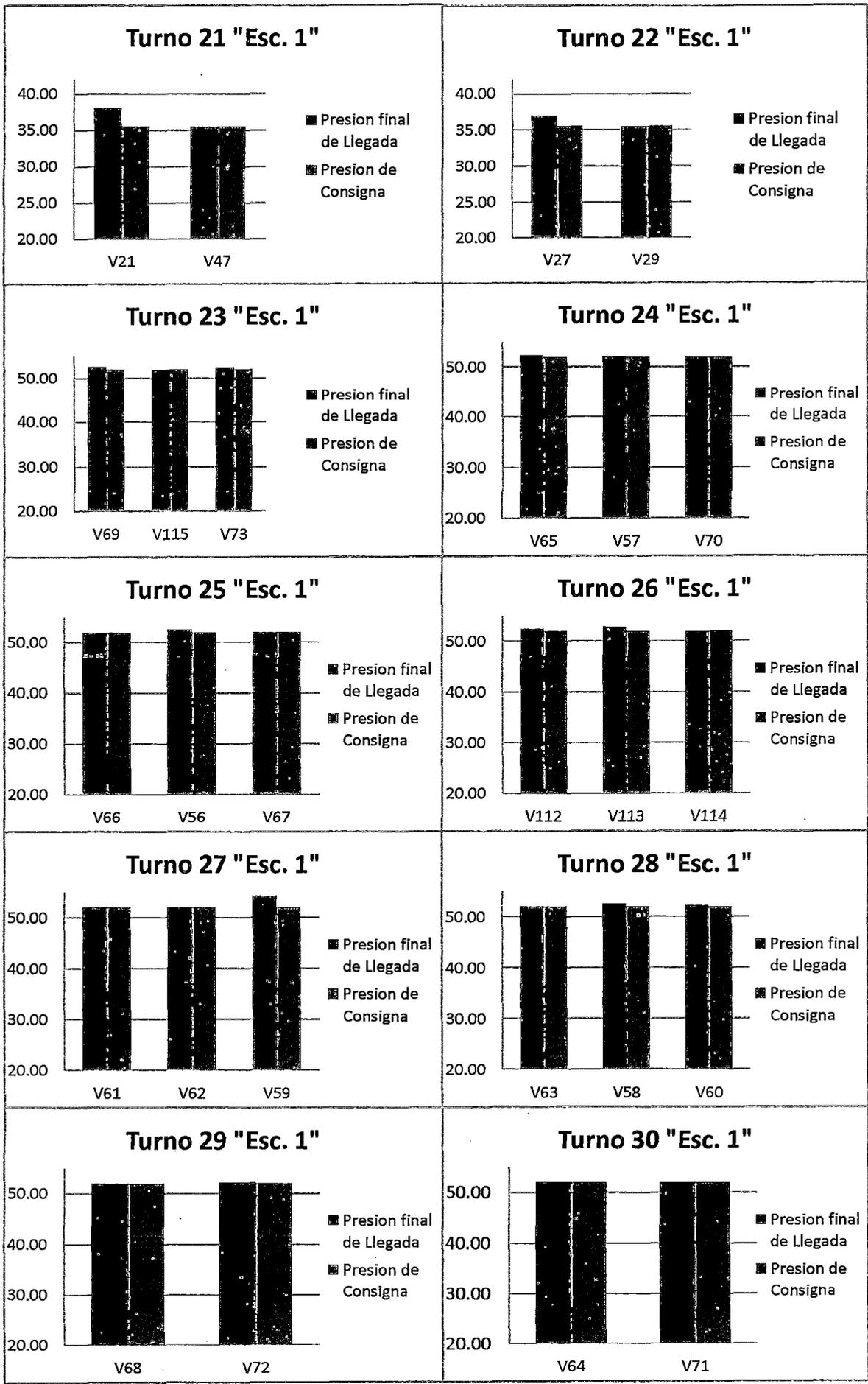
FUENTE: Elaboración Propia (2014)

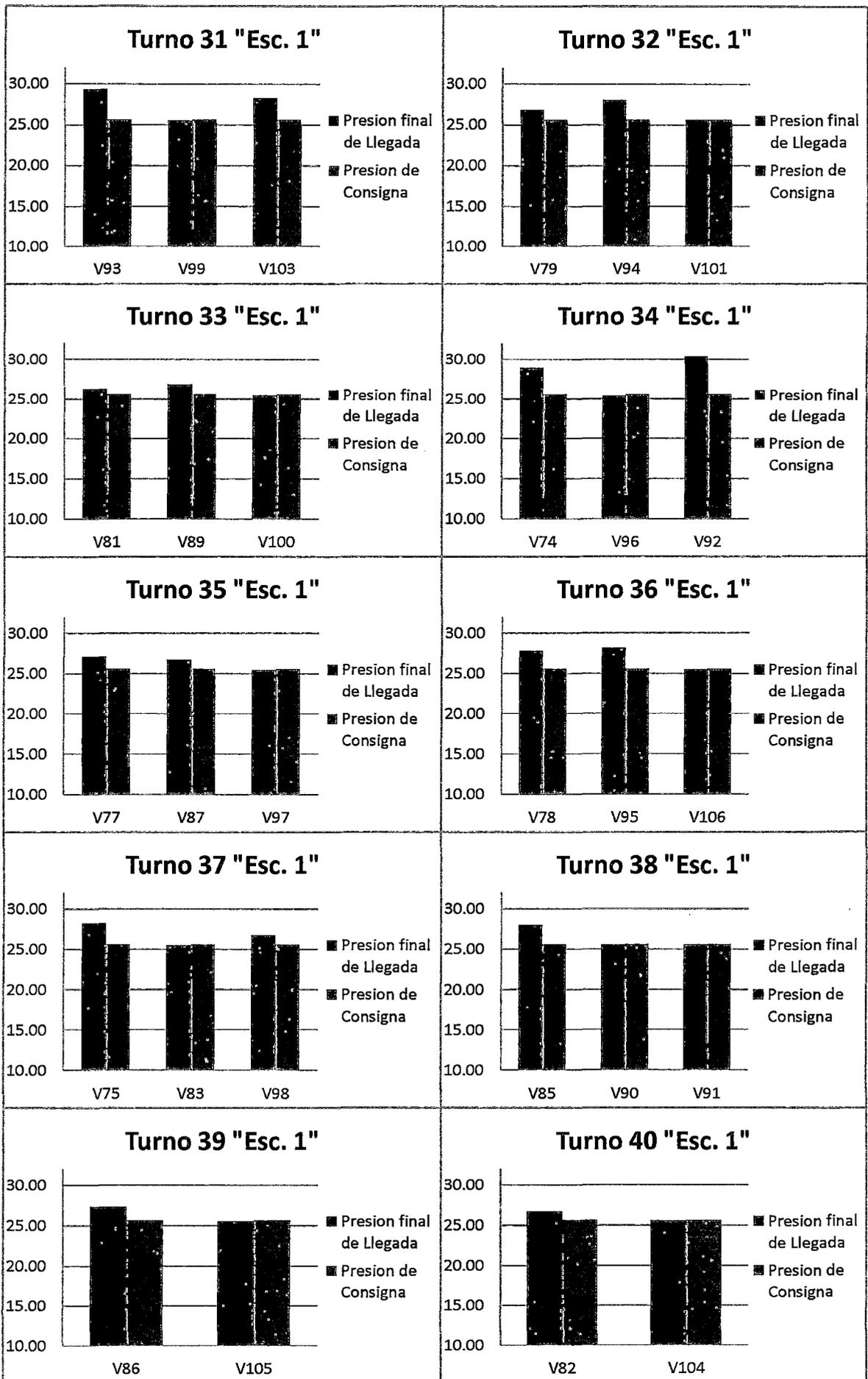
El análisis hidráulico del cuadro anterior muestra las sobrepresiones existentes a nivel de cada válvula, es importante recordar que para la cuantificación de las éstas se tienen que analizar por grupos de válvulas pertenecientes a un turno, ya que la CDT a la que funciona el turno va a afectar al grupo de válvulas pertenecientes a ese turno, de esta manera se analizan todas las válvulas con las CDT correspondientes a cada uno de los turnos en los que están incluidos.

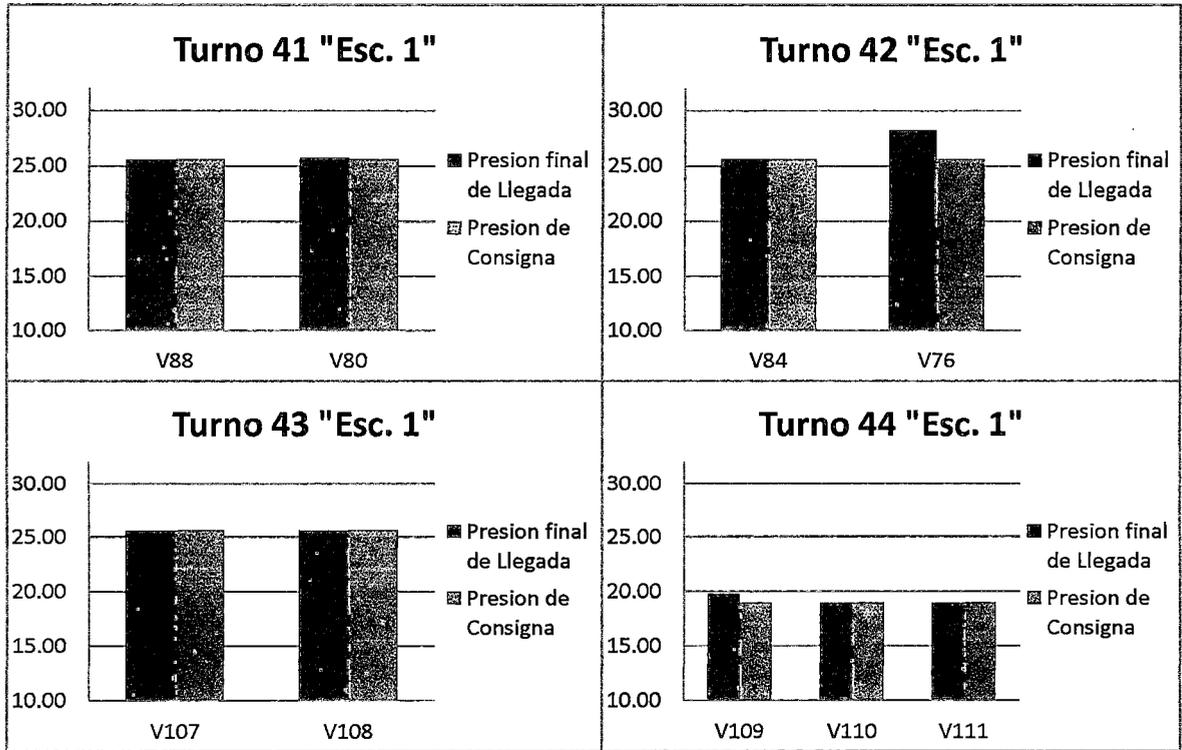
Figura 58. Barras de comparación por turnos entre Presión de Consigna y la Presión que llega a cada uno de las válvulas del "Escenario 1".











FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Como resumen de los cuadros y gráficos mostrados anteriormente se presenta la estadística de sobrepresiones encontradas en los análisis, en la que podemos observar entre que intervalos fluctúan la sobrepresiones y en qué porcentaje del total de válvulas (115 válvulas) se encontrarán

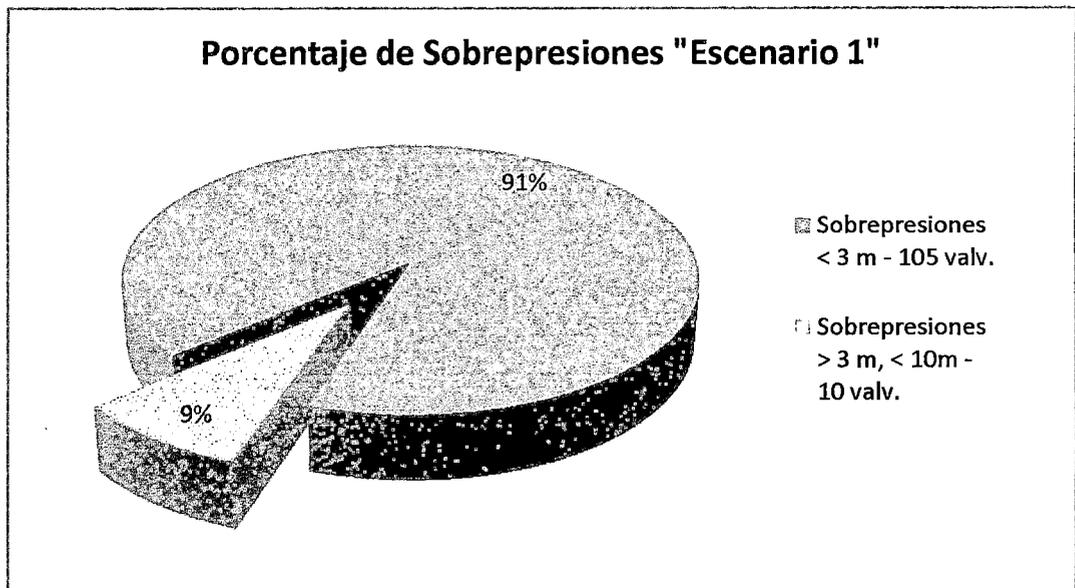


Figura 59. Porcentaje de Sobrepresiones. "Escenario 1"

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Del gráfico observamos que internamente de cada uno de los turnos existe sobrepresiones, esto es debido a que la CDT del turno fue impuesta por el requerimiento máximo de presión de todas las válvulas que conforman el turno. Las sobrepresiones de las válvulas para cada uno de los turnos van a depender de cuán grande es la diferencia entre el máximo requerimiento de presión y los requerimientos de presión de las otras válvulas que conforman ese turno.

b. Análisis Hidráulico del “Escenario 1 Optimizado”

De manera similar al análisis del “Escenario 1” se obtuvo como resultado final el gráfico circular donde se muestra los intervalos de sobrepresiones con sus respectivos porcentajes de válvulas en las que se presenta.

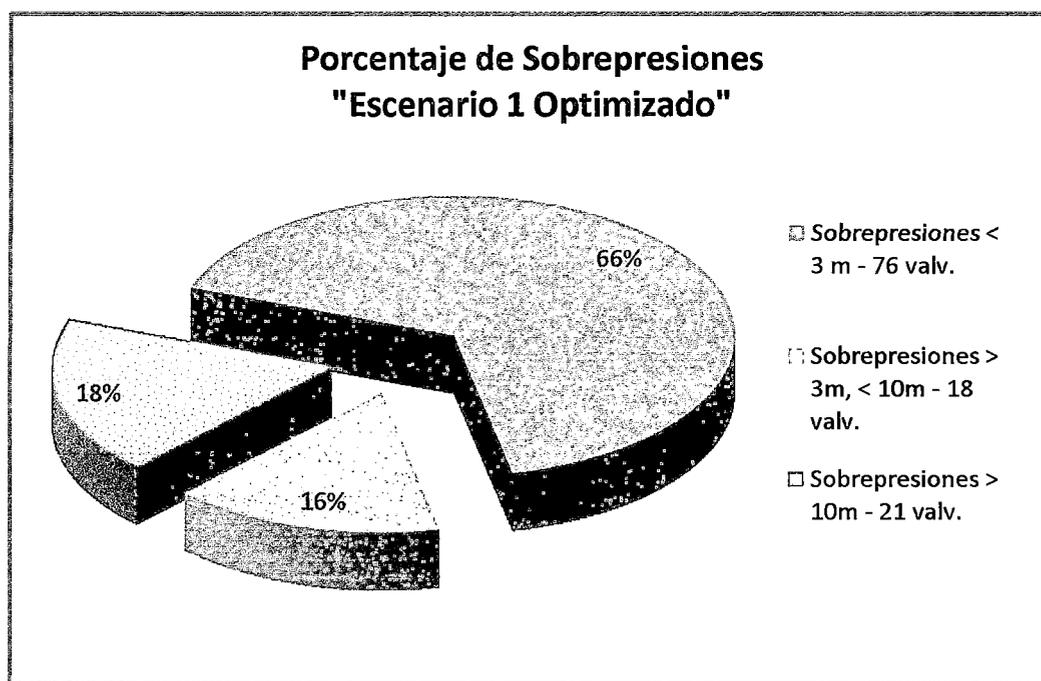


Figura 60. Porcentaje de Sobrepresiones. “Escenario 1 Optimizado”

FUENTE: Elaboración Propia. (2014)

A diferencia del “Escenario 1” el incremento del nivel de sobrepresiones es notorio, además el número de válvulas en las que se presentan también aumentaron, el principal factor responsable de que esto ocurra es el ajuste en los diámetros obtenidos después de la optimización.

