

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**“Eficiencia Hídrica en la Distribución de la Red de Agua Potable a Través de
Modulación de Presiones en un Sistema Automatizado”**

Por:

Jorge Delgado Medina

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

Buenvista; Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

“Eficiencia Hídrica en la Distribución de la Red de Agua Potable a Través de Modulación de UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

"Eficiencia Hídrica en la Distribución de la Red de Agua Potable a Través de Modulación de Presiones en un Sistema Automatizado"

Por:

Jorge Delgado Medina

Tesis

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador Como
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por:

Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna
Asesor principal

Ing. Florentino Ayala Vásquez
Coasesor

M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coasesor

Dr. Jesús Ricardo Mercado Gutiérrez
Coasesor

Dra. Rosa Elvira Valdez Ramos
Coasesor

M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la división de ingeniería

Buenavista, Saltillo. Coah., México
Junio, 2021

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por esta experiencia que me brindo y por darme la fortaleza de concluir mis estudios.

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo merecen reconocimiento especial mi Madre y mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por hacerme sentir en un hogar, alimentarme, transportarme y por todas las vivencias en esta gloriosa institución.

Al Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna agradezco enormemente por todos los conocimientos transmitidos teóricos y prácticos, pero sobre todo, por tantos consejos de vida que me compartió.

Al Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho por sus consejos, estar ahí siempre cuando tenía que tomar una decisión importante.

A todos los que conforman el Departamento de Riego y Drenaje por sus enseñanzas y experiencias en mi formación.

Al Ing. Florentino Ayala Vásquez por todo el apoyo en servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.

A servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, a todo el personal que me ayudo en esta investigación.

A mis amigos de la carrera, Julio, Daniel y Jesús por sus consejos y compañía.

DEDICATORIAS

A Dios.

El esfuerzo y las metas alcanzadas, refleja la dedicación, el amor que invierten sus padres en sus hijos. Gracias a mis padres son quien soy, orgullosamente y con la cara muy en alto agradezco a Jorge Delgado Valdez y Bertha Alicia Medina Arce, mi mayor inspiración, gracias a mis padres he concluido con mi mayor meta.

A mis hermanas, Nadia, Fany y Erika por todos los buenos consejos y ánimos.

A toda mi familia en general, por todo el apoyo y ánimo que me dieron siempre.

Índice de contenido

AGRADECIMIENTOS	1
DEDICATORIAS	2
Índice de contenido.....	3
Índice De Tablas.....	8
Índice De Graficas.....	12
Índice De Figuras	14
1 RESUMEN	17
Palabras Clave:	17
2 ABSTRACT.....	18
Keywords:	18
3 Introducción	19
3.1 El Agua en México.....	23
3.2 El Agua en Monterrey, N.L.	36
3.2.1 Programa de sectorización de la red de distribución de agua potable en la ciudad de Monterey, Nuevo León.	38
4 Objetivo General	43
5 Objetivos específicos.....	44
6 Hipótesis	44
7 Marco Teórico	45

7.1	Normas en el agua potable.....	46
7.2	Conceptos.....	47
7.2.1	Agua potable:	47
7.2.2	Presión:	48
7.2.3	Medición:	48
7.2.4	Telemetría:	49
7.3	La eficiencia:	50
7.3.1	Determinación de la curva de distribución:	50
7.3.2	Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CUC):	50
7.3.3	Eficiencia de aplicación:.....	51
7.3.4	Eficiencia de requerimiento:	52
7.4	Línea de conducción:.....	52
7.5	Red de distribución:.....	53
7.6	Estación de bombeo:.....	54
7.7	Tren de piezas especiales:.....	54
7.7.1	Tuberías:	54
7.7.2	Válvulas:	55
7.7.3	Dispositivos de control de transitorios:	55
7.8	Carga hidráulica disponible:	56
7.9	Flujo estacionario:	56

7.10	Sobrepresión y depresión:	56
7.11	Clasificación de las conducciones:	56
7.11.1	Línea de conducción:	56
7.11.2	Tipo de entrega:	56
7.11.3	Conducción por bombeo:	57
7.11.4	Conducción por gravedad:	58
7.11.5	Conducción por bombeo-gravedad:.....	59
7.11.6	Red de conducción:.....	59
7.12	Piezas especiales:	60
7.12.1	Juntas:.....	60
7.12.2	Carretes:	60
7.12.3	Extremidades:	60
7.12.4	Tees:.....	61
7.12.5	Cruces:	61
7.12.6	Codos:	61
7.12.7	Reducciones:.....	62
7.12.8	Coples:	62
7.13	Válvulas:.....	63
7.13.1	Válvula eliminadora de aire:	63
7.13.2	Válvula de admisión y expulsión de aire:	63

7.13.3	Válvula de no retorno:.....	64
7.13.4	Válvula de seccionamiento:.....	64
7.13.5	Válvula aliviadora de presión:.....	65
7.13.6	Válvulas, uso y ubicación:	66
7.14	Válvula reguladora de presión Bermad:.....	67
7.14.1	Características:.....	67
7.15	Ecuación de Bernoulli:	69
7.15.1	Aplicaciones de Bernoulli:	69
7.16	Pérdidas de energía por fricción en la conducción:	70
7.16.1	Densidad en el flujo:	70
7.16.2	Viscosidad:	70
7.16.3	Diámetro de la tubería D:	71
7.16.4	Ecuación de Darcy-Weisbach:	71
7.16.5	Perdidas locales:	72
7.17	Sistema de curvas de carga:.....	73
7.18	Consideraciones técnicas:	74
7.18.1	Topografía y cruzamientos:.....	74
7.19	Línea piezométrica:.....	75
8	Métodos y Materiales	76
8.1	Localización Del Proyecto.....	76

8.2	Herramientas	79
8.3	Materiales.....	79
8.4	Método.....	82
8.4.1	Seleccionar los puntos críticos.....	83
8.4.2	Mecánica de la medición de los puntos de muestreo	83
9	Metodología	84
10	Resultados	88
10.1	Comportamiento 1	89
10.2	Comportamiento 2	92
10.3	Calculo Del Coeficiente De Uniformidad De Christiansen	96
10.3.1	Registro 1	97
10.3.2	Eficiencia de aplicación:	100
10.3.3	Eficiencia de requerimiento:	101
10.3.4	Registro 2	102
10.3.5	Registro 3	103
10.3.6	Registro 4	104
10.3.7	Registro 5	105
10.3.8	Puntos críticos	106
11	Evaluación en los puntos críticos.....	109
11.1	Punto crítico 2.....	109

11.2	Punto crítico 3.....	117
11.3	Punto crítico 16.....	125
11.4	Punto crítico 17.....	133
11.5	Punto crítico 29.....	141
11.6	Punto crítico 30.....	149
11.7	Malla De Presiones	157
12	Monta	160
13	Conclusiones.....	160
13.1	Recomendaciones	163
14	Referencias Bibliográficas Citadas	165
	ANEXOS:	167

Índice De Tablas

Tabla 1	Océanos, agua subterránea, humedad del suelo, hielo polar, lagos, pantanos, ríos, agua biológica, agua atmosférica y agua total.....	22
Tabla 2	Recarga-Extracción-Acuíferos sobreexplotados en México, 2018.	30
Tabla 3	Conversión de presiones.....	48
Tabla 4	Valores de k para la ecuación 4.	73
Tabla 5	Especificaciones técnicas de registradores (SEBALOG D-3)	81
Tabla 6	Datos para graficar CUC, registro 1.	99

Tabla 7 Zonas de grafica 14.....	100
Tabla 8 Parámetros de grafica 15.....	102
Tabla 9 Parámetros de grafica 16.....	103
Tabla 10 Parámetros de la gráfica 17.....	104
Tabla 11 Parámetros de la gráfica 18.....	105
Tabla 12 Parámetros de la gráfica 19.....	106
Tabla 13 Parámetros de la gráfica 20.....	107
Tabla 14. Registro Vs. VRP (PUNTO CRITICO 2, Rio Pilón 608).....	109
Tabla 15. Comportamiento de la presión en el punto crítico 2.....	111
Tabla 16. CUC Critico 2.....	113
Tabla 17. CUC VRP critico 2.....	114
Tabla 18. Valores para diseño de grafica CUC del punto crítico 2.....	115
Tabla 19. Resultado de punto crítico 2.....	116
Tabla 20. Registro Vs. VRP (PUNTO CRITICO 3, José Vasconcelos, 240).....	117
Tabla 21. Comportamiento de la presión en punto crítico 3.....	119
Tabla 22. CUC Crítico 3.....	121
Tabla 23. CUC VRP, Crítico 3.....	122
Tabla 24. Valores para diseño de grafica CUC del punto crítico 3.....	123
Tabla 25. Resultados de punto crítico 3.....	124
Tabla 26. Registro Vs. VRP (PUNTO CRITICO 16, Callejón de los Ayala, 110).....	125

Tabla 27. Comportamiento de la presión en punto crítico 16.....	127
Tabla 28. CUC crítico 16.....	129
Tabla 29. CUC VRP Crítico 16.....	130
Tabla 30. Valores para diseño de grafica CUC del punto crítico 16.....	131
Tabla 31. Resultados de punto crítico 16.....	132
Tabla 32. Registro Vs. VRP (PUNTO CRITICO 17, Calz. San Pedro, 48).....	133
Tabla 33. Comportamiento de la presión en el punto crítico 17	135
Tabla 34. CUC Crítico 17	137
Tabla 35. CUC VRO crítico 17.....	138
Tabla 36. Valores para diseño de gráfica CUC del punto crítico 17.....	139
Tabla 37. Resultados de punto crítico 17.....	140
Tabla 38. Registro Vs. VRP (PUNTO CRÍTICO 29, Vía Angélica, 328)	141
Tabla 39. Comportamiento de la presión en el punto crítico 29	143
Tabla 40. CUC Crítico 29	145
Tabla 41. CUC VRP crítico 29	146
Tabla 42. Valores para diseño de grafica CUC del punto crítico 29.....	147
Tabla 43. Resultados de punto crítico 29.....	148
Tabla 44. Registro Vs. VRP (Punto crítico 30, Vía Angélica, 328).....	149
Tabla 45. Comportamiento de la presión en el punto crítico 30.....	151
Tabla 46. CUC crítico 30.....	153