Por otro lado, el “Escenario 1”y el “Escenario 1 Optimizado” cuentan con turnos conformados por válvulas las cuales están muy distanciadas unas de otras dentro de la red, motivo por el cual los requerimientos de presión para cada una de éstas también tienen gran diferencia, razón por la cual las sobrepresiones aumentan al imponer para todas las válvulas de un turno una CDT igual al requerimiento máximo de presión.

c. Análisis Hidráulico del “Escenario 2”

Se muestra como resultado del análisis hidráulico del “Escenario 2” el gráfico de sobrepresiones y el porcentaje de las válvulas en la que se presentan.

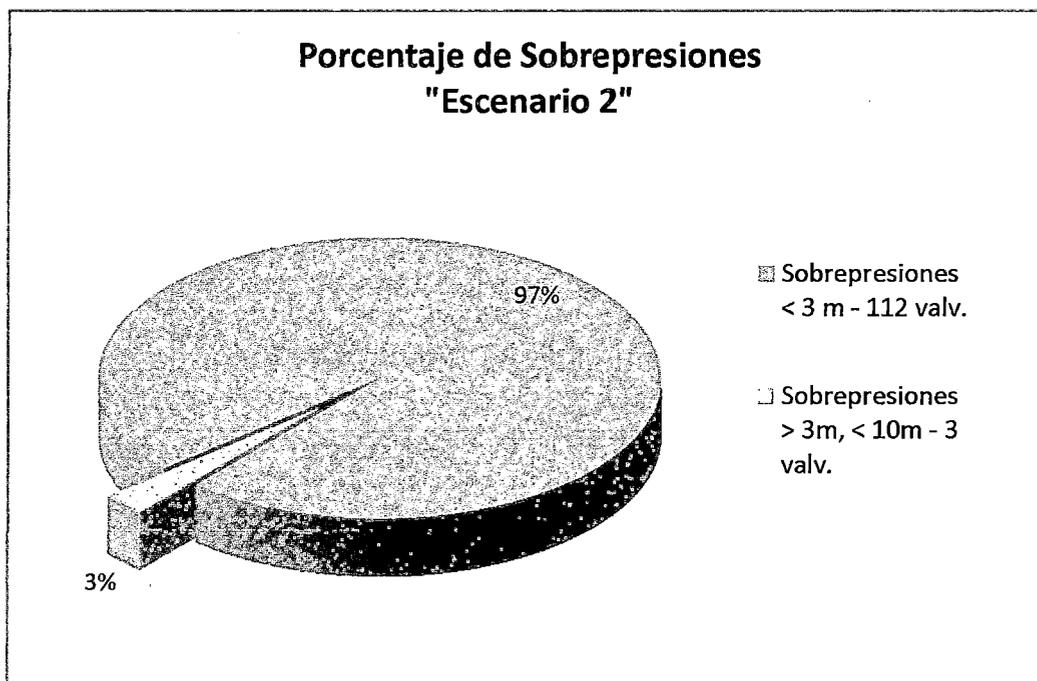


Figura 61. Porcentaje de Sobrepresiones. “Escenario 2”

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

De la **Figura 61** se puede notar que en el 97% de las válvulas se presentaron sobrepresiones menores a tres metros, y la sobrepresión máxima encontrada en este escenario es de 5.12 m (ver en el Anexo 9.5).

Este menor nivel de sobrepresiones presente en este escenario se debe a que las válvulas que conforman un turno fueron reagrupadas lo más cercanas posible, es por ello que el requerimiento de presiones para cada una de estas son similares o no tienen gran diferencia con la CDT impuesta para el turno.

d. Análisis Hidráulico del “Escenario 2 Optimizado”

Se muestra como resultado del análisis hidráulico del “Escenario 2” la **Figura 62** de sobrepresiones y el porcentaje de las válvulas en la que se presentan.

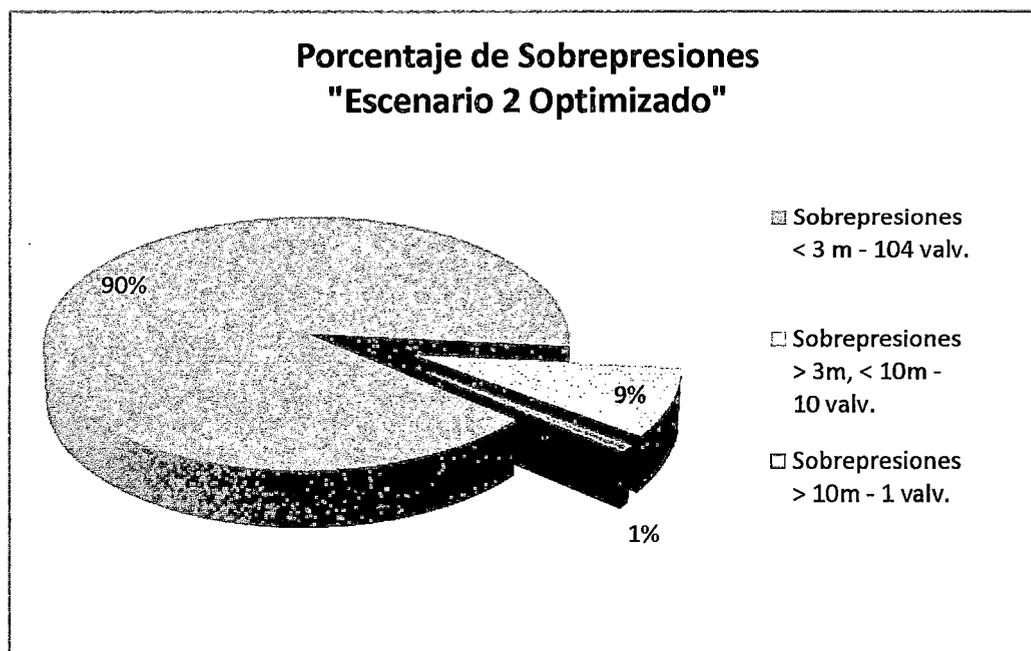


Figura 62. Porcentaje de Sobrepresiones. “Escenario 2 Optimizado”

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Al igual que el “Escenario 2” en este escenario las sobrepresiones no fueron considerables, ya que éstas están presentes solo en el 10 % de las válvulas siendo solo en 1 válvula la sobrepresión mayor a 10 m (13.9 m). Ver **Anexo 9.6**. Debido a la misma razón explicada en el análisis hidráulico del “Escenario 2”.

5.7.2. Análisis Energético

a. Análisis energético del “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado”

Para realizar el análisis energético es necesario conocer el tiempo mensual real o próximo al real, para tener valores de costo energéticos que sean verdaderos, de esta manera evitar infra o sobre estimaciones.

El valor del tiempo de riego depende de la lámina bruta mensual a reponer con el sistema de riego y de a velocidad de aplicación de cada uno de los emisores, a continuación se muestra el cuadro con el tiempo real de cada turno.

Cuadro 37. Tiempo de riego por turno para “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado”

TIPO DE EMISOR	TURNOS DE RIEGO	V. APLICACION (mm/hr)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
			Lamina 4,48	Lamina 4,95	Lamina 5,02	Lamina 4,48	Lamina 3,19	Lamina 2,17	Lamina 2,02	Lamina 2,28	Lamina 2,81	Lamina 3,41	Lamina 3,80	Lamina 4,00
	(N° A)		Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B	Tiempo x turno (min) B
Rotores de 1/2" y 3/4"	22	10	26,88	29,70	30,12	26,88	19,14	13,02	12,12	13,68	16,86	20,46	22,80	24,00
Discos	12	42,9	6,27	6,93	7,03	6,27	4,47	3,04	2,83	3,19	3,93	4,77	5,32	5,60
Rotores de 1"	4	20	13,44	14,85	15,06	13,44	9,57	6,51	6,06	6,84	8,43	10,23	11,40	12,00
Rotores de 1"	4	10	26,88	29,70	30,12	26,88	19,14	13,02	12,12	13,68	16,86	20,46	22,80	24,00
Acople con aspersor	1	10	26,88	29,70	30,12	26,88	19,14	13,02	12,12	13,68	16,86	20,46	22,80	24,00
Goteo	1	5	53,76	59,40	60,24	53,76	38,28	26,04	24,24	27,36	33,72	40,92	45,60	48,00
TURNOS TOTALES	44													

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Se muestra el **Cuadro 38** el número de horas mensuales en la que el sistema estará en funcionamiento. Este dato es importante para determinar o estimar el costo energético mensual.

Cuadro 38. Tiempo de riego mensual para “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado”

TIPO DE EMISOR	TURNOS DE RIEGO	V. APLICACION (mm/hr)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBR	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
			Dias	Dias											
			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	(N°) A		Tiempo x emisor (hr) (AxB/60)												
Rotor de 1/2" y 3/4"	22	10	9,86	10,89	11,04	9,86	7,02	4,77	4,44	5,02	6,18	7,50	8,36	8,80	
Emisores	12	42,9	1,25	1,39	1,41	1,25	0,89	0,61	0,57	0,64	0,79	0,95	1,06	1,12	
Rotores de 1"	4	20	0,90	0,99	1,00	0,90	0,64	0,43	0,40	0,46	0,56	0,68	0,76	0,80	
Rotores de 1"	4	10	1,79	1,98	2,01	1,79	1,28	0,87	0,81	0,91	1,12	1,36	1,52	1,60	
Acople con aspersor	1	10	1,79	1,98	2,01	1,79	1,28	0,87	0,81	0,91	1,12	1,36	1,52	1,60	
Goteo	1	5	0,90	0,99	1,00	0,90	0,64	0,43	0,40	0,46	0,56	0,68	0,76	0,80	
TURNOS TOTALES	44														
TIEMPO DE RIEGO TOTAL DIARIO (Hr)			16,49	18,22	18,47	16,49	11,74	7,99	7,43	8,39	10,34	12,55	13,98	14,72	
TIEMPO DE RIEGO MENSUAL (Hr)			511,08	510,05	572,68	494,59	363,92	239,57	230,44	260,10	310,22	389,01	419,52	456,32	

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

a.1) Análisis Energético del “Escenario 1”

Para determinar el costo eléctrico que el funcionamiento de la red consumiría es necesario conocer dos parámetros importantes que dependen netamente de la operación del sistema, los datos necesarios son la Potencia Media (kw) y la Potencia Máxima (kw), ambos parámetros son datos de salida que el EPANET proporciona después de realizar la simulación.

Costo energético con Variadores de Velocidad “Escenario 1”

A continuación se muestra los resultados de potencia simulado una red con variadores de velocidad.

Potencia Media (Kw)	12,4
Potencia Maxima (Kw)	20,69

El valor del costo de la energía por cada kw-hr se encontró en los recibos de luz que la empresa luz del sur envía a la Universidad cada mes.

Costo Energetico (S./ (kw-hr))	0,1561
---------------------------------------	--------

El **costo energético mensual** depende directamente del número de horas al mes que estará en funcionamiento el sistema, de la potencia media y el costo energético por cada kw-hr, se obtuvo como resultados el siguiente cuadro.

ENERO	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
989,3	987,3	1108,5	957,4	704,4	463,7	446,1	503,5	600,5	753,0	812,0	883,3

La suma de todos los costos energéticos mensuales nos da el costo anual.

Costo Anual de Energia (S./)	9208,82
-------------------------------------	----------------

El **costo de potencia mensual** depende la potencia máxima consumida en la red y de su costo por cada kw.

Costo Potencia Generacion FP (S./kw)	14,60
Costo Potencia Distribucion FP (S./kw)	10,31

Siendo el costo mensual por potencia consumida

Costo Mensual de Potencia	515,53
----------------------------------	---------------

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 anual por potencia consumida.

Costo Anual de Potencia	6186,39
--------------------------------	----------------

Costo energético sin Variadores de Velocidad "Escenario 1"

A continuación se muestra los resultados de potencia simulado una red sin variadores de velocidad.

Potencia Media (Kw)	19,61
Potencia Maxima (Kw)	22,76

A diferencia de la simulación con variador de velocidad, la potencia media tuvo un aumento de alrededor de 7.21 kw, y la potencia máxima consumida subió en 2 kw, ambos parámetros influyen directamente en el aumento del costo energético, el cual se muestra en los siguientes cuadros.

Cuadro de costo energético mensual en S/.

ENERO	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1564,5	1561,3	1753,0	1514,0	1114,0	733,3	705,4	796,2	949,6	1190,8	1284,2	1396,9

Cuadro de costo energético anual

Costo Anual de Energia (S/.)	14563,3
-------------------------------------	----------------

Costo de potencia consumida mensual y anual.

Costo Mensual de Potencia (S/.)	567,1
Costo Anual de Potencia (S/.)	6805,3

a.2) Análisis Energético del “Escenario 1 Optimizado”

Costo energético con Variadores de Velocidad “Escenario 1 Optimizado”

Resultados de EPANET

Potencia Media (Kw)	14,08
Potencia Maxima (Kw)	20,48

Se calculó el **costo energético mensual** en S/. como se muestra en el siguiente cuadro

ENERO	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1123,3	1121,0	1258,7	1087,1	799,8	526,5	506,5	571,7	681,8	855,0	922,1	1002,9

Resultó como **costo anual energético**:

Costo Anual de Energía (S/.)	10456,46
------------------------------	----------

Costo de potencia consumida mensual y anual.

Costo Mensual de Potencia	510,30
Costo Anual de Potencia	6123,60

Costo energético sin Variadores de Velocidad “Escenario 1 Optimizado”

Resultados de EPANET

Potencia Media (Kw)	19,61
Potencia Maxima (Kw)	22,76

Se calculó el **costo energético mensual** en S/., como se muestra en el siguiente cuadro

ENERO	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1564,5	1561,3	1753,0	1514,0	1114,0	733,3	705,4	796,2	949,6	1190,8	1284,2	1396,9

Resultó como **costo anual energético**:

Costo Anual de Energía (S/.)	14563,3
------------------------------	---------

Costo de potencia consumida mensual y anual.

Costo Mensual de Potencia (S/.)	567,1
Costo Anual de Potencia (S/.)	6805,3

b. Análisis Energético del “Escenario 2” Y “Escenario 2 Optimizado”

Para el análisis Energético del “Escenario 2” y el “Escenario 2 Optimizado” se muestran los siguientes cuadros.

Cuadro 39. Tiempo de riego por turno para “Escenario 2” y “Escenario 2 Optimizado”

TIPO DE EMISOR	TURNOS DE RIEGO	V. APLICACION (mm/hr)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
			Lamina 4,48	Lamina 4,95	Lamina 5,02	Lamina 4,48	Lamina 3,19	Lamina 2,17	Lamina 2,02	Lamina 2,28	Lamina 2,81	Lamina 3,41	Lamina 3,80	Lamina 4,00
	(N° A)		Tiempo x turno (min) B											
Rotores de 1/2" y 3/4"	19	10	26,88	29,70	30,12	26,88	19,14	13,02	12,12	13,68	16,86	20,46	22,80	24,00
Biflores	11	42,9	6,27	6,93	7,03	6,27	4,47	3,04	2,83	3,19	3,93	4,77	5,32	5,60
Rotores de 1"	3	20	13,44	14,85	15,06	13,44	9,57	6,51	6,06	6,84	8,43	10,23	11,40	12,00
Rotores de 1"	4	10	26,88	29,70	30,12	26,88	19,14	13,02	12,12	13,68	16,86	20,46	22,80	24,00
Acople con aspersor	1	10	26,88	29,70	30,12	26,88	19,14	13,02	12,12	13,68	16,86	20,46	22,80	24,00
Coteo	1	5	53,76	59,40	60,24	53,76	38,28	26,04	24,24	27,36	33,72	40,92	45,60	48,00
TURNOS TOTALES	39													

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Cuadro 40. Tiempo de riego mensual para “Escenario 2” y “Escenario 2 Optimizado”

TIPO DE EMISOR	TURNOS DE RIEGO	V. APLICACION (mm/hr)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBR	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
			Dias											
			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
	(N°) A		Tiempo x emisor (hr) (AxB/60)											
Rotor de 1/2" y 3/4"	19	10	8,51	9,41	9,54	8,51	6,06	4,12	3,84	4,33	5,34	6,48	7,22	7,60
Difusores	11	42,9	1,15	1,27	1,29	1,15	0,82	0,56	0,52	0,59	0,72	0,88	0,98	1,03
Rotores de 1"	3	20	0,67	0,74	0,75	0,67	0,48	0,33	0,30	0,34	0,42	0,51	0,57	0,60
Rotores de 1"	4	10	1,79	1,98	2,01	1,79	1,28	0,87	0,81	0,91	1,12	1,36	1,52	1,60
Acople con aspersor	1	10	1,79	1,98	2,01	1,79	1,28	0,87	0,81	0,91	1,12	1,36	1,52	1,60
Goteo	1	5	0,90	0,99	1,00	0,90	0,64	0,43	0,40	0,46	0,56	0,68	0,76	0,80
TURNOS TOTALES	39													
TIEMPO DE RIEGO TOTAL DIARIO (Hr)			14,81	16,37	16,60	14,81	10,55	7,18	6,68	7,54	9,29	11,28	12,57	13,23
TIEMPO DE RIEGO MENSUAL (Hr)			459,23	458,30	514,58	444,42	327,00	215,26	207,06	233,72	278,75	349,55	376,96	410,03

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

b.1) Análisis Energético del “Escenario 2”

Costo energético con Variadores de Velocidad “Escenario 2”

Resultados de EPANET

Potencia Media (Kw)	14,54
Potencia Maxima (Kw)	26,12

Se calculó el **costo energético mensual** en S/. como se muestra en el siguiente cuadro

ENERO	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1042,3	1040,2	1167,9	1008,7	742,2	488,6	470,0	530,5	632,7	793,4	855,6	930,6

Resultó como **costo anual energético**:

Costo Anual de Energia (S/.)	9702,62
-------------------------------------	----------------

Costo de potencia consumida mensual y anual.

Costo Mensual de Potencia	650,83
Costo Anual de Potencia	7809,98

Costo energético sin Variadores de Velocidad “Escenario 2”

Resultados de EPANET

Potencia Media (Kw)	20,77
Potencia Maxima (Kw)	24,69

Se calculó el **costo energético mensual** en S/., como se muestra en el siguiente cuadro

ENERO	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1488,9	1485,9	1668,4	1440,9	1060,2	697,9	671,3	757,8	903,8	1133,3	1222,2	1329,4

Resultó como **costo anual energético**:

Costo Anual de Energia (S/.)	13859,9
-------------------------------------	----------------

Costo de potencia consumida mensual y anual.

Costo Mensual de Potencia (S/.)	615,2
Costo Anual de Potencia (S/.)	7382,4

b.2) Análisis Energético del “Escenario 2 Optimizado”

Costo energético con Variadores de Velocidad “Escenario 2 Optimizado”

Resultados de EPANET

Potencia Media (Kw)	14,32
Potencia Maxima (Kw)	24,25

Se calculó el **costo energético mensual** en S/. como se muestra en el siguiente cuadro.

ENERO	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1026,5	1024,5	1150,3	993,4	731,0	481,2	462,9	522,4	623,1	781,4	842,6	916,6

Resultó como **costo anual energético**:

Costo Anual de Energia (S/.)	9555,81
-------------------------------------	----------------

Costo de potencia consumida mensual y anual.

Costo Mensual de Potencia	604,24
Costo Anual de Potencia	7250,85

Costo energético sin Variadores de Velocidad “Escenario 2 Optimizado”

Resultados de EPANET

Potencia Media (Kw)	20,77
Potencia Maxima (Kw)	24,69

Se calculó el **costo energético mensual** en S/. como se muestra en el siguiente cuadro

ENERO	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1488,9	1485,9	1668,4	1440,9	1060,2	697,9	671,3	757,8	903,8	1133,3	1222,2	1329,4

Resultó como **costo anual energético**:

Costo Anual de Energia (S/.)	13859,9
-------------------------------------	----------------

Costo de potencia consumida mensual y anual.

Costo Mensual de Potencia (S/.)	615,2
Costo Anual de Potencia (S/.)	7382,4

Como resumen del análisis energético se muestra el **Cuadro 41** de comparación de los resultados obtenidos de todos los escenarios.

Cuadro 41. Comparación de Costos entre el Análisis Energético con V. Velocidad y sin V. Velocidad

	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
CON VARIADOR DE VELOCIDAD				
Costo Anual de Energía (S/.)	9208,82	10456,46	9702,62	9555,81
Costo Anual de Potencia (S/.)	6186,39	6123,60	7809,98	7250,85
COSTO TOTAL	15395,21	16580,06	17512,61	16806,66
SIN VARIADOR DE VELOCIDAD				
Costo Anual de Energía (S/.)	14563,30	14563,30	13859,93	13859,93
Costo Anual de Potencia (S/.)	6805,33	6805,33	7382,41	7382,41
COSTO TOTAL	21368,63	21368,63	21242,34	21242,34

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

Ahorro del costo energético con el uso del Variador de Velocidad para cada Escenario se muestra en el **Cuadro 42**.

Cuadro 42. Ahorro Económico entre el Análisis Energético con V. Velocidad y sin V. Velocidad

	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
AHORRO ENERGETICO				
Ahorro Energetico Anual	5354,48	4106,83	4157,31	4304,12
Ahorro de Potencia Anual	618,94	681,73	-427,58	131,56
AHORRO TOTAL	5973,42	4788,56	3729,74	4435,68

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

De los resultados energéticos del “Escenario 1” y “Escenario 1 Optimizado” observamos que los costos de energía simulados **sin variador de velocidad**, para ambos escenarios, fueron exactamente iguales. Recordemos que ambos escenarios manejan los mismos parámetros de operación, es por ello que al usar la misma curva nominal Q (l/s) vs H (m), p.e., el turno 1 de ambos escenarios manejan el mismo caudal y para ese caudal la curva de la bomba ejerce una

presión a una eficiencia determinada, por lo tanto ése turno consume la misma potencia y tiene el mismo costo energético para los dos escenarios. Siguiendo el mismo procedimiento para todos los turnos se obtiene el mismo costo energético y de potencia anual de todo el sistema para ambos casos. Del mismo modo ocurre entre el “**Escenario 2**” y el “**Escenario 2 Optimizado**”.

Es apreciable el ahorro del consumo y costo energético que se logra si se toma en cuenta el funcionamiento del sistema con un variador de velocidad para cualquiera de los escenarios planteados, así tenemos que el ahorro energético total del “Escenario 1” que se tendría adoptando este sistema sería de s/. 5973.42, del “Escenario 1 Optimizado” el ahorro sería de s/.4788.56, del “Escenario 2” el ahorro sería de s/.3729.74, del “Escenario 2 Optimizado” el ahorro sería de s/.4429.01.

Por otro lado se puede observar en el “Escenario 2” que el costo anual de potencia con variador de velocidad es más alto que un análisis sin variador de velocidad, para dar explicación a este evento, en primer lugar ubicamos el turno en el que ocurre la potencia máxima, del **Cuadro 28** se obtiene que la potencia máxima ocurre en el turno 24 y es justo en este turno en el que el requerimiento de giro de la bomba es de 3 612 RPM siendo este valor el único mayor al giro nominal de 3540 RPM, por ende al funcionar este sistema con variador la altura proporcionada será mayor que funcionando sin variador de velocidad.

5.8. Costo Global Anual del Sistema de Riego

Los factores que intervinieron en la determinación del costo global del sistema son el costo de anualidad de la red de tuberías, el costo energético anual y el costo en operación y mantenimiento de rutina del sistema.

5.8.1. Costo de la Anualidad de la red de tuberías

Se muestra el **Cuadro 43** los costos de inversión inicial de la red de tuberías para cada uno de los escenarios planteados en el estudio.

Cuadro 43. Costo de Inversión Inicial de la Red de Tuberías para cada Escenario

	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
Costo de Inversión Inicial de la Red Matriz (S/.)	92919,98	40646,96	92919,98	66695,13

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.8.2. Costo Anual de la Red y Costo Total en 20 años

Tomando los siguientes parámetros, los cuales han sido usados para la optimización en Gestar.

- Tasa de Amortización(r): 10%
- Periodo de Amortización (t): 20 años
- Se determinara el factor de anualidad (a) de usando la siguiente ecuación

$$a = \frac{r \times (1 + r)^t}{(1 + r)^t - 1}$$

- Factor de anualidad = 0.1175

Se halló a continuación los costos anuales de la red, multiplicando los costos de inversión anual de cada uno de los escenarios planteados con el Factor de Anualidad (a) hallado, además se muestra en el **Cuadro 44** el costo total de la red en 20 años.

Cuadro 44. Costo Anual de la Red y Costo Total en 20 años

	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
Costo ANUAL de la Red	10914,35	4774,38	10914,35	7833,98
Costo TOTAL en 20 años	218286,92	95487,53	218286,92	156679,70

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.8.3. Costo energético anual para el funcionamiento del Sistema.

A continuación se muestra los resultados obtenidos del análisis energético realizado anteriormente, donde se hace la diferencia entre el costo energético anual que conlleva el uso o no uso de los variadores de velocidad.

Cuadro 45. Costo energético anual por escenarios

	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
Costo Energetico Anual CVV	15395,2	16580,1	17512,6	16806,7
Costo Energetico Anual SVV	21368,6	21368,6	21242,3	21242,3

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.8.4. Costo Anual en OyM de rutina

Este costo involucra al personal necesario para verificar el correcto funcionamiento del sistema en campo, se consideró un costo por personal de s/. 1 500.

Escenario 1 y Escenario 1 Optimizado: para estos escenarios se considera la intervención de dos personas como mínimo para realizar dicha labor, ya que al tener los turnos con válvulas dispersas hacen necesario más personas.

Escenario 2 y Escenario 2 Optimizado: para estos escenarios se considera la intervención solo de una persona para realizar dicha labor, ya que al tener los turnos conformados por válvulas agrupadas y concentradas en una determinada área es más fácil la observación del funcionamiento del sistema.

A continuación se muestra el costo anual para la OyM de rutina del sistema de riego.

Cuadro 46. Costo anual en OyM de rutina

	2 Personales		1 Personal	
	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
Costo Anual de OYM de rutina en campo	36000	36000	18000	18000

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

5.8.5. Costo Global Anual

A continuación se muestra los costos globales a nivel para cada escenarios, haciendo la diferencia entre el costo que involucra un sistema de bombeo con variador de velocidad y un sistema de bombeo sin variador de velocidad.

Cuadro 47. Costo Global Total para cada uno de los escenarios

	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
Anualidad	10914,3	4774,4	10914,3	7834,0
	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
Costo Energetico Anual CVV	15395,2	16580,1	17512,6	16806,7
Costo Energetico Anual SVV	21368,6	21368,6	21242,3	21242,3
	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
Costo Anual de OYM de rutina en campo	36000	36000	18000	18000
	"Escenario 1"	"Escenario 1 Optimizado"	"Escenario 2"	"Escenario 2 Optimizado"
COSTO GLOBAL ANUAL CON VARIADOR DE VELOCIDAD	62.309,6	57.354,4	46.427,0	42.640,6
COSTO GLOBAL ANUAL SIN VARIADOR DE VELOCIDAD	68.283,0	62.143,0	50.156,7	47.076,3
AHORRO GLOBAL	5.973,4	4.788,6	3.729,7	4.435,7

FUENTE: Elaboración Propia (2014)

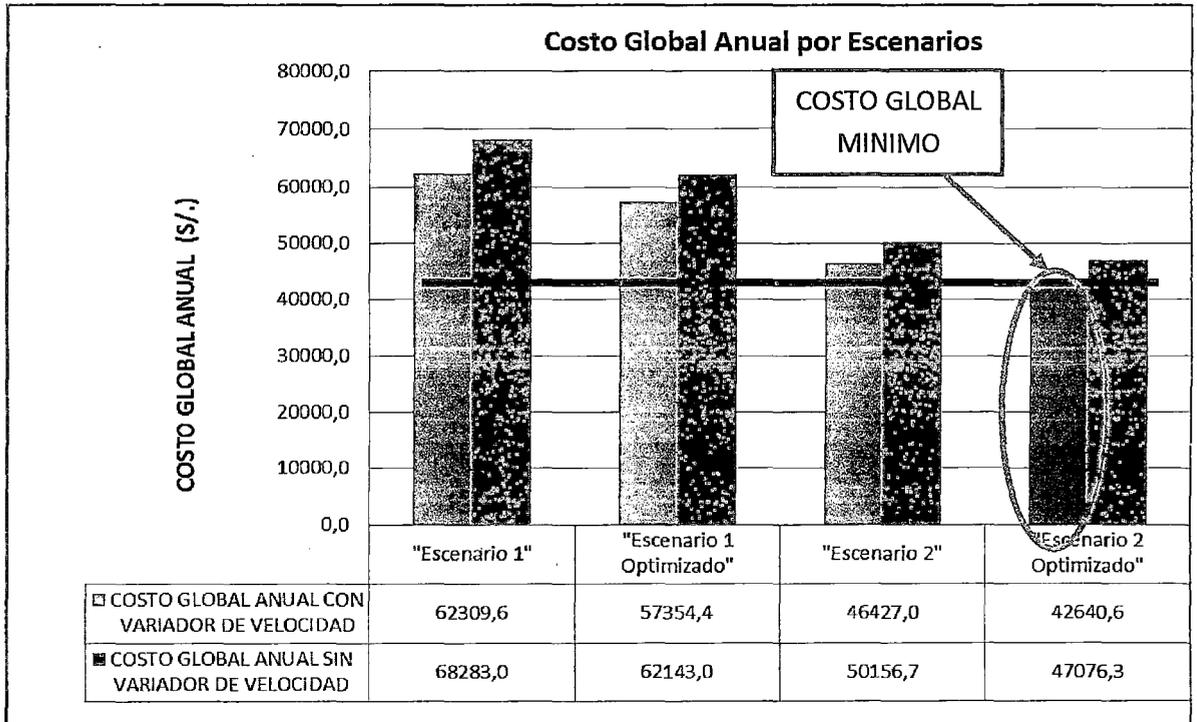


Figura 63. Comparación Gráfica del Costo Global Total para cada uno de los escenarios.

FUENTE: Elaboración Propia (2014).

De la **Figura 63** se puede determinar el escenario con el menor Costo Global, donde notamos que el “Escenario 2 Optimizado” con Variador de Velocidad es la propuesta optima con un costo de 42 640.6 soles, el cual implica un ahorro de 4 435.7 soles comparándolo con el costo Global del mismo escenario pero sin Variador de Velocidad.

VI. CONCLUSIONES

- En los “Escenario 1” y “Escenario 2” los diámetro de 63, 75 y 90 mm en su mayoría son tuberías de tramo corto que salen de la tubería principal hasta cada una de las 115 electroválvulas. Por otro lado los diámetros 110, 140 y 160 mm forman parte de la tubería principal, siendo el 67% del total de las tuberías de 140mm. Siendo el costo total de la red del “Escenario 1” y “Escenario 2” con los diámetros planteados de 92 923.03 soles.
- En el “escenario 1 optimizado” el 50% de la red del sistema está conformado por tuberías de 75 mm de diámetro, a diferencia del “Escenario 1” donde los diámetros de 63 y 75 mm solo estaban en tramos cortos entre la red principal y cada una de las válvulas, luego de la optimización el diámetro de 75mm paso a formar parte de la red primaria de conducción y que junto con las tuberías de 110mm de diámetro abarcan el 71% de la red, reduciendo en gran medida el costo de inversión inicial de la red.
- La gran diferencia entre el “escenario 1” y el “escenario 1 optimizado” también se puede notar con el menor uso de tuberías de 140 y 160mm, que a diferencia del 83% que abarcaba en el escenario 1, posterior a la optimización abarca solo el 22% de la red principal. Obteniéndose un ahorro económico total de 56.26%.
- En el “escenario 2 optimizado” a diferencia del “Escenario 2” sin optimizar, que hay una distribución más pareja de los diámetros en toda la red, p.e. se redujo de 67% a 30% el uso de tuberías de 140mm, reemplazándolo por tuberías de menor diámetro por toda la red. Obteniéndose un ahorro económico total de 28.23%.