Tabla 47. CUC VRO crítico 30.....	154
Tabla 48. Valores para diseño de gráfica CUC del punto crítico 30.....	155
Tabla 49, Resultado de punto crítico 30	156
Tabla 50. Comportamiento general	163
Tabla 51. Puntos de observación con presión y cota. (3/05/2021).....	167
Tabla 52.Comportamiento de Válvula (14-15).....	168
Tabla 53. Registro 14/09/2020.....	169
Tabla 54. Registro en campo (15/09/2020)	170
Tabla 55. Registro en campo (17/09/2020)	170
Tabla 56. Registro en campo (18/09/2020)	171
Tabla 57. Registro en campo (21/09/2020)	171
Tabla 58. Reg de punto crítico 2 (24 hrs)	172
Tabla 59. Reg de punto crítico 3 (24 hrs)	172
Tabla 60. Reg de punto crítico 17 (24 hrs)	173
Tabla 61. Reg de punto crítico 29 (24 hrs)	173
Tabla 62. Reg de punto crítico 30 (24 hrs)	174
Tabla 63. Reg de punto crítico 16 (24 hrs)	174
Tabla 64. CUC registro 1	175
Tabla 65. CUC Registro 2.....	176
Tabla 66. CUC Registro 3.....	177

Tabla 67. CUC Registro 4.....	178
Tabla 68. CUC Registro 5.....	179
Tabla 69. Registro de válvula 18/09/2020.....	180

Índice De Graficas

Grafica 1. Curva de distribución (Elaboración propia)	52
Grafica 2. Datos registrados en válvula reguladora de presión (Bermad)	68
Grafica 3. Registro 1, toma domiciliaria vs VRP (Elaboración propia).....	90
Grafica 4. Registro 2, toma domiciliaria Vs VRP (Elaboración propia)	90
Grafica 5. Registro 3, toma domiciliaria Vs VRP (Elaboración propia)	91
Grafica 6. Registro 4, Toma domiciliaria Vs VRP (Elaboración propia).....	91
Grafica 7. Registro 5, toma domiciliaria Vs VRP (Elaboración propia)	92
Grafica 8. Presión en punto 2, cota 624. Dirección: Río Pilón 608, Bosques del Valle, Monterrey N. L. (Elaboración propia)	93
Grafica 9. Presión en punto 3, cota 623. Dirección: Av. José Vasconcelos 240 pte. Lomas del Valle, Monterrey N. L. (Elaboración propia)	93
Grafica 10. Presión en punto 16, cota 609. Dirección: Callejón de los Ayala 110, zona los callejones, Monterrey N. L. (Elaboración propia)	94
Grafica 11. Presión en punto 17, cota 608. Dirección: Calz. San Pedro 48, Del Valle, Monterrey N. L. (Elaboración propia)	94
Grafica 12. Presión en punto 29, cota 595. Dirección: Vía Angélica 328, Fuentes del Valle, Monterrey N. L. (Elaboración propia)	95
Grafica 13. . Presión en punto 30, cota 594. Dirección: Río Missouri 111-141, Del Valle, Monterrey N. L. (Elaboración propia)	95

Grafica 14. Curvas de la distribución de datos del registro 1 (CUC). (Elaboración propia) .	100
Grafica 15. Curvas de la distribución de datos del registro 2 (CUC). (Elaboración propia) ..	102
Grafica 16. Curvas de distribución de datos del registro 3 (Elaboración propia)	103
Grafica 17. Curvas de distribución de datos del registro 4 (Elaboración propia)	104
Grafica 18. Curvas de distribución de datos del registro 5. (Elaboración propia)	105
Grafica 19. Curva de distribución de datos del registro 6 a las 7:00 hrs. ´(Elaboración propia)	
.....	106
Grafica 20. Curva de distribución de los datos del registro 6 a las 22:00 hrs. (Elaboración propia)	107
Grafica 21. Línea de tendencia en critico 2 (Río Pilón, 608)	110
Grafica 22. Comportamiento de la presión en el punto crítico 2 a lo largo del tiempo.....	112
Grafica 23. CUC, Ea y Er de punto crítico 2 (Río Pilón, 608).....	116
Grafica 24. Línea de tendencia de punto crítico 3 (José Vasconcelos, 240).	118
Grafica 25. Comportamiento de la presión en punto crítico 3 a lo largo del tiempo.	120
Grafica 26. CUC, Ea y Er de punto crítico 3 (José Vasconcelos, 240)	124
Grafica 27. Comportamiento de punto crítico 16, presiones (líneas de tendencia) y Gasto..	126
Grafica 28. Comportamiento de la presión en el punto crítico 16 a lo largo del tiempo.....	128
Grafica 29. CUC, Ea y Er de punto crítico 16 (Callejón de los Ayala, 110)	132
Grafica 30. Comportamiento de punto crítico 17 (línea de tendencia) y Gasto.....	134
Grafica 31 Comportamiento de la presión en el punto crítico 17 a lo largo del tiempo.....	136
Grafica 32. CUC, Ea y Er de punto crítico 17 (Calz. San Pedro, 48)	140
Grafica 33. Comportamiento de punto crítico 29 presiones (línea de tendencia) y Gasto	142
Grafica 34. Comportamiento de la presión del punto crítico 29 a lo largo del tiempo	144