- Las sobrepresiones de las válvulas para cada uno de los turnos van a depender de cuán grande es la diferencia entre el máximo requerimiento de presión y los requerimientos de presión de las otras válvulas que conforman ese turno.
- El factor responsable del incremento en el nivel de sobrepresiones internas de los turnos de los Escenarios optimizados 1 y 2 respecto a sus respectivos Escenarios sin optimizar es debido al ajuste de los diámetros que se obtienen después de la optimización.
- El menor nivel de sobrepresiones presente en el “Escenario 2” y “Escenario 2 optimizado” se debe a que las válvulas que conforman un turno están agrupadas lo más cercanas posible, es por ello que el requerimiento de presiones para cada una de estas son similares o no tienen gran diferencia con la CDT impuesta para el turno. Mientras que para el “Escenario 1” y el “Escenario 1 Optimizado” cuentan con turnos conformados por válvulas las cuales están muy distanciadas unas de otras dentro de la red, motivo por el cual los requerimientos de presión para cada una de éstas también tienen gran diferencia, razón por la cual las sobrepresiones aumentan al imponer para todas las válvulas de un turno una CDT igual al requerimiento máximo de presión.
- El funcionamiento de bombas sin el apoyo de variadores de velocidad genera inconvenientes ya que una bomba cuanto menos caudal suministra más presión proporciona, sin embargo cuando la red demanda poca agua también solicita menor presión, suministrando la bomba un exceso de presión y generando un consumo energético innecesario el cual repercute en una tarifa eléctrica elevada.
- La potencia media consumida para el “Escenario 1” y el “Escenario 1 Optimizado” sin el uso de Variadores de Velocidad es de 19.61 kw para ambos y con el uso de Variadores de Velocidad son de 12.4 kw y 14.08 kw respectivamente.
- La potencia media consumida para el “Escenario 2” y el “Escenario 2 Optimizado” sin el uso de Variadores de Velocidad es de 20.77 kw para ambos y con el uso de Variadores de Velocidad son de 14.54 kw y 14.32 kw respectivamente.

- Con el uso de Variadores de Velocidad se tiene un ahorro energético de 28%, 22%, 18% y 21% para el Escenario 1, Escenario 1 Optimizado, Escenario 2 y Escenario 2 Optimizado respectivamente.

- Desde el punto de vista del costo global Anual, el cual involucra costo de tubería, costo energético y costo de mano de obra, se tiene al Escenario 2 Optimizado con Variadores de Velocidad como el Escenario seleccionado por su menor costo.

- El factor costo Anual de mano de obra para la OyM de rutina del sistema tiene una gran influencia en la determinación del Escenario adecuado, el cual representa entre un 40% y un 60% del costo global del proyecto.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Para no perjudicar el funcionamiento del resto de equipos eléctricos usados en los laboratorios, oficinas, equipos, etc. que se ponen en marcha diariamente en la universidad, el riego se puede realizar durante las horas de menos consumo energético, configurando el programador para regar en dichos periodos.
- 7.2. Para una mayor seguridad respecto a los timbrajes obtenidos después de la optimización de la red de tuberías con el software GESTAR se recomienda realizar un análisis de transitorios para determinar la variación de presión producto de un cambio brusco de velocidad, además de poder determinar la ubicación de válvulas antiarite en algunos puntos de la red en caso sea necesario.
- 7.3. El suelo de la Molina es un suelo muy retentivo por lo que se recomienda realizar el riego para reponer a lámina de 4 o 3 días de esta manera se evita el estrés que conlleva el cambio de la modalidad del riego.
- 7.4. Teniendo en cuenta el Costo Global del Sistema y además la facilidad en la Operación se recomienda la instalación y operación del sistema de riego estipulado en el Escenario 2 Optimizado con Variadores de Velocidad.
- 7.5. Con la instalación del riego por aspersión se puede plantear la siembra de distintos tipos de grass con menores consumos de agua que el grass americano (*Stenotaphrum secundatum*), tales como el grass Paspalum (*Paspalum notatum*) y el grass bermuda (*Cynodon dactylon*), además de determinar cuan más resistentes son a la falta de agua,

lo cual se reflejaría en menos horas de riego, menor consumo energético y un importante ahorro económico.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- ADRA PERU (Agencia Adventista para el Desarrollo y Recursos Asistenciales Perú). 2009. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. Perú, Lehmann. p. 12-31.
- Alfaro, A. AHORRO Y EFICIENCIA ENERGETICA EN LA AGRICULTURA DE REGADÍO. Consultado el 20 de Jun. 2014. Disponible en <http://www.riegosdenavarra.com/publica/XXVCNRalfaro.pdf>
- Berrocal, R. 2013. Automatización del Sistema de Riego. Perú.
- Campos, JC; Lora, E; Meriño, L; Tovar, I; Navarro, Alfredo. AHORRO DE ENERGIA EN SISTEMAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS. Colombia. 34 p. Consultado el 15 de Julio. 2014. Disponible en el siguiente link <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/bombas.pdf>
- Cátedra de Ingeniería Rural. Formulas empíricas para el cálculo de pérdidas de carga continuas en tuberías. España. p9. Consultado el 23 de Julio. 2014. Disponible en https://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema7.PDF
- Cervantes, ME. 2012. Control de Bombas de Alimentación a Caldera con un Variador de Velocidad Hidrodinámico. México. 145 p.
- Escuela Politécnica Superior de Huesca. 2013. España. MANUAL DE USUARIO GESTAR 2014. 538 p.

- García, MM. 2006. Modelación y Simulación de Redes Hidráulicas a Presión Mediante Herramientas Informáticas. Colombia. 157 p.
- Pérez, LE. 2007. Criterios de Diseño, Cálculo y Selección de Tuberías en Base al Criterio de las Prestaciones Equivalentes. 82 p.
- Solano, AS; Reyes, JC; Ortega, UT. 2012. SISTEMA DE CONTROL DE PRESION PARA EL SUMINISTRO DE AGUA EN LA CENTRAL DE ASERVISION DEL CENTRO MEDICO NACIONAL LA RAZA. Tesis Ing. México, D.F. 123p.
- Tobía, GC. 2008. AUTOMATIZACION DEL BANCO DE PRUEBAS ARMIELED FM20 DE UNA BOMBA CENTRIFUGA. Venezuela. 135p
- Vega, AM. 2011. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA SISTEMA DE CONTROL DE VARIADORES DE VELOCIDA PARA OBTENER PRESION DE AGUA CONSTANTE EN UN EDIFICIO DE LA UNIVERSIDAD SIMON BOLIVAR. Tesis Ing. Ecuador. 196 p.

IX. ANEXOS

9.1. Cálculos Hidráulicos del Escenario 1 Optimizado

COTA DE RESERVIORIO		CALCULOS HIDRAULICOS ESC 1 OPTIMIZADO											Carga Dinámica (m)	CAUDAL (l/s)
TURNOS	N° VALVULA	Cota de Valvula	Desnivel Topográfico	ΔH en Matriz	Pérdida Singularidades (10%)	H Cabezal	P. Trabajo	H Arco de Alego	ΔH max. en Sub unidad (10%)	Margen de Seguridad (10%)	Profundidad de Reservorio			
		B	C	F	D	(Presión Consigna) H			G	E				
I	1	233,4	-8,8	24,8	2,5	10,0	30,0	2,5	3,0	7,3	4,0	75,2	6,5	
	9	234,4	-7,8	15,0	1,5	10,0	30,0	2,5	3,0	6,2	4,0	64,3	7,0	
	45	238,0	-4,3	4,8	0,5	10,0	30,0	2,5	3,0	5,1	4,0	55,6	4,5	
											75,2	18,1		
II	2	233,4	-8,8	22,3	2,2	10,0	30,0	2,5	3,0	7,0	4,0	72,2	6,4	
	19	238,3	-4,0	16,6	1,7	10,0	30,0	2,5	3,0	6,4	4,0	70,1	6,8	
	48	240,8	-1,5	7,2	0,7	10,0	30,0	2,5	3,0	5,3	4,0	61,2	4,5	
											72,2	17,6		
III	3	233,5	-8,8	21,0	2,1	10,0	30,0	2,5	3,0	6,9	4,0	70,7	6,5	
	16	235,9	-6,3	5,2	0,5	10,0	30,0	2,5	3,0	5,1	4,0	53,9	6,9	
	49	240,5	-1,8	1,5	0,2	10,0	30,0	2,5	3,0	4,7	4,0	54,1	3,7	
											70,7	17,1		
IV	15	235,4	-6,9	9,8	1,0	10,0	30,0	2,5	3,0	5,6	4,0	59,0	7,3	
	43	239,0	-3,3	5,9	0,6	10,0	30,0	2,5	3,0	5,2	4,0	58,0	7,3	
	55	239,3	-3,0	2,6	0,3	10,0	30,0	2,5	3,0	4,8	4,0	54,2	2,3	
											59,0	16,9		
V	8	234,4	-7,8	15,6	1,6	10,0	30,0	2,5	3,0	6,3	4,0	65,1	7,6	
	32	236,3	-6,0	10,3	1,0	10,0	30,0	2,5	3,0	5,7	4,0	60,5	6,7	
	102	240,0	-2,3	2,2	0,2	10,0	30,0	2,5	3,0	4,8	4,0	54,5	4,4	
											65,1	18,7		
VI	5	234,3	-8,0	16,5	1,6	10,0	30,0	2,5	3,0	6,4	4,0	66,0	6,2	
	12	235,5	-6,8	12,4	1,2	10,0	30,0	2,5	3,0	5,9	4,0	62,3	6,3	
	24	237,8	-4,5	7,8	0,8	10,0	30,0	2,5	3,0	5,4	4,0	59,0	6,2	
											66,0	18,6		
VII	7	234,4	-7,8	17,8	1,8	10,0	30,0	2,5	3,0	6,5	4,0	67,7	6,9	
	42	235,8	-6,5	12,3	1,2	10,0	30,0	2,5	3,0	5,9	4,0	62,4	6,9	
	54	242,0	-0,3	1,5	0,1	10,0	30,0	2,5	3,0	4,7	4,0	55,6	3,1	
											67,7	16,9		
VIII	18	236,3	-6,0	11,4	1,1	10,0	30,0	2,5	3,0	5,8	4,0	61,9	6,2	
	6	234,0	-8,3	18,8	1,9	10,0	30,0	2,5	3,0	6,6	4,0	68,5	6,3	
	31	236,3	-6,0	10,6	1,1	10,0	30,0	2,5	3,0	5,7	4,0	60,8	6,3	
											68,5	18,7		
IX	23	236,5	-5,8	13,0	1,3	10,0	30,0	2,5	3,0	6,0	4,0	64,0	6,3	
	35	236,9	-5,3	12,5	1,3	10,0	30,0	2,5	3,0	5,9	4,0	63,8	6,4	
	17	235,9	-6,3	9,7	1,0	10,0	30,0	2,5	3,0	5,6	4,0	59,4	6,2	
											64,0	18,9		
X	30	236,9	-5,4	13,7	1,4	10,0	30,0	2,5	3,0	6,1	4,0	65,2	6,2	
	33	235,9	-6,4	12,5	1,3	10,0	30,0	2,5	3,0	5,9	4,0	62,8	6,3	
	26	237,3	-5,0	6,4	0,6	10,0	30,0	2,5	3,0	5,3	4,0	56,8	6,2	
											65,2	18,7		
XI	4	234,3	-8,0	13,9	1,4	10,0	30,0	2,5	3,0	6,1	4,0	62,8	6,2	
	11	235,8	-6,5	11,5	1,1	10,0	30,0	2,5	3,0	5,8	4,0	61,4	6,6	
	53	242,0	-0,3	5,4	0,5	10,0	30,0	2,5	3,0	5,1	4,0	60,4	6,3	
											62,8	19,0		
XII	25	237,0	-5,3	7,4	0,7	10,0	30,0	2,5	3,0	5,4	4,0	57,8	6,5	
	41	235,3	-7,0	14,3	1,4	10,0	30,0	2,5	3,0	6,1	4,0	64,4	6,6	
	37	236,5	-5,8	8,3	0,8	10,0	30,0	2,5	3,0	5,5	4,0	58,3	6,1	
											64,4	19,2		
XIII	10	235,8	-6,5	12,1	1,2	10,0	30,0	2,5	3,0	5,9	4,0	62,2	6,7	
	40	235,2	-7,1	11,5	1,1	10,0	30,0	2,5	3,0	5,8	4,0	60,9	6,6	
											62,2	13,4		

XIV	52	242,8	0,5	8,7	0,9	10,0	30,0	2,5	3,0	5,5	4,0	65,0	7,0
	39	235,6	-6,7	7,7	0,8	10,0	30,0	2,5	3,0	5,4	4,0	56,7	6,7
												65,0	13,8
XV	13	236,3	-6,0	7,3	0,7	10,0	30,0	2,5	3,0	5,3	4,0	56,8	6,9
	44	238,0	-4,3	3,4	0,3	10,0	30,0	2,5	3,0	4,9	4,0	53,9	7,3
												56,8	14,2
XVI	14	235,8	-6,5	6,4	0,6	10,0	30,0	2,5	3,0	5,3	4,0	55,3	7,3
	34	238,3	-4,0	3,6	0,4	10,0	30,0	2,5	3,0	5,0	4,0	54,5	6,5
												55,3	13,9
XVII	20	238,3	-4,0	16,6	1,7	10,0	30,0	2,5	3,0	6,4	4,0	70,1	6,8
	36	236,8	-5,5	5,8	0,6	10,0	30,0	2,5	3,0	5,2	4,0	55,5	6,6
												70,1	13,4
XVIII	22	237,9	-4,4	13,4	1,3	10,0	30,0	2,5	3,0	6,0	4,0	65,9	6,5
	46	238,5	-3,8	2,3	0,2	10,0	30,0	2,5	3,0	4,8	4,0	53,1	7,2
												65,9	13,7
XIX	38	236,2	-6,1	4,9	0,5	10,0	30,0	2,5	3,0	5,1	4,0	53,9	6,3
	51	242,8	0,5	10,4	1,0	10,0	30,0	2,5	3,0	5,7	4,0	67,2	7,3
												67,2	13,6
XX	28	236,8	-5,5	1,5	0,2	10,0	30,0	2,5	3,0	4,7	4,0	50,4	6,4
	50	242,8	0,5	9,9	1,0	10,0	30,0	2,5	3,0	5,6	4,0	66,5	7,0
												66,5	13,4
XXI	21	237,5	-4,8	11,0	1,1	10,0	30,0	2,5	3,0	5,8	4,0	62,5	6,7
	47	241,3	-1,0	7,4	0,7	10,0	30,0	2,5	3,0	5,4	4,0	62,0	6,7
												62,5	13,4
XXII	27	236,0	-6,3	4,4	0,4	10,0	30,0	2,5	3,0	5,0	4,0	53,1	7,3
	29	236,9	-5,4	12,0	1,2	10,0	30,0	2,5	3,0	5,9	4,0	63,1	6,4
												63,1	13,7
XXIII	69	239,3	-3,0	2,6	0,3	10,0	45,0	2,5	4,5	6,5	4,0	72,3	6,3
	115	241,3	-1,0	1,5	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,4	4,0	73,0	9,0
	73	238,8	-3,5	3,7	0,4	10,0	45,0	2,5	4,5	6,6	4,0	73,2	5,4
												73,2	20,6
XXIV	65	239,3	-3,0	2,5	0,3	10,0	45,0	2,5	4,5	6,5	4,0	72,2	6,3
	57	241,0	-1,3	1,4	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,4	4,0	72,7	7,2
	70	239,0	-3,3	4,0	0,4	10,0	45,0	2,5	4,5	6,6	4,0	73,7	6,3
												73,7	19,7
XXV	66	239,3	-3,0	3,4	0,3	10,0	45,0	2,5	4,5	6,6	4,0	73,3	6,3
	56	241,0	-1,3	1,4	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,4	4,0	72,7	7,2
	67	239,3	-3,0	3,6	0,4	10,0	45,0	2,5	4,5	6,6	4,0	73,6	6,3
												73,6	19,7
XXVI	112	241,8	-0,5	0,9	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,3	4,0	72,8	6,3
	143	240,8	-1,5	1,4	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,4	4,0	72,4	8,1
	144	241,0	-1,3	1,5	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,4	4,0	72,7	7,2
												72,8	21,5
XXVII	61	241,0	-1,3	1,8	0,2	10,0	45,0	2,5	4,5	6,4	4,0	73,1	6,3
	62	241,0	-1,3	1,8	0,2	10,0	45,0	2,5	4,5	6,4	4,0	73,2	7,2
	59	241,5	-0,8	1,0	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,3	4,0	72,7	6,3
												73,2	19,7
XXVIII	63	241,0	-1,3	1,3	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,3	4,0	72,5	6,3
	58	241,0	-1,3	1,1	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,3	4,0	72,3	7,2
	60	241,8	-0,5	0,9	0,1	10,0	45,0	2,5	4,5	6,3	4,0	72,7	6,3
												72,7	19,7
XXIX	68	239,3	-3,0	3,0	0,3	10,0	45,0	2,5	4,5	6,5	4,0	72,9	7,2
	72	238,6	-3,7	3,9	0,4	10,0	45,0	2,5	4,5	6,6	4,0	73,3	5,4
												73,3	12,5