Grafica 35. CUC, Ea y Er de punto crítico 29 (Vía Angélica, 328).....	148
Grafica 36. Comportamiento de punto crítico 30 presiones (línea de tendencia) y Gasto	150
Grafica 37. Comportamiento de la presión del punto crítico 30 a lo largo del tiempo	152
Grafica 38. CUC, Ea y Er de punto crítico 30 (Río Missouri, 111-141).....	156

Índice De Figuras

Figura 1. Disponibilidad en regiones hidrológicas. (Estadísticas del agua en México, 2018) .25	
Figura 2. Disponibilidad en acuíferos. (Estadísticas del agua en México, 2018)	26
Figura 3. Acuíferos sobreexplotados (EAM, 2017)	27
Figura 4. Ordenamientos jurídicos y regiones	28
Figura 5. Ubicación de la zona metropolitana de Monterrey.....	36
Figura 6. Fuentes de abastecimientos actuales de Monterrey (SADM, 2014).....	37
Figura 7. Modelo de la distribución del agua potable de la ZMM. (SADM, 2011).....	38
Figura 8. Anillo de transferencia en la ciudad de Monterrey. (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)	39
Figura 9. Sectorización (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)	40
Figura 10. Modulación de presiones (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)	41
Figura 11. Modulación de presiones (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019).	41
Figura 12. Modulación de presiones (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)	43
Figura 13. Incremento anual de extracción de agua (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)	43
Figura 14. Telemetría (Instru*tech).....	49
Figura 15. Línea de conducción (Aguirre, 2015).....	53

Figura 16. Red de distribución (Hernández, 2014)	53
Figura 17. Estación de bombeo (Páez, 2012).....	54
Figura 18. Línea de conducción con entrega del agua a un tanque de regulación.	57
Figura 19. Sistema de abastecimiento con bombeo.....	58
Figura 20. Sistema de abastecimiento por gravedad. (Guía de orientación de saneamiento básico para Alcaldías de Municipios Rurales y pequeñas comunidades, Perú, 2010).....	58
Figura 21. Junta dresser. (Catalogo Gocra, 2020).....	60
Figura 22. Tee (Catalogo Gocra, 2020).....	61
Figura 23. Cruces (Catalogo Gocra, 2020).....	61
Figura 24. Codo de 45° (Catalogo Gocra, 2020).....	62
Figura 25. Reducción campana (Catalogo Gocra, 2020).....	62
Figura 26. Cople. (Catalogo Gocra, 2020).....	62
Figura 27. Válvula eliminadora de aire (Catalogo Bermad, 2020)	63
Figura 28. Válvula de admisión y expulsión de aire (Catalogo Bermad, 2020)	64
Figura 29. Válvula de no retorno. (Catalogo Jinsa, 2019).....	64
Figura 30. Válvula de seccionamiento (Catalogo Tianjin, 2019)	65
Figura 31. Válvula reguladora de presión (Catalogo Bermad, 2020).....	66
Figura 32. Valvulas Bermad (Catalogo Gocra, 2020)	67
Figura 33. Operación-válvula reguladora de presión (Bernad Water Technologies, 2015).....	69
Figura 34. Explicación de comportamiento de un fluido. (Bernoulli, 1752)	70
Figura 35. Sistema de curvas de carga. (I. Martín, R. Salcedo, R. Font).	74
Figura 36. Líneas piezométricas (Bernoulli, 1738).....	76
Figura 37. Localización del área de estudio.....	77

Figura 38. Vista satelital de Macro sector Del Valle indicando la ubicación exacta de la VRP.	78
Figura 40. Manómetro de glicerina.	79
Figura 41. Registrador Sebalog D3	80
Figura 42. Registrador NEPTUNE II	80
Figura 43. Malla topográfica de macro sector del Valle. (Elaboración propia)	85
Figura 44. Macro sector del Valle con curvas de nivel (Elaboración propia)	86
Figura 45. Macro sector del Valle con puntos de muestreo (Elaboración propia)	87
Figura 46. Desnivel macro sector del Valle vista 1 (Elaboración propia)	88
Figura 47. Desnivel macro sector del Valle vista 2 (Elaboración propia)	89
Figura 48. Modelación de macro sector del Valle en Arcscene (Elaboración propia)	89
figura 49. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 2.	112
figura 50. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 3.	120
figura 51. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 16	128
figura 52. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 17.	136
figura 53. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 29	144
figura 54. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 30	152
Figura 55. Malla de presiones del registro 1 (Elaboración propia)	157
Figura 56 Malla de presiones del registro 2 (Elaboración propia)	157
Figura 57. Malla de presiones del registro 3 (Elaboración propia)	158
Figura 58. Malla de presiones del registro 4 (Elaboración propia)	158
Figura 59. Malla de presiones del registro 5 (Elaboración propia)	159
Figura 60. Monta perfil de presiones sobre el perfil topográfico. (Elaboración propia)	160

1 RESUMEN

Se exponen los resultados obtenidos de la evaluación de un sistema de agua potable. El objetivo de este estudio fue evaluar la red del sistema de agua potable controlado por una válvula reguladora de presión de 12 pulgadas (Bermad), en el macro sector del Valle, ubicado en Monterrey, Nuevo León, México.

La evaluación de este método consiste en observar el porcentaje de variación en la distribución de agua potable en el macro sector con respecto a la topografía, horarios críticos y comportamiento de la válvula reguladora de presión (VRP).

En este proyecto se van a evaluar las siguientes variables para conocer su comportamiento como sistema de agua potable; Presión, gasto, desnivel, puntos críticos y horarios críticos.

Se utiliza la ecuación de CUC (Coeficiente de uniformidad de Christiansen), ya que con esto se puede evaluar el perfil de comportamiento de presiones a lo largo del macro sector, estadísticamente representa la desviación media estándar de los valores.

Los resultados que se obtuvieron nos permiten concluir que la topografía en Monterrey no nos permite tener un sistema de agua potable con un coeficiente de uniformidad de Christiansen mayor a 75%, es necesario agregar accesorios de control dentro del macro sector del Valle.

Palabras Clave: Agua Potable, Válvula Reguladora de Presión, Variación, Topografía, Presión, Gasto, Desnivel, Eficiencia.

2 ABSTRACT

Below are the findings an evaluation performed on a drinking water system. The purpose of the study was to evaluate the system in a controlled setting with a regulator pressure valve of 12 inches (Bermad) in a zone of del Valle located in Monterrey, Nuevo Leon, Mexico.

The method of evaluation consisted in observing the percent variation in the distribution of the drinking water throughout the zone in relation to the following; topography, critical hours, and behavior of the regulator pressure valve.

In the project, the following variables will be evaluated to understand their behaviors as a drinking water system; pressure, water flow, surface level, critical points and critical hours.

The evaluation method used is the equation CUC (uniformly coefficient of Christiansen). This method gives a proper understanding of pressure along the sector, wich represents the statistical standard deviation of the values.

The results of this study conclude that the topography in Monterrey does not allow to have a drinking water system with a uniformly coefficient of Christiansen value higher than 75%. In order to achieve this value it will require to add more control equipment within the zone of del Valle.

Keywords: Drinking Water, Pressure Regulating Valve, Variation, Topography, Pressure, Flow, Unevenness, Efficiency.

3 Introducción

Las aguas dulces del mundo constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro. De acuerdo con los estudios sobre los balances hídricos del planeta solamente el 0.0007% de las aguas dulces se encuentran realmente disponibles a todos los usos humanos directos. De esta pequeñísima porción dependen procesos sociales vitales. Las más recientes evaluaciones de los especialistas y organizaciones internacionales conectadas con los problemas del agua, sugieren para el año 2025 más de las dos terceras partes de la humanidad sufrirá algún estrés por la falta de este vital líquido (L'vovich et al. 1995, Simonovic 1999).

Por eso se impone, al inicio del tercer milenio, como la primera gran tarea para científicos, planificadores y políticos conectados con los problemas del manejo de los recursos hídricos, una reflexión sobre el paradigma del agua que se ha consolidado en el mundo en los últimos cien años, para poner en el balance sus logros y limitaciones. Se trata de un esfuerzo por repensar este paradigma a la luz de los grandes problemas que confronta la vida en el planeta ante el agotamiento y el deterioro de sus recursos hídricos.

La distribución del agua dulce sobre la superficie de la tierra ha cambiado notablemente como resultado de los esfuerzos directos del hombre para manejarla. Estas alteraciones se acentuaron conforme la humanidad se urbanizaba y también como resultado del impuesto por la revolución agrícola de los últimos decenios. Las principales acciones directas se iniciaron con la manipulación de los flujos de los grandes ríos, las presas de almacenamiento, el drenaje de los humedales, el transporte de agua a los centros urbanos, la explotación de los acuíferos y la irrigación de tierras agrícolas. La navegación, la agricultura, la industria, la generación de energía y los usos domésticos han sido en esta fase de la historia humana, las principales actividades económicas que dependen directamente del agua. Estas actividades antropogénicas han terminado por modificar

los flujos de agua dulce de los principales ríos del mundo, cambiando sensiblemente las tasas de evaporación y la calidad de las aguas por el incremento sustancial de los desechos tóxicos.

En el marco de este paradigma, tres factores han controlado la planificación y el manejo del agua en los últimos 100 años:

El crecimiento de la población mundial.

Los cambios en los estándares de vida que conlleva la urbanización de la población.

La expansión de la agricultura irrigada.

Entre 1900 y el año 2000 la población del mundo pasó de 1,600 a 6,000 millones de seres humanos. En este lapso, el porcentaje de población urbana se incrementó de 13.6% en 1900 a cerca de 60% en el año 2000, y la tierra bajo irrigación se elevó de 50 a 267 millones de hectáreas.

La planificación hidráulica se basó en las proyecciones de la población de la demanda de per cápita de agua para satisfacer las necesidades de una población crecientemente urbana y la de los insumos de las actividades económicas: todas ellas, variables en continua expansión en la civilización industrial contemporánea. Los problemas de manejo de los recursos hídricos se transformaron bajo este paradigma en un mero ejercicio de cómo hacer frente a las demandas crecientes de estos recursos, como cerrar la brecha siempre en aumento entre demandas en continua expansión y ofertas limitadas. Todas las soluciones se enfocaron por el lado de la oferta: se asumió que los déficits podrían siempre satisfacerse tomando del ciclo hidrológico el agua necesaria mediante cada vez más sofisticadas infraestructuras físicas (presas, acueductos y sistemas de transferencias entre regiones hidrológicas).