XXX	64	239,3	-3,0	1,7	0,2	10,0	45,0	2,5	4,5	6,4	4,0	71,3	7,2
	71	239,0	-3,3	2,9	0,3	10,0	45,0	2,5	4,5	6,5	4,0	72,4	5,4
												72,4	12,5
XXXI	98	234,8	-7,5	14,4	1,4	10,0	21,0	2,5	2,1	5,1	4,0	53,1	6,9
	99	238,3	-4,0	22,4	2,2	10,0	21,0	2,5	2,1	6,0	4,0	66,3	7,2
	103	240,3	-2,0	2,1	0,2	10,0	21,0	2,5	2,1	3,8	4,0	43,7	5,5
												66,3	19,5
XXXII	79	236,5	-5,8	7,0	0,7	10,0	21,0	2,5	2,1	4,3	4,0	45,9	6,5
	94	235,5	-6,8	8,5	0,8	10,0	21,0	2,5	2,1	4,5	4,0	46,6	5,3
	101	239,3	-3,0	3,1	0,3	10,0	21,0	2,5	2,1	3,9	4,0	43,9	6,5
												46,6	18,4
XXXIII	81	236,5	-5,8	7,6	0,8	10,0	21,0	2,5	2,1	4,4	4,0	46,6	6,6
	89	235,8	-6,5	9,0	0,9	10,0	21,0	2,5	2,1	4,5	4,0	47,5	7,1
	100	239,3	-3,0	3,2	0,3	10,0	21,0	2,5	2,1	3,9	4,0	44,0	6,8
												47,5	20,5
XXXIV	74	233,5	-8,8	31,4	3,1	10,0	21,0	2,5	2,1	7,0	4,0	72,5	7,1
	96	237,5	-4,8	20,9	2,1	10,0	21,0	2,5	2,1	5,9	4,0	63,7	7,0
	92	236,0	-6,3	7,6	0,8	10,0	21,0	2,5	2,1	4,4	4,0	46,1	6,7
												72,5	20,8
XXXV	77	235,0	-7,3	16,4	1,6	10,0	21,0	2,5	2,1	5,4	4,0	55,8	7,0
	87	235,3	-7,0	14,0	1,4	10,0	21,0	2,5	2,1	5,1	4,0	53,1	6,7
	97	238,0	-4,3	6,5	0,7	10,0	21,0	2,5	2,1	4,3	4,0	46,8	7,0
												55,8	20,7
XXXVI	78	235,8	-6,5	10,4	1,0	10,0	21,0	2,5	2,1	4,7	4,0	49,3	7,1
	95	235,5	-6,8	10,6	1,1	10,0	21,0	2,5	2,1	4,7	4,0	49,2	6,8
	106	241,3	-1,0	8,7	0,9	10,0	21,0	2,5	2,1	4,5	4,0	52,7	7,0
												52,7	20,9
XXXVII	75	233,5	-8,8	28,6	2,9	10,0	21,0	2,5	2,1	6,7	4,0	69,1	7,2
	83	237,8	-4,5	9,1	0,9	10,0	21,0	2,5	2,1	4,6	4,0	49,7	5,6
	98	237,8	-4,5	8,0	0,8	10,0	21,0	2,5	2,1	4,4	4,0	48,3	6,9
												69,1	19,7
XXXVIII	85	233,6	-8,7	23,9	2,4	10,0	21,0	2,5	2,1	6,2	4,0	63,4	7,0
	90	235,8	-6,5	12,0	1,2	10,0	21,0	2,5	2,1	4,9	4,0	51,1	7,0
	91	236,0	-6,3	11,0	1,1	10,0	21,0	2,5	2,1	4,8	4,0	50,2	6,6
												63,4	20,6
XXXIX	86	234,0	-8,3	19,9	2,0	10,0	21,0	2,5	2,1	5,7	4,0	59,0	7,9
	105	238,5	-3,8	3,2	0,3	10,0	21,0	2,5	2,1	3,9	4,0	43,3	8,6
										4,0		59,0	16,5
XL	82	238,3	-4,0	3,1	0,3	10,0	21,0	2,5	2,1	3,9	4,0	42,9	7,1
	104	239,5	-2,8	3,5	0,3	10,0	21,0	2,5	2,1	3,9	4,0	44,6	8,2
												44,6	15,3
XLI	88	235,3	-7,0	8,3	0,8	10,0	21,0	2,5	2,1	4,5	4,0	46,2	7,3
	80	234,3	-8,0	19,7	2,0	10,0	21,0	2,5	2,1	5,7	4,0	59,0	7,6
												59,0	14,8
XLII	84	237,5	-4,8	6,1	0,6	10,0	21,0	2,5	2,1	4,2	4,0	45,7	7,2
	76	235,0	-7,3	15,6	1,6	10,0	21,0	2,5	2,1	5,3	4,0	54,8	7,3
												54,8	14,5
XLIII	107	239,5	-2,8	2,3	0,2	10,0	21,0	2,5	2,1	3,8	4,0	43,1	6,4
	103	239,5	-2,8	2,3	0,2	10,0	21,0	2,5	2,1	3,8	4,0	43,2	6,4
												43,2	12,8
XLIV	109	241,5	-0,8	1,7	0,2	10,0	15,0	2,5	1,5	3,1	4,0	37,2	3,0
	110	241,5	-0,8	3,6	0,4	10,0	15,0	2,5	1,5	3,3	4,0	39,5	3,9
	111	241,5	-0,8	3,8	0,4	10,0	15,0	2,5	1,5	3,3	4,0	39,8	11,7
												39,8	18,6

9.2. Cálculos Hidráulicos del Escenario 2

COTA DE BORDE DE RESERVORIO (m)		CALCULOS HIDRAULICOS - ESCENARIO 2											CAUDAL	
TURNOS	N° VALVULA	Cota de Valvula	Desnivel Topografico (m)	ΔH en Matriz (m)	Perdida Singularidades 10% (m)	Hf Cabeza (m)	P. Trabajo (m)	H Arco de Riego (m)	ΔH max. en Subunidad 10% (m)	Margen de Seguridad 10% (m)	Profundidad de Reservoirio (m)	CDT (m)	CAUDAL	
													L/S	
1	1	233,4	-8,85	17,75	1,78	10	30	2,5	3	6,50	4	66,68	6,49	
	2	233,4	-8,85	17,75	1,78	10	30	2,5	3	6,50	4	66,68	6,37	
	3	233,5	-8,75	16,39	1,64	10	30	2,5	3	6,35	4	65,13	6,46	
												66,68	19,32	
2	4	234,25	-8	12,86	1,29	10	30	2,5	3	5,96	4	61,61	6,16	
	5	234,25	-8	12,85	1,29	10	30	2,5	3	5,96	4	61,60	6,16	
	40	235,15	-7,1	12,21	1,22	10	30	2,5	3	5,89	4	61,72	6,61	
												61,72	18,93	
3	37	236,5	-5,75	10,28	1,03	10	30	2,5	3	5,68	4	60,74	6,09	
	38	236,2	-6,05	10,53	1,05	10	30	2,5	3	5,71	4	60,74	6,31	
	39	235,6	-6,65	10,64	1,06	10	30	2,5	3	5,72	4	60,27	6,72	
												60,74	19,12	
4	31	236,25	-6	11,18	1,12	10	30	2,5	3	5,78	4	61,58	6,26	
	32	236,25	-6	11,29	1,13	10	30	2,5	3	5,79	4	61,71	6,72	
	36	236,75	-5,5	10,63	1,06	10	30	2,5	3	5,72	4	61,41	6,60	
												61,71	19,58	
5	29	236,85	-5,4	12,25	1,23	10	30	2,5	3	5,90	4	63,47	6,41	
	30	236,85	-5,4	12,23	1,22	10	30	2,5	3	5,90	4	63,45	6,19	
	35	236,9	-5,35	11,81	1,18	10	30	2,5	3	5,85	4	62,99	6,38	
												63,47	18,98	
6	43	239	-3,25	8,37	0,84	10	30	2,5	3	5,47	4	60,93	7,26	
	44	238	-4,25	7,43	0,74	10	30	2,5	3	5,37	4	58,79	7,32	
	34	238,25	-4	7,94	0,79	10	30	2,5	3	5,42	4	59,66	6,54	
												60,93	21,12	
7	6	234	-8,25	14,82	1,48	10	30	2,5	3	6,18	4	63,73	6,25	
	8	234,4	-7,85	14,36	1,44	10	30	2,5	3	6,13	4	63,58	7,58	
	9	234,4	-7,85	14,37	1,44	10	30	2,5	3	6,13	4	63,59	7,04	
												63,73	20,87	
8	7	234,4	-7,85	12,68	1,27	10	30	2,5	3	5,94	4	61,54	6,93	
	14	235,75	-6,5	11,96	1,20	10	30	2,5	3	5,87	4	62,02	7,34	
	15	235,35	-6,9	12,45	1,25	10	30	2,5	3	5,92	4	62,21	7,34	
												62,21	21,61	
9	10	235,75	-6,5	12,35	1,24	10	30	2,5	3	5,91	4	62,49	6,74	
	11	235,75	-6,5	12,36	1,24	10	30	2,5	3	5,91	4	62,51	6,56	
	12	235,5	-6,75	11,98	1,20	10	30	2,5	3	5,87	4	61,80	6,25	
												62,51	19,55	
10	41	235,25	-7	11,52	1,15	10	30	2,5	3	5,82	4	60,99	6,62	
	42	235,75	-6,5	10,89	1,09	10	30	2,5	3	5,75	4	60,73	6,88	
	33	235,85	-6,4	11,09	1,11	10	30	2,5	3	5,77	4	61,07	6,26	
												61,07	19,76	
11	13	236,25	-6	8,88	0,89	10	30	2,5	3	5,53	4	58,79	6,87	
	16	235,9	-6,35	9,22	0,92	10	30	2,5	3	5,56	4	58,86	6,93	
	17	235,9	-6,35	9,22	0,92	10	30	2,5	3	5,56	4	58,86	6,21	
												58,86	20,01	
12	19	238,25	-4	13,36	1,34	10	30	2,5	3	6,02	4	66,22	6,75	
	20	238,25	-4	13,35	1,34	10	30	2,5	3	6,02	4	66,20	6,82	
	22	237,85	-4,4	12,97	1,30	10	30	2,5	3	5,98	4	65,34	6,54	
												66,22	20,11	

13	18	236,25	-6	9,08	0,91	10	30	2,5	3	5,55	4	59,04	6,16
	21	237,5	-4,75	9,55	0,96	10	30	2,5	3	5,60	4	60,86	6,70
	23	236,5	-5,75	9,33	0,93	10	30	2,5	3	5,58	4	59,59	6,34
												60,86	19,20
14	25	237	-5,25	6,94	0,69	10	30	2,5	3	5,31	4	57,20	6,48
	27	236	-6,25	7,41	0,74	10	30	2,5	3	5,37	4	56,77	7,26
	28	236,75	-5,5	7,21	0,72	10	30	2,5	3	5,34	4	57,27	6,38
												57,27	20,12
15	24	237,75	-4,5	4,6	0,46	10	30	2,5	3	5,06	4	55,12	6,15
	26	237,25	-5	4,35	0,44	10	30	2,5	3	5,03	4	54,31	6,22
	45	238	-4,25	3,94	0,39	10	30	2,5	3	4,98	4	54,57	4,53
												55,12	16,90
16	46	238,5	-3,75	1,84	0,18	10	30	2,5	3	4,75	4	52,53	7,20
	55	239,25	-3	1,77	0,18	10	30	2,5	3	4,74	4	53,19	2,27
	102	240	-2,25	1,48	0,15	10	30	2,5	3	4,71	4	53,59	4,37
												53,59	13,84
17	47	241,25	-1	2	0,20	10	30	2,5	3	4,77	4	55,47	6,65
	48	240,75	-1,5	3,5	0,35	10	30	2,5	3	4,94	4	56,79	4,46
	49	240,5	-1,75	0,67	0,07	10	30	2,5	3	4,62	4	53,11	3,73
												56,79	14,84
18	52	242,75	0,5	0,56	0,06	10	30	2,5	3	4,61	4	55,23	7,04
	53	242	-0,25	0,9	0,09	10	30	2,5	3	4,65	4	54,89	6,27
	54	242	-0,25	0,89	0,09	10	30	2,5	3	4,65	4	54,88	3,13
												55,23	16,44
19	50	242,75	0,5	2,11	0,21	10	30	2,5	3	4,78	4	57,10	7,04
	51	242,75	0,5	2,17	0,22	10	30	2,5	3	4,79	4	57,18	7,26
												57,18	14,30
20	65	239,25	-3	5,34	0,53	10	45	2,5	4,5	6,79	4	75,66	6,27
	66	239,25	-3	5,45	0,55	10	45	2,5	4,5	6,80	4	75,79	6,27
	67	239,25	-3	5,49	0,55	10	45	2,5	4,5	6,80	4	75,84	6,27
												75,84	18,81
21	56	241	-1,25	1,78	0,18	10	45	2,5	4,5	6,40	4	73,10	7,16
	57	241	-1,25	1,78	0,18	10	45	2,5	4,5	6,40	4	73,10	7,16
	70	239	-3,25	2,8	0,28	10	45	2,5	4,5	6,51	4	72,34	6,27
												73,10	20,59
22	61	241	-1,25	5,64	0,56	10	45	2,5	4,5	6,82	4	77,77	6,27
	62	241	-1,25	5,67	0,57	10	45	2,5	4,5	6,82	4	77,81	7,16
	63	241	-1,25	5,58	0,56	10	45	2,5	4,5	6,81	4	77,70	6,27
												77,81	19,70
23	58	241	-1,25	1,12	0,11	10	45	2,5	4,5	6,32	4	72,31	7,16
	59	241,5	-0,75	1,03	0,10	10	45	2,5	4,5	6,31	4	72,70	6,27
	60	241,75	-0,5	0,96	0,10	10	45	2,5	4,5	6,31	4	72,86	6,27
												72,86	19,70
24	113	240,75	-1,5	2,95	0,30	10	45	2,5	4,5	6,52	4	74,27	8,05
	71	239	-3,25	8,52	0,85	10	45	2,5	4,5	7,14	4	79,26	5,37
	72	238,6	-3,65	8,96	0,90	10	45	2,5	4,5	7,19	4	79,39	5,37
	73	238,75	-3,5	8,91	0,89	10	45	2,5	4,5	7,18	4	79,48	5,37
												79,48	24,16
25	164	239,25	-3	6,01	0,60	10	45	2,5	4,5	6,86	4	76,47	7,16
	68	239,25	-3	6,37	0,64	10	45	2,5	4,5	6,90	4	76,91	7,16
	69	239,25	-3	6,29	0,63	10	45	2,5	4,5	6,89	4	76,81	6,27
												76,91	20,59
26	112	241,75	-0,5	1,12	0,11	10	45	2,5	4,5	6,32	4	73,06	6,27
	114	241	-1,25	2,21	0,22	10	45	2,5	4,5	6,44	4	73,62	7,16
	115	241,25	-1	1,56	0,16	10	45	2,5	4,5	6,37	4	73,09	8,95
												73,62	22,38

27	74	233,5	-8,75	18,83	1,88	10	21	2,5	2,1	5,63	4	57,19	7,05
	75	233,5	-8,75	18,78	1,88	10	21	2,5	2,1	5,63	4	57,13	7,18
	85	233,6	-8,65	18,34	1,83	10	21	2,5	2,1	5,58	4	56,70	7,00
												57,19	21,23
28	76	235	-7,25	15,81	1,58	10	21	2,5	2,1	5,30	4	55,04	7,25
	77	235	-7,25	15,83	1,58	10	21	2,5	2,1	5,30	4	55,06	6,95
	80	234,25	-8	16,01	1,60	10	21	2,5	2,1	5,32	4	54,53	7,55
												55,06	21,75
29	78	235,75	-6,5	11,51	1,15	10	21	2,5	2,1	4,83	4	50,59	7,09
	79	236,5	-5,75	11,33	1,13	10	21	2,5	2,1	4,81	4	51,12	6,54
	81	236,5	-5,75	11,32	1,13	10	21	2,5	2,1	4,81	4	51,11	6,55
												51,12	20,18
30	83	237,75	-4,5	8,14	0,81	10	21	2,5	2,1	4,46	4	48,51	5,60
	84	238,5	-3,75	7,82	0,78	10	21	2,5	2,1	4,42	4	48,87	7,24
	96	237,5	-4,75	8,95	0,90	10	21	2,5	2,1	4,54	4	49,24	7,01
												49,24	19,85
31	86	234	-8,25	14,92	1,49	10	21	2,5	2,1	5,20	4	52,96	7,90
	88	235,25	-7	13,49	1,35	10	21	2,5	2,1	5,04	4	52,48	7,29
	93	234,75	-7,5	14,04	1,40	10	21	2,5	2,1	5,10	4	52,65	6,88
												52,96	22,07
32	94	235,5	-6,75	10,3	1,03	10	21	2,5	2,1	4,69	4	48,87	5,34
	95	235,5	-6,75	10,3	1,03	10	21	2,5	2,1	4,69	4	48,87	6,77
	90	235,75	-6,5	9,53	0,95	10	21	2,5	2,1	4,61	4	48,19	7,02
												48,87	19,13
33	87	235,25	-7	10,94	1,09	10	21	2,5	2,1	4,76	4	49,40	6,74
	89	235,75	-6,5	10,36	1,04	10	21	2,5	2,1	4,70	4	49,20	7,08
	91	236	-6,25	9,08	0,91	10	21	2,5	2,1	4,56	4	47,90	6,60
												49,40	20,42
34	98	237,75	-4,5	7,19	0,72	10	21	2,5	2,1	4,35	4	47,36	6,94
	99	238,25	-4	8,74	0,87	10	21	2,5	2,1	4,52	4	49,74	7,16
	92	236	-6,25	7,99	0,80	10	21	2,5	2,1	4,44	4	46,58	6,70
												49,74	20,80
35	82	238,25	-4	6,68	0,67	10	21	2,5	2,1	4,29	4	47,24	7,06
	97	238	-4,25	6,38	0,64	10	21	2,5	2,1	4,26	4	46,63	6,96
	105	238,5	-3,75	5,81	0,58	10	21	2,5	2,1	4,20	4	46,44	8,55
												47,24	22,57
36	100	239,25	-3	4	0,40	10	21	2,5	2,1	4,00	4	45,00	6,83
	101	239,25	-3	4,58	0,46	10	21	2,5	2,1	4,06	4	45,70	6,50
	104	239,5	-2,75	4,92	0,49	10	21	2,5	2,1	4,10	4	46,36	8,20
												46,36	21,53
37	106	241,25	-1	1,06	0,11	10	21	2,5	2,1	3,68	4	43,44	7,01
	103	240,25	-2	0,6	0,06	10	21	2,5	2,1	3,63	4	41,89	5,46
												43,44	12,47
38	107	239,5	-2,75	1,58	0,16	10	21	2,5	2,1	3,73	4	42,32	6,40
	108	239,5	-2,75	1,59	0,16	10	21	2,5	2,1	3,73	4	42,33	6,40
												42,33	12,80
39	109	241,5	-0,75	1,25	0,13	10	15	2,5	1,5	3,04	4	36,66	3,04
	110	241,5	-0,75	1,93	0,19	10	15	2,5	1,5	3,11	4	37,49	3,90
	111	241,5	-0,75	1,93	0,19	10	15	2,5	1,5	3,11	4	37,49	11,66
												37,49	18,60

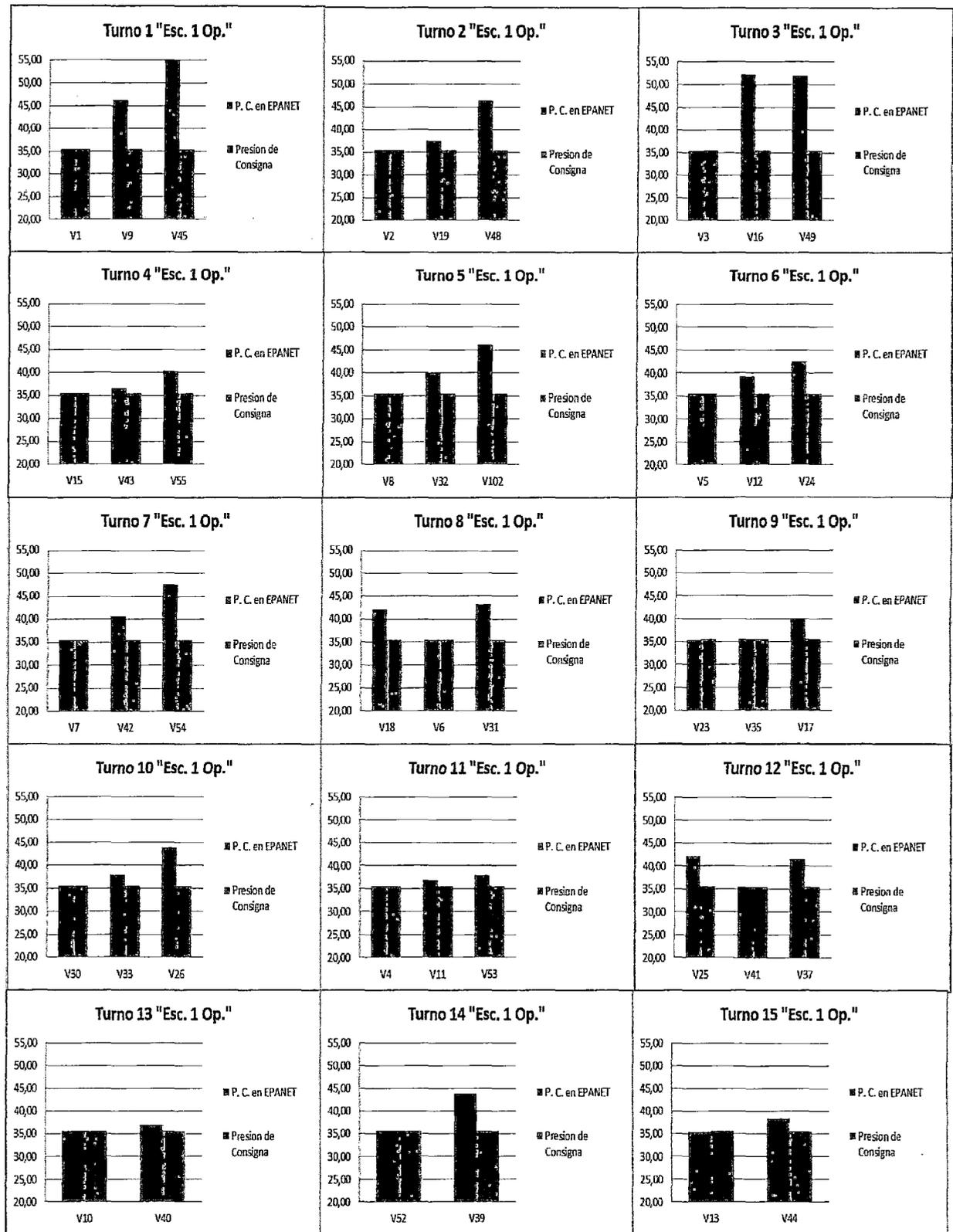
9.3. Cálculos Hidráulicos del Escenario 2 Optimizado

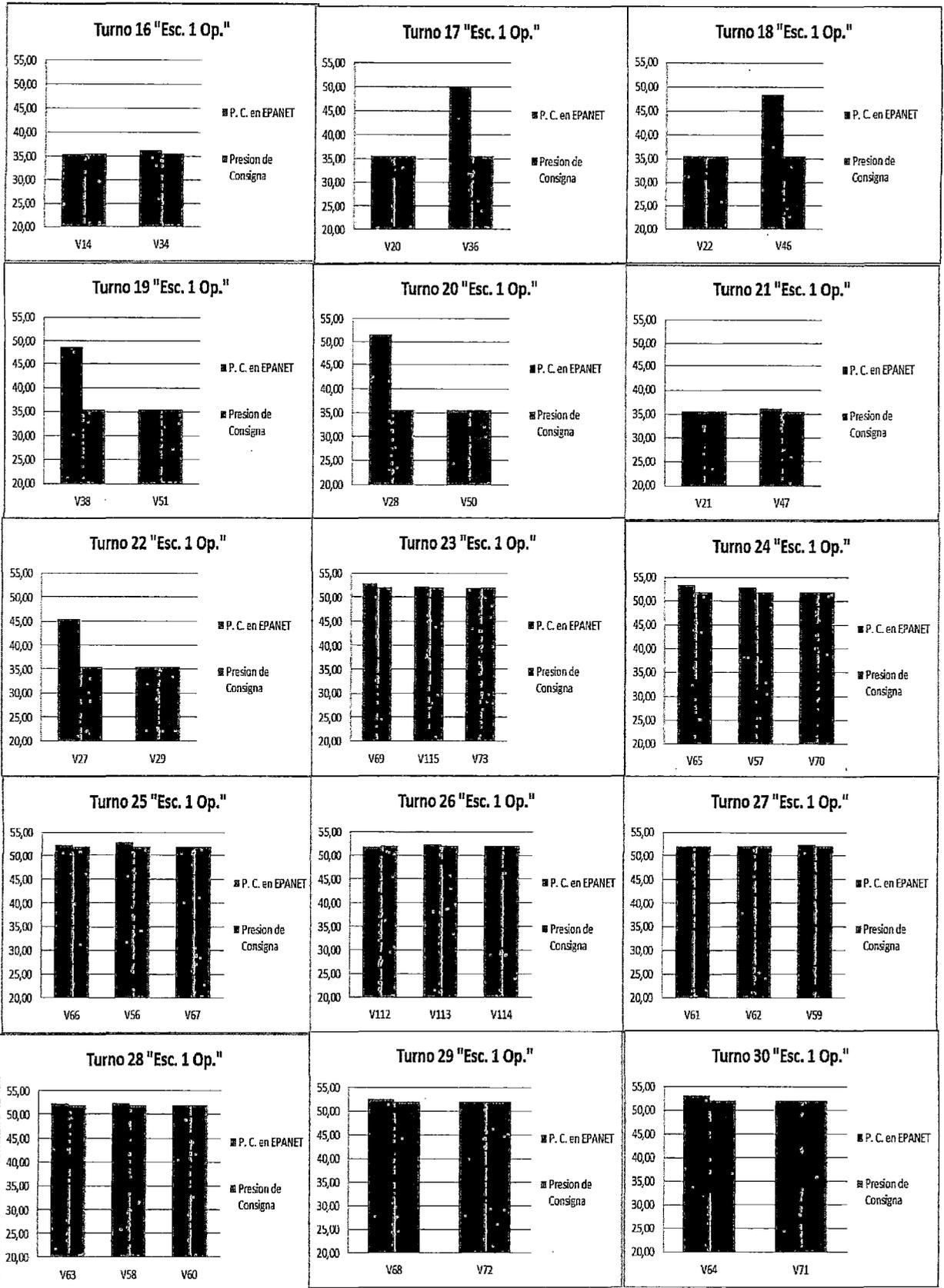
COTA DE BORDE DE RESERVORIO (m)		CALCULOS HIDRAULICOS - ESCENARIO 2 OPTIMIZADO											
TURNOS	N° VALVULA	Cota de Valvula	Desnivel Topografico (m)	ΔH en Matriz (m)	Perdida Singularidades 10% (m)	Hf Cabezal (m)	P. Trabajo (m)	H Arco de Riego (m)	ΔH max. en Subunidad 10% (m)	Margen de Seguridad 10% (m)	Profundidad de Reservoirio (m)	CDT (m)	CAUDAL
													L/S
1	1	233,4	-8,85	14,99	1,50	10	30	2,5	3	6,20	4	63,34	6,49
	2	233,4	-8,85	14,95	1,50	10	30	2,5	3	6,19	4	63,29	6,37
	3	233,5	-8,75	13,79	1,38	10	30	2,5	3	6,07	4	61,99	6,46
												63,34	19,32
2	4	234,25	-8	8,8	0,88	10	30	2,5	3	5,52	4	56,70	6,16
	5	235,25	-7	8,79	0,88	10	30	2,5	3	5,52	4	57,69	6,16
	40	235,15	-7,1	8,18	0,82	10	30	2,5	3	5,45	4	56,85	6,61
												57,69	18,93
3	37	236,5	-5,75	6,46	0,65	10	30	2,5	3	5,26	4	56,12	6,09
	38	236,2	-6,05	6,7	0,67	10	30	2,5	3	5,29	4	56,11	6,31
	39	235,6	-6,65	6,76	0,68	10	30	2,5	3	5,29	4	55,58	6,72
												56,12	19,12
4	31	236,25	-6	9,26	0,93	10	30	2,5	3	5,57	4	59,25	6,26
	32	236,25	-6	9,47	0,95	10	30	2,5	3	5,59	4	59,51	6,72
	36	236,75	-5,5	7,69	0,77	10	30	2,5	3	5,40	4	57,85	6,60
												59,51	19,58
5	29	236,85	-5,4	13,9	1,39	10	30	2,5	3	6,08	4	65,47	6,41
	30	236,85	-5,4	13,82	1,38	10	30	2,5	3	6,07	4	65,37	6,19
	35	236,9	-5,35	12,32	1,23	10	30	2,5	3	5,91	4	63,61	6,38
												65,47	18,98
6	43	239	-3,25	4,5	0,45	10	30	2,5	3	5,05	4	56,25	7,26
	44	238	-4,25	3,86	0,39	10	30	2,5	3	4,97	4	54,47	7,32
	34	238,25	-4	4,16	0,42	10	30	2,5	3	5,01	4	55,08	6,54
												56,25	21,12
7	6	234	-8,25	13,29	1,33	10	30	2,5	3	6,01	4	61,88	6,25
	8	234,4	-7,85	10,62	1,06	10	30	2,5	3	5,72	4	59,05	7,58
	9	234,4	-7,85	10,67	1,07	10	30	2,5	3	5,72	4	59,11	7,04
												61,88	20,87
8	7	234,4	-7,85	8,99	0,90	10	30	2,5	3	5,54	4	57,08	6,93
	14	235,75	-6,5	8,48	0,85	10	30	2,5	3	5,48	4	57,81	7,34
	15	235,35	-6,9	8,9	0,89	10	30	2,5	3	5,53	4	57,92	7,34
												57,92	21,61
9	10	235,75	-6,5	13,97	1,40	10	30	2,5	3	6,09	4	64,45	6,74
	11	235,75	-6,5	13,99	1,40	10	30	2,5	3	6,09	4	64,48	6,56
	12	235,5	-6,75	11,17	1,12	10	30	2,5	3	5,78	4	60,82	6,25
												64,48	19,55
10	41	235,25	-7	13,02	1,30	10	30	2,5	3	5,98	4	62,80	6,62
	42	235,75	-6,5	9,46	0,95	10	30	2,5	3	5,59	4	59,00	6,88
	33	235,85	-6,4	12,34	1,23	10	30	2,5	3	5,91	4	62,58	6,26
												62,80	19,76
11	13	236,25	-6	6,23	0,62	10	30	2,5	3	5,24	4	55,59	6,87
	16	235,9	-6,35	6,23	0,62	10	30	2,5	3	5,24	4	55,24	6,93
	17	235,9	-6,35	6,26	0,63	10	30	2,5	3	5,24	4	55,27	6,21
												55,59	20,01
12	19	238,25	-4	18,89	1,89	10	30	2,5	3	6,63	4	72,91	6,75
	20	238,25	-4	18,86	1,89	10	30	2,5	3	6,62	4	72,87	6,82
	22	237,85	-4,4	17,83	1,78	10	30	2,5	3	6,51	4	71,22	6,54
												72,91	20,11