A principios del siglo XIX, la población que vivía en las ciudades era aproximadamente de 29 millones de habitantes, lo que representaba un escaso 3% de la población mundial. Hacia fines del siglo XX, esta población citadina ya se acercaba a los 2,500 millones, y representaba casi el 50% de la población mundial.

Este dramático proceso de urbanización se reflejó en 3 clases de presiones sobre las aguas dulces: el incremento de las aguas superficiales requeridas para satisfacer las necesidades de la población urbana, el aumento de las aguas de desechos y el decremento de las aguas subterráneas. Durante los últimos 300 años los usos municipales del agua en el mundo se han incrementado 40 veces. En tanto que entre 1900 y 1995 estos usos se han incrementado por un factor de seis, estos es, más del doble del crecimiento de la población mundial (WMO 1998). En este último periodo, el volumen de aguas residuales pasó de 7 km³ a 100 km³.

A pesar de los avances tecnológicos de la infraestructura hidráulica, cerca de 1.2 billones de seres humanos no tienen hoy acceso a agua limpia. La contaminación del vital líquido es responsable de la muerte de cerca de 25 millones de seres humanos en todo el mundo, entre ellos unos 7 millones de niños.

A continuación, se presenta una tabla que presenta la distribución del agua en el planeta.

Tabla 1

Océanos, agua subterránea, humedad del suelo, hielo polar, lagos, pantanos, ríos, agua biológica, agua atmosférica y agua total.

AGUA EN EL MUNDO			
	Volumen (Km³)	% de agua total	% de agua dulce
Océanos	1,338,000,000	96.5	
Agua subterránea	23,400,000	1.69	30.1
Humedad del suelo	16,500	0.0012	0.05
Hielo polar	24,023,500	1.7	68.6
Lagos	176,400	0.013	0.26
Pantanos	11,470	0.0008	0.03
Ríos	2,120	0.0002	0.006
Agua biológica	1,120	0.0001	0.04
Agua atmosférica	12,900	0.001	0.04
Agua total	1,385,984,610	100	

Fuente: World Water Balance and water Resources of the earth (2010).

A nivel mundial se estima la disponibilidad de agua promedio anual en 1 386 billones de hectómetros cúbicos (hm³). De ésta, 35 billones de hm³ son agua dulce (2.5%). Del agua dulce, el 70% no están disponibles por encontrarse en glaciares, nieve, hielo; 10.5 millones de hm³ se encuentran como agua subterránea, solamente 0.14 billones de hm³ se encuentran en lagos, ríos, humedad en suelo y aire, humedales y plantas. (Sistema Nacional de Información del Agua, 2020)

En las últimas décadas, el agua disponible se ha reducido de manera significativa, y se requieren estrategias para reducir este problema.

3.1 El Agua en México

México debe resolver múltiples problemas en materia de agua, mismos que han sido generados a lo largo de su evolución industrial y durante la cual no ha sabido gestionar de forma adecuada sus recursos hídricos. Se pueden sintetizar los grandes problemas del agua en:

Las cuencas y acuíferos de mayor importancia en términos de habitantes y actividad económica están sobre concesionado y sobreexplotados, respectivamente.

El porcentaje de cuerpos de agua contaminados en el país llega al 70%.

La seguridad hídrica está comprometida en muchas regiones (p. ej., abasto para consumo humano, saneamiento de agua residual, contaminación emergente de corrientes y desastres por fenómenos naturales y antrópicos, como tormentas severas, inundaciones y sequías).

El cambio climático está impactando a diversos sectores a través del agua.

El número de conflictos y la competencia por el agua va en ascenso, e involucra a los tres niveles de gobierno y a los usuarios del agua; también se manifiesta en las cuencas y acuíferos trans fronterizos.

La protección de humedales y cuerpos de agua, y el recurso para el medio ambiente están ausentes de la gestión integrada del agua en la realidad aun cuando la ley vigente considera tales aspectos.

Existe poca valoración y cuidado del agua en la sociedad mexicana.

Aún hay despilfarro e ineficiencia en el uso del agua en todos los sectores, que manifiestan una cultura de agua incongruente con la situación de disponibilidad del recurso.

El sector agua se ha descapitalizado de manera acelerada en personal calificado, lo que ha contribuido a una pérdida de autoridad y de actuación.

La mayor parte de la infraestructura hidráulica fue construida antes de mediados del siglo pasado, por lo que ha alcanzado su vida operativa o lo hará en un corto plazo.

El financiamiento del sector agua es cada vez menor, más comprometido a construir infraestructura hidráulica y menos a su operación y mantenimiento, así como a la gestión del agua, que es el objetivo fundamental de la Ley de Aguas Nacionales.

El marco legal está desactualizado, es complejo y difícil de implementar.

No se invierte lo suficiente en investigación y desarrollo tecnológico.