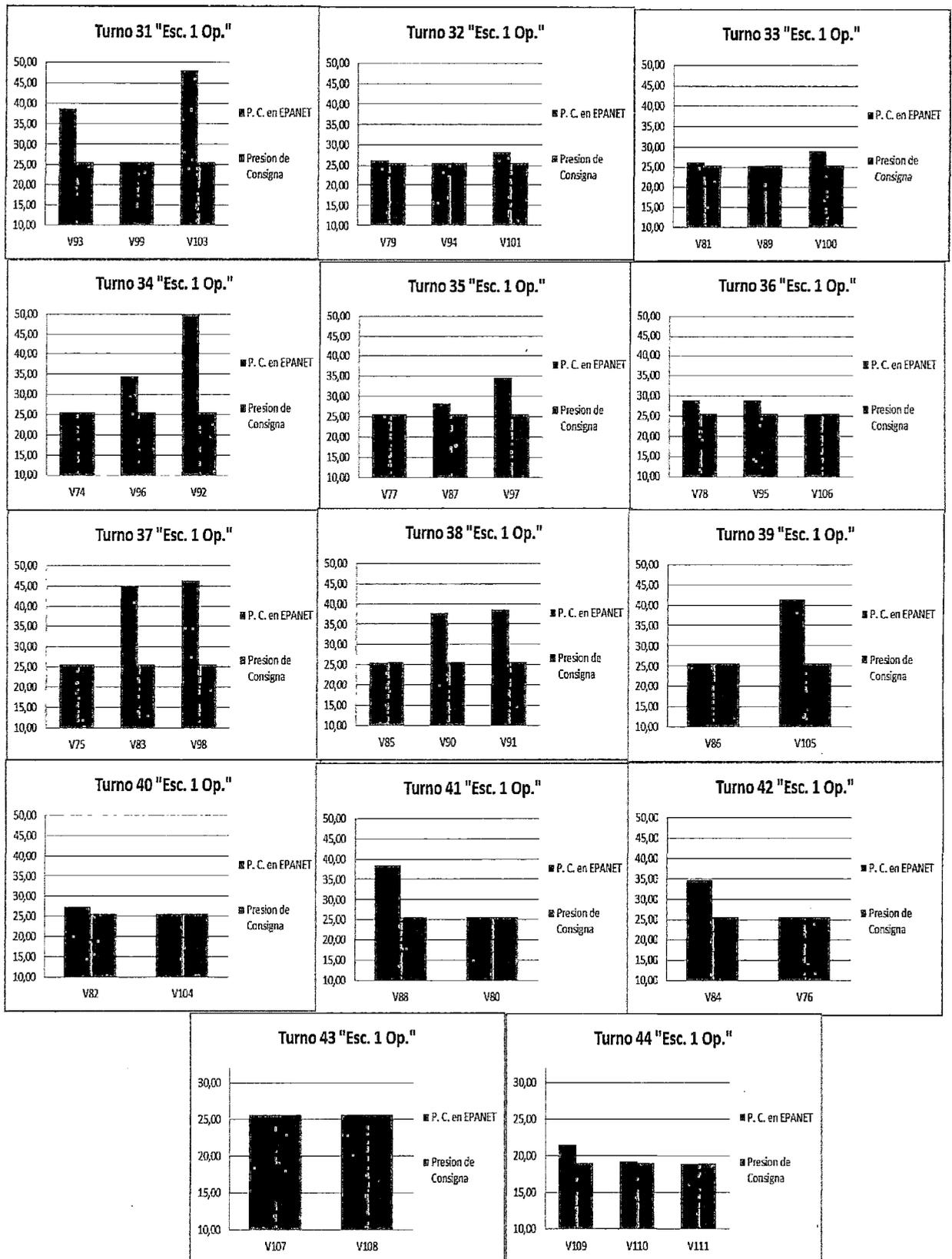
13	18	236,25	-6	8,27	0,83	10	30	2,5	3	5,46	4	58,06	6,16
	21	237,5	-4,75	9,59	0,96	10	30	2,5	3	5,60	4	60,90	6,70
	23	236,5	-5,75	9,04	0,90	10	30	2,5	3	5,54	4	59,24	6,34
												60,90	19,20
14	25	237	-5,25	4,24	0,42	10	30	2,5	3	5,02	4	53,93	6,48
	27	236	-6,25	4,6	0,46	10	30	2,5	3	5,06	4	53,37	7,26
	28	236,75	-5,5	4,47	0,45	10	30	2,5	3	5,04	4	53,96	6,98
												53,96	20,12
15	24	237,75	-4,5	3,89	0,39	10	30	2,5	3	4,98	4	54,26	6,15
	26	237,25	-5	2,47	0,25	10	30	2,5	3	4,82	4	52,04	6,22
	45	238	-4,25	2,06	0,21	10	30	2,5	3	4,78	4	52,29	4,53
												54,26	16,90
16	46	238,5	-3,75	0,73	0,07	10	30	2,5	3	4,63	4	51,18	7,20
	55	239,25	-3	0,64	0,06	10	30	2,5	3	4,62	4	51,82	2,27
	102	240	-2,25	0,46	0,05	10	30	2,5	3	4,60	4	52,36	4,37
												52,36	13,84
17	47	241,25	-1	8,49	0,85	10	30	2,5	3	5,48	4	63,32	6,65
	48	240,75	-1,5	11,6	1,16	10	30	2,5	3	5,83	4	66,59	4,46
	49	240,5	-1,75	0,22	0,02	10	30	2,5	3	4,57	4	52,57	3,73
												66,59	14,84
18	52	242,75	0,5	1,35	0,14	10	30	2,5	3	4,70	4	56,18	7,04
	53	242	-0,25	4,96	0,50	10	30	2,5	3	5,10	4	59,80	6,27
	54	242	-0,25	4,86	0,49	10	30	2,5	3	5,08	4	59,68	3,13
												59,80	16,44
19	50	242,75	0,5	5,63	0,56	10	30	2,5	3	5,17	4	61,36	7,04
	51	242,75	0,5	5,61	0,56	10	30	2,5	3	5,17	4	61,34	7,26
												61,36	14,30
20	63	239,25	-3	2,83	0,28	10	45	2,5	4,5	6,51	4	72,62	6,27
	65	239,25	-3	2,93	0,29	10	45	2,5	4,5	6,52	4	72,75	6,27
	67	239,25	-3	3,03	0,30	10	45	2,5	4,5	6,53	4	72,87	6,27
												72,87	18,81
21	56	241	-1,25	0,56	0,06	10	45	2,5	4,5	6,26	4	71,63	7,16
	57	241	-1,25	0,57	0,06	10	45	2,5	4,5	6,26	4	71,64	7,16
	70	239	-3,25	1,18	0,12	10	45	2,5	4,5	6,33	4	70,38	6,27
												71,64	20,59
22	61	241	-1,25	1,65	0,17	10	45	2,5	4,5	6,38	4	72,95	6,27
	62	241	-1,25	1,61	0,16	10	45	2,5	4,5	6,38	4	72,90	7,16
	63	241	-1,25	1,62	0,16	10	45	2,5	4,5	6,38	4	72,91	6,27
												72,95	19,70
23	58	241	-1,25	0,37	0,04	10	45	2,5	4,5	6,24	4	71,40	7,16
	59	241,5	-0,75	0,39	0,04	10	45	2,5	4,5	6,24	4	71,92	6,27
	60	241,75	-0,5	0,34	0,03	10	45	2,5	4,5	6,24	4	72,11	6,27
												72,11	19,70
24	71	240,75	-1,5	0,92	0,09	10	45	2,5	4,5	6,30	4	71,81	8,05
	72	239	-3,25	4	0,40	10	45	2,5	4,5	6,64	4	73,79	5,37
	73	238,6	-3,65	4,33	0,43	10	45	2,5	4,5	6,68	4	73,79	5,37
												67,13	5,37
												73,79	24,16
25	64	239,25	-3	3,06	0,31	10	45	2,5	4,5	6,54	4	72,90	7,16
	68	239,25	-3	3,55	0,36	10	45	2,5	4,5	6,59	4	73,50	7,16
	69	239,25	-3	3,36	0,34	10	45	2,5	4,5	6,57	4	73,27	6,27
												73,50	20,59
26	74	241,75	-0,5	0,4	0,04	10	45	2,5	4,5	6,24	4	72,18	6,27
	75	241	-1,25	0,71	0,07	10	45	2,5	4,5	6,28	4	71,81	7,16
	75	241,25	-1	0,51	0,05	10	45	2,5	4,5	6,26	4	71,82	8,95
												72,18	22,38

27	74	233,5	-8,75	14,35	1,44	10	21	2,5	2,1	5,14	4	51,77	7,05
	75	233,5	-8,75	14,28	1,43	10	21	2,5	2,1	5,13	4	51,69	7,18
	85	233,6	-8,65	13,02	1,30	10	21	2,5	2,1	4,99	4	50,26	7,00
												51,77	21,23
28	76	235	-7,25	10,79	1,08	10	21	2,5	2,1	4,75	4	48,97	7,25
	77	235	-7,25	10,82	1,08	10	21	2,5	2,1	4,75	4	49,00	6,95
	80	234,25	-8	10,79	1,08	10	21	2,5	2,1	4,75	4	48,22	7,55
												49,00	21,75
29	78	235,75	-6,5	7,24	0,72	10	21	2,5	2,1	4,36	4	45,42	7,09
	79	236,5	-5,75	7,12	0,71	10	21	2,5	2,1	4,34	4	46,03	6,54
	81	236,5	-5,75	7,11	0,71	10	21	2,5	2,1	4,34	4	46,01	6,55
												46,03	20,18
30	83	237,75	-4,5	4,36	0,44	10	21	2,5	2,1	4,04	4	43,94	5,60
	84	237,5	-4,75	4,01	0,40	10	21	2,5	2,1	4,00	4	43,26	7,24
	96	238,5	-3,75	6,78	0,68	10	21	2,5	2,1	4,31	4	47,61	7,01
												47,61	19,85
31	86	234	-8,25	14,3	1,43	10	21	2,5	2,1	5,13	4	52,21	7,90
	88	235,25	-7	9,63	0,96	10	21	2,5	2,1	4,62	4	47,81	7,29
	93	234,75	-7,5	10,1	1,01	10	21	2,5	2,1	4,67	4	47,88	6,88
												52,21	22,07
32	94	235,5	-6,75	8,21	0,82	10	21	2,5	2,1	4,46	4	46,34	5,34
	95	235,5	-6,75	8,22	0,82	10	21	2,5	2,1	4,46	4	46,36	6,77
	90	235,75	-6,5	6,68	0,67	10	21	2,5	2,1	4,29	4	44,74	7,02
												46,36	19,13
33	87	235,25	-7	11,58	1,16	10	21	2,5	2,1	4,83	4	50,17	6,74
	89	235,75	-6,5	7,96	0,80	10	21	2,5	2,1	4,44	4	46,29	7,08
	91	236	-6,25	6,07	0,61	10	21	2,5	2,1	4,23	4	44,25	6,60
												50,17	20,42
34	98	237,75	-4,5	5,74	0,57	10	21	2,5	2,1	4,19	4	45,61	6,94
	99	238,25	-4	7,08	0,71	10	21	2,5	2,1	4,34	4	47,73	7,16
	92	236	-6,25	5	0,50	10	21	2,5	2,1	4,11	4	42,96	6,70
												47,73	20,80
35	82	238,25	-4	3,29	0,33	10	21	2,5	2,1	3,92	4	43,14	7,06
	97	238	-4,25	3,17	0,32	10	21	2,5	2,1	3,91	4	42,75	6,96
	105	238,5	-3,75	2,71	0,27	10	21	2,5	2,1	3,86	4	42,69	8,55
												43,14	22,57
36	100	239,25	-3	1,32	0,13	10	21	2,5	2,1	3,71	4	41,76	6,83
	101	238,25	-4	1,75	0,18	10	21	2,5	2,1	3,75	4	41,28	6,50
	104	239,5	-2,75	2,97	0,30	10	21	2,5	2,1	3,89	4	44,00	8,20
												44,00	21,53
37	106	241,25	-1	3,73	0,37	10	21	2,5	2,1	3,97	4	46,67	7,01
	103	240,25	-2	0,21	0,02	10	21	2,5	2,1	3,58	4	41,41	5,46
												46,67	12,47
38	107	239,5	-2,75	1,43	0,14	10	21	2,5	2,1	3,72	4	42,14	6,40
	108	239,5	-2,75	1,47	0,15	10	21	2,5	2,1	3,72	4	42,19	6,40
												42,19	12,80
39	109	241,5	-0,75	1,15	0,12	10	15	2,5	1,5	3,03	4	36,54	3,04
	110	241,5	-0,75	3,05	0,31	10	15	2,5	1,5	3,24	4	38,84	3,90
	111	241,5	-0,75	3,3	0,33	10	15	2,5	1,5	3,26	4	39,14	11,66
												39,14	18,60

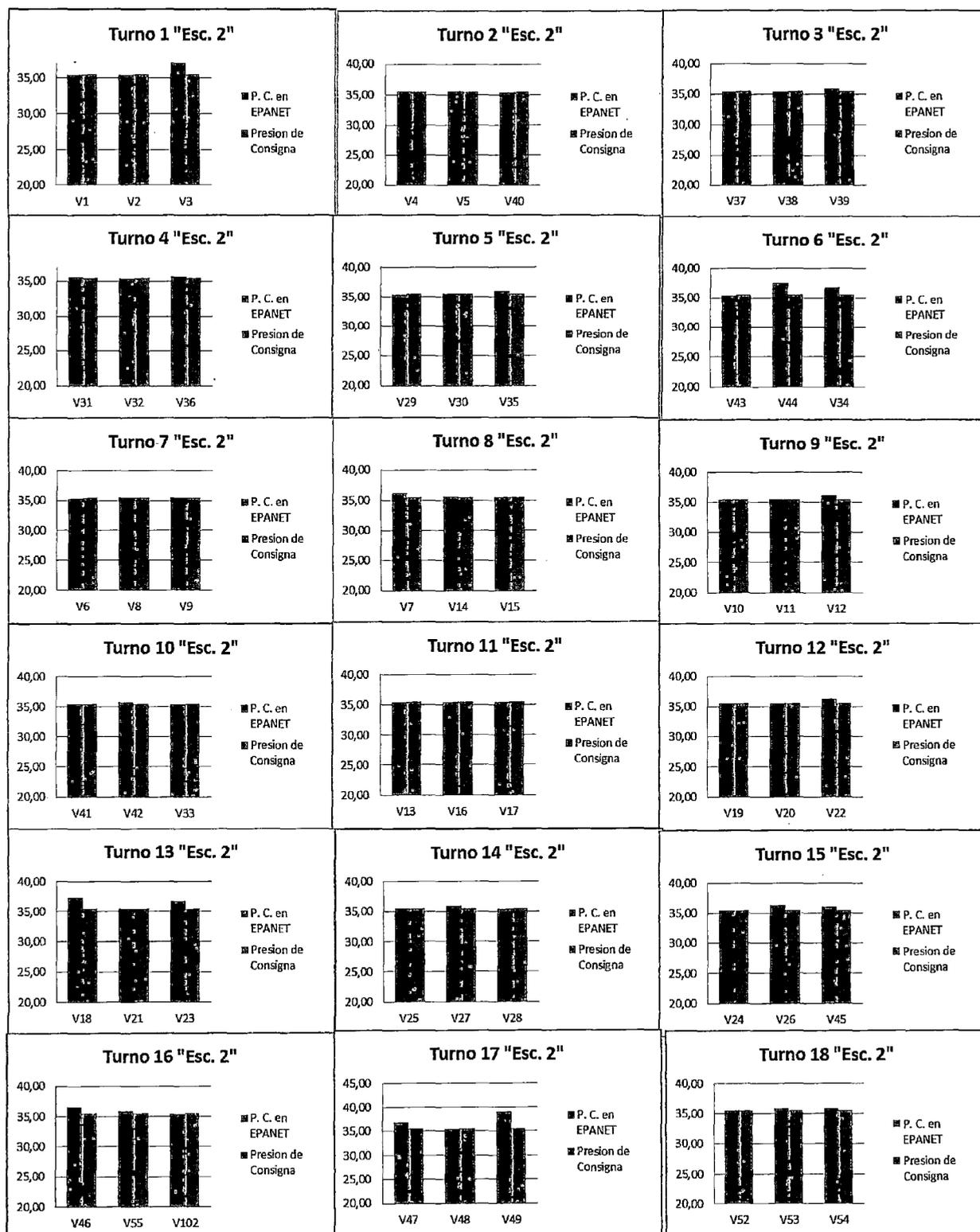
9.4. Comparación entre Presión de Consigna y Presión de Llegada del Escenario 1 Optimizado