El 77 % del agua se utiliza en la agricultura, 14 % para abastecimiento público, 5 % para generación de energía por medio de plantas termoeléctricas y 4 % para la industria. Sin embargo, existen tres características que limitan este aprovechamiento:

La distribución temporal, pues la lluvia ocurre en su mayor parte en el verano (de junio a septiembre), mientras que el resto del año es relativamente seco.

La distribución espacial de la precipitación, pues en estados como Tabasco llueven 2,095 mm al año, y en Baja California Sur sólo se precipitan 160 mm anualmente, es decir, Tabasco tiene una precipitación 13 veces mayor. (El agua en México, 2010)

La distribución de la población sobre el territorio nacional (Figura 1), pues mientras en las zonas Norte, Centro y Noroeste del país se tiene una disponibilidad natural de agua de 31%, en ellas se ubica 77% de la población, y se genera 87% del Producto Interno Bruto (Arreguín et al., 2004).



Figura 1. Disponibilidad en regiones hidrológicas. (Estadísticas del agua en México, 2018)

Como muchos países del mundo, México enfrenta problemas que obligan a hacer una administración mejor para poder satisfacer las demandas de sus habitantes, entre ellos destacan la escasez, la contaminación del recurso, la necesidad de mejorar la administración del agua, la falta de ordenamiento ecológico, el impacto del cambio climático sobre el ciclo hidrológico y la poca inversión en investigación y desarrollo tecnológico en el país.

Dos terceras partes del territorio son desérticas o semidesérticas, y como se señaló anteriormente, la ubicación de la población no corresponde con las zonas de mayor disponibilidad natural de agua. La Lan (ley de aguas nacionales) establece que, para otorgar los títulos de concesión o asignación, se deberá tomar en cuenta la disponibilidad media anual de agua de la cuenca hidrológica o acuífero en el que se vaya a realizar el aprovechamiento. Cuando se determina que al acuífero o cuenca se le puede extraer un volumen adicional, al ya concesionado. Sin comprometer el ecosistema, esta condición se denomina “disponibilidad”.

La Conagua tiene la obligación de publicar dichas disponibilidades, con dicho propósito se generó la Norma NOM-011-Conagua-2015 “Conservación del Recurso Agua, que establece las especificaciones y el Método para Determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales”.

La publicación más reciente de las disponibilidades de las 653 unidades hidrogeológicas o acuíferos se dio el 4 de enero de 2018 y el de las 757 cuencas hidrológicas en que se subdivide México, se publicó en julio de 2016.



Figura 2. Disponibilidad en acuíferos. (Estadísticas del agua en México, 2018)

Las aguas subterráneas desempeñan un papel de creciente importancia en el crecimiento socioeconómico del país, gracias a sus características físicas que les permiten ser aprovechadas de manera versátil, funcionan como presas de almacenamiento y red de distribución, siendo posible extraer agua en cualquier época del año de prácticamente cualquier punto de la superficie del acuífero. Funcionan, además, como filtros purificadores, preservando la calidad del agua.

La importancia del agua subterránea se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios. El 39.1% del volumen total concesionado para usos consuntivos (34380 hm³ por año al 2017), procede de agua subterránea. Para fines de administración del agua subterránea, el país se ha dividido en 653 acuíferos, cuyos nombres oficiales fueron publicados en el DOF el 5 de diciembre de 2001.

A partir de ese momento se inició un proceso de delimitación y estudio de los acuíferos para dar a conocer de manera oficial la disponibilidad media anual de éstos, siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-011-Conagua-2000.



Figura 3. Acuíferos sobreexplotados (EAM, 2017)

La disponibilidad, es un indicador básico para la preservación del recurso a través de la administración de las aguas nacionales, mediante los instrumentos de concesión o asignación de derechos para uso de aguas nacionales, a diciembre de 2017 se cuenta con 448 acuíferos en condiciones de disponibilidad. (CNA, Estadísticas Del Agua En México, 2018)

Así mismo con el propósito de controlar y revertir la sobreexplotación de las aguas subterráneas se han emitido Ordenamientos Jurídicos tales como vedas, reglamentos, zonas reglamentadas, zonas de reserva y el acuerdo de suspensión de libre alumbramiento.