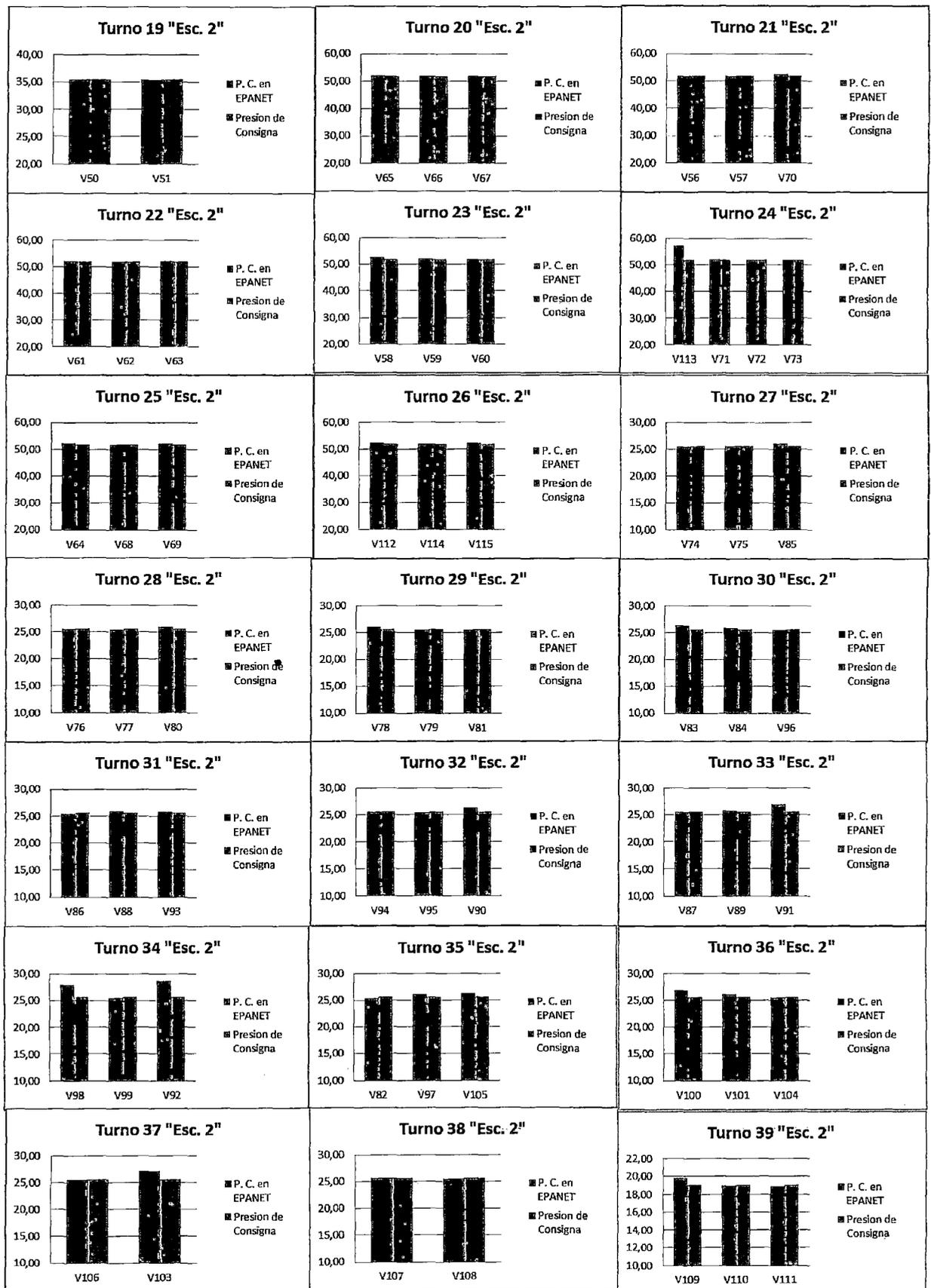




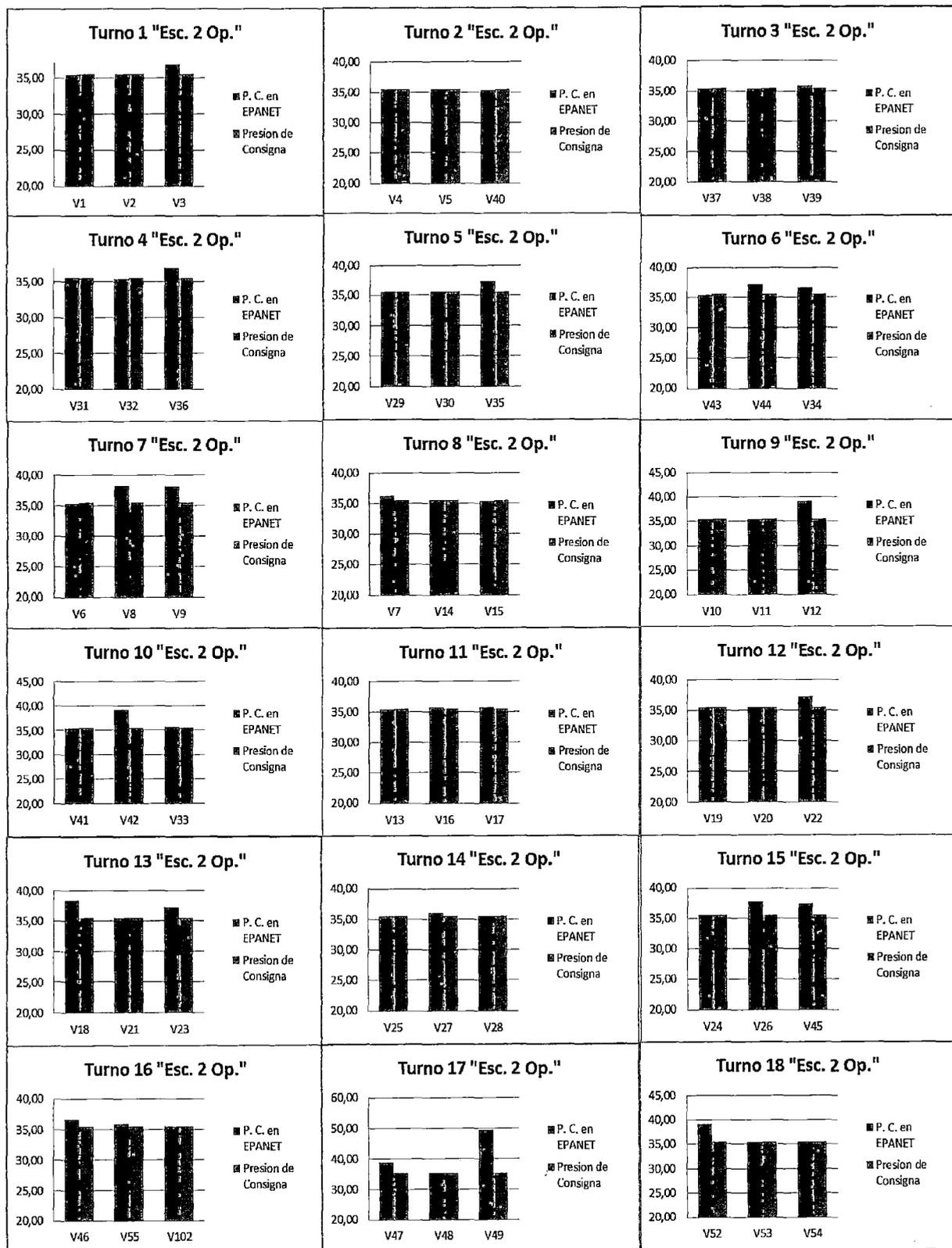


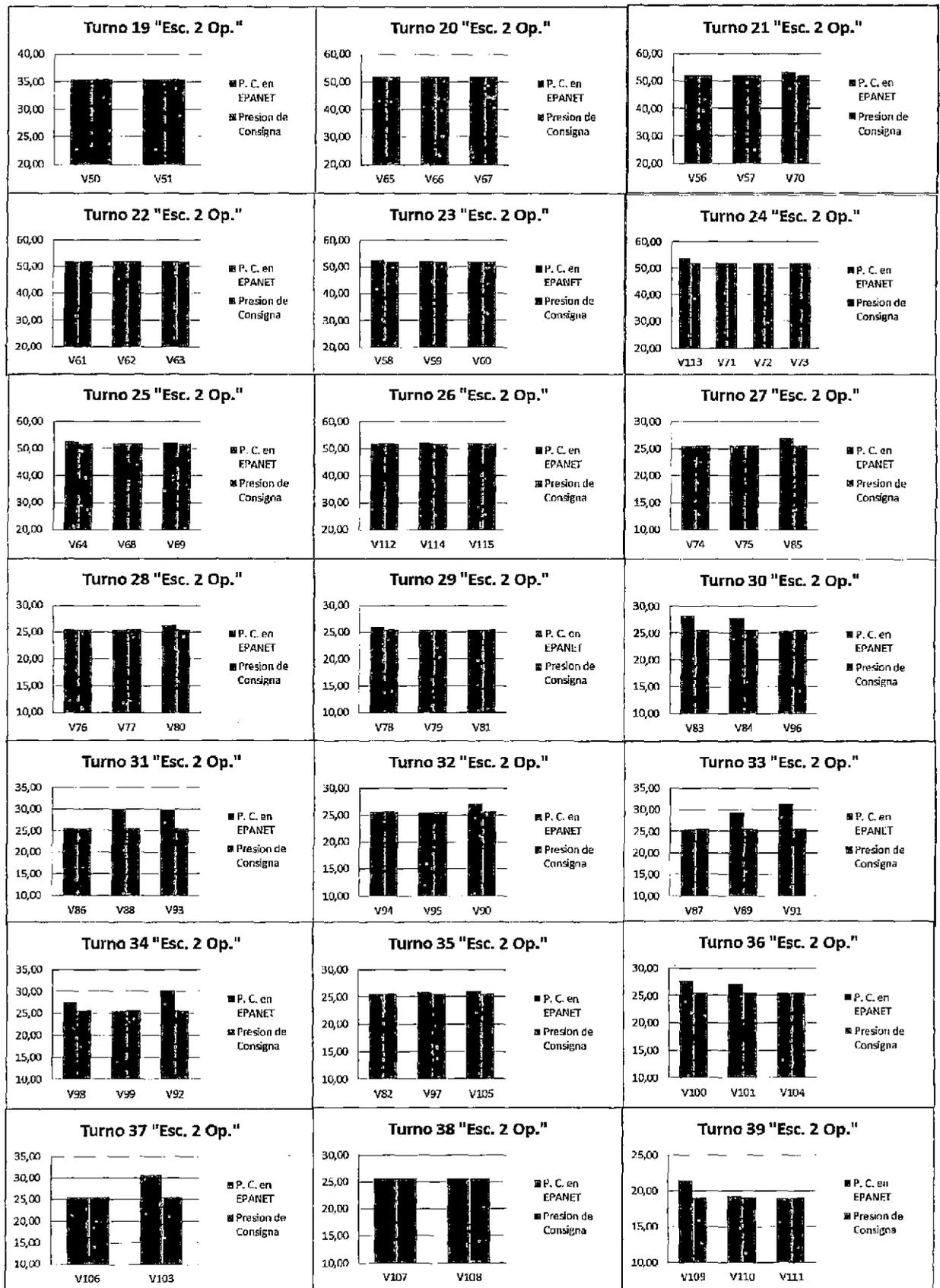
9.5. Comparación entre Presión de Consigna y Presión de Llegada del Escenario 2





9.6. Comparación entre Presión de Consigna y Presión de Llegada del Escenario 2 Optimizado





9.7. Base de Datos de Materiales introducidos en GESTAR 2014

DIAMET.	D interno	Peso Minimo	Peso Minimo - m	C-5		Costo x metro
				Serie 20		
(mm)			Kg	\$	S/.	S/.
63mm	59,8	2,59	0,43	6,17	17,15	2,86
75mm	71,20	3,67	0,61	8,36	23,24	3,87
90mm	85,60	5,10	0,85	11,71	32,55	5,43
110mm	104,60	7,65	1,27	17,24	47,93	7,99
140mm	133,00	12,61	2,10	28,25	78,54	13,09
160mm	152,00	16,47	2,74	37,27	103,61	17,27
200mm	190,20	25,23	4,20	56,28	156,45	26,07
250mm	237,60	39,89	6,65	89,08	247,65	41,27
315mm	299,60	62,44	10,41	139,66	388,25	64,71
355mm	337,60	79,51	13,25	177,54	493,55	82,26
400mm	380,40	100,91	16,82	222,23	617,80	102,97

DIAMET.	D interno	Peso Minimo	Peso Minimo - m	C-10		Costo x metro
				Serie 10		
(mm)				\$	S/.	S/.
63mm	57,00	4,75	0,79	10,82	30,08	5,01
75mm	67,80	6,78	1,13	15,14	42,09	7,02
90mm	81,40	9,73	1,62	21,66	60,23	10,04
110mm	99,40	14,64	2,44	32,00	88,95	14,82
140mm	126,60	23,57	3,93	51,86	144,16	24,03
160mm	144,60	30,95	5,16	67,94	188,87	31,48
200mm	180,80	48,24	8,04	106,56	296,24	49,37
250mm	226,20	74,77	12,46	164,67	457,77	76,30
315mm	285,00	118,75	19,79	264,02	733,97	122,33
355mm	321,20	150,79	25,13	334,09	928,77	154,80
400mm	361,80	191,99	32,00	425,88	1.183,96	197,33

DIAMET.	D interno	Peso Minimo	Peso Minimo - m	C-7.5		Costo x metro
				Serie 13.3		
(mm)				\$	S/.	S/.
63mm	58,40	3,68	0,61	8,36	23,24	3,87
75mm	69,40	5,34	0,89	11,79	32,79	5,46
90mm	83,40	7,55	1,26	16,75	46,57	7,76
110mm	102,00	11,19	1,86	24,75	68,82	11,47
140mm	129,80	18,16	3,03	40,03	111,29	18,55
160mm	148,40	23,60	3,93	51,47	143,09	23,85
200mm	185,40	37,12	6,19	80,08	222,62	37,10
250mm	231,80	57,85	9,64	127,04	353,18	58,86
315mm	292,20	91,34	15,22	202,13	561,92	93,65
355mm	329,20	116,46	19,41	255,02	708,95	118,16
400mm	371,00	147,61	24,60	323,65	899,75	149,96

9.8. Curva Característica de Bomba para un diámetro de impulsor de 210 mm.



CURVAS DE OPERACION A 60 Hz