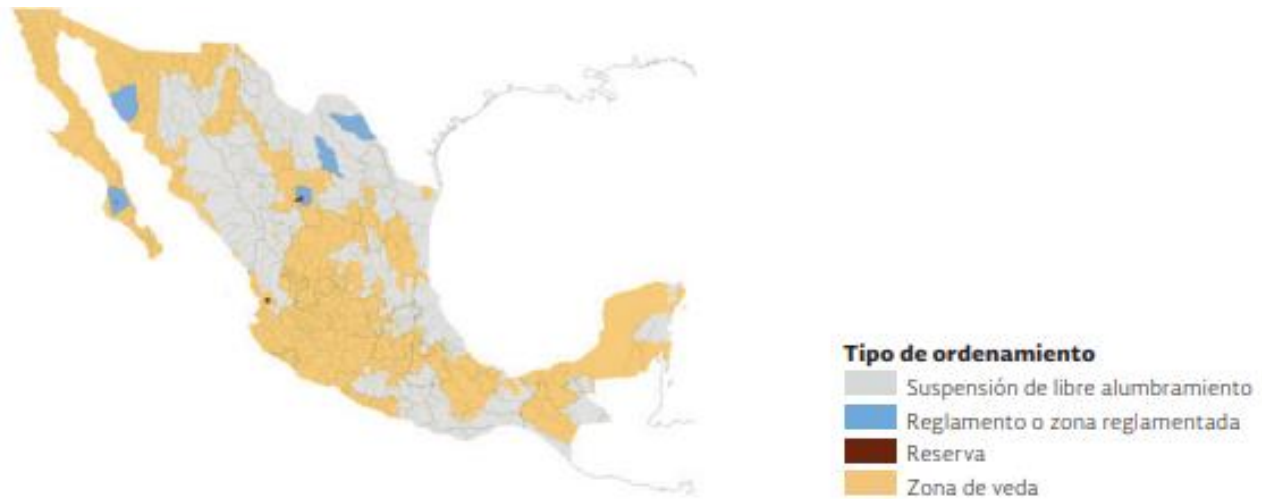


Figura 4. Ordenamientos jurídicos y regiones

Los casos críticos se presentan en estados del centro y norte de la República Mexicana, en particular en la cuenca del río Lerma (Guanajuato y Querétaro), en la región de La Laguna (Coahuila-Durango), en la península de Baja California, y en Aguascalientes, Chihuahua y Sonora. Se estima que varios de ellos han perdido entre 20 y 25% de su reserva original, y que el valor de minado es de 5,400 millones de metros cúbicos (Mm³) al año (casi 50% del volumen de agua empleado para abastecimiento público en el país).

Por lo que se refiere a la calidad del agua subterránea, en la Península de Baja California y las zonas costeras de Sonora y Sinaloa, la explotación intensiva cerca del mar ha provocado la intrusión salina. Los casos más críticos son 18 acuíferos invadidos en el noroeste, lo que ha inutilizado gran cantidad de pozos y una superficie importante de terrenos de cultivo, y ha incrementado la salinidad del agua subterránea hasta alcanzar concentraciones no aptas para los usos más comunes.

La importancia del agua subterránea radica en que es la fuente que sostiene el riego de dos millones de hectáreas (un tercio de la superficie total bajo riego): abastece cerca de 70% del volumen de agua que requieren las ciudades y en donde se concentran 60 millones de habitantes, y abastece a la mayoría de las instalaciones industriales y a casi la totalidad de la demanda de agua de la población rural.

En cuanto al conocimiento científico que se tiene de los acuíferos, se han realizado estudios hidrogeológicos en 60% del territorio nacional, principalmente en las porciones planas de las cuencas más importantes y las áreas montañosas adyacentes. El 40% restante corresponde a grandes sierras que, en general, no son propicias para la captación de agua subterránea, pero son importantes por ser receptoras de recarga y transmisoras del agua infiltrada a los acuíferos.

El diagnóstico mencionado resaltó la publicación de la disponibilidad de agua subterránea de 212 acuíferos en el Diario Oficial de la Federación. Se trata de los acuíferos más importantes y estudiados, entre los cuales se cuentan los que son claramente sobreexplotados y los que tienen una gran disponibilidad de agua. Representan la tercera parte del total, pero en ellos se concentra 87% del volumen de agua subterránea extraída del subsuelo a nivel nacional. De estos acuíferos, 108 tienen una disponibilidad de 18,000 Mm³ al año, mientras que los 104 restantes tienen un déficit de -4,494 Mm³ al año.

El diagnóstico finalizó señalando que el conocimiento que se tiene de los acuíferos más importantes es aceptable para fines de administración del agua, pero insuficiente para orientar un manejo más flexible y complejo, requerido para conciliar la preservación de los acuíferos con las crecientes demandas. Asimismo, determinó que los ordenamientos legales en materia de agua son insuficientes o inadecuados para una gestión eficaz del agua subterránea: en su mayoría, las vedas son inoperantes e incompatibles con las condiciones actuales de explotación de los acuíferos.

Tabla 2
Recarga-Extracción-Acuíferos sobreexplotados en México, 2018.

No. De región	Total	Sobreexplotado	Intrusión marina	Recarga media (hm³)
I	88	14	11	1 658
II	62	10	5	3 207
III	24	2		3076
IV	45	1		4 873
V	36			1 936
VI	102	18		5 936
VII	65	23		2 376
VIII	128	32		9 656
IX	40	1		4 108
X	22			4 599
XI	23			22 718
XII	4		2	25 316
XIII	14	4		2 330
Total	653	105	18	91 788

Fuente. Estadísticas del agua en México, 2018.

El crecimiento de la población urbana pasó de 58 a 74% de la población total. Los requerimientos de agua de estas áreas se cubrieron con fuentes de agua del subsuelo. Escolero (2006) advierte que en los acuíferos sometidos a explotación intensiva, la transmisión de derechos se ha realizado de pequeños usuarios de agua (agricultores en tierras ejidales de uso comunal) hacia los grandes usuarios (empresas agroindustriales y centros urbanos). En los casos de la Comarca Lagunera, la cuenca del Lerma-Balsas y el Valle de México, se estima que desde mediados de los años 90 más de 40% de los derechos de agua subterránea se han transmitido a otros usuarios.

La CONAGUA estimó que en 56 zonas metropolitanas de México habitaban casi 58 millones de personas, es decir, 56% de la población total, y que en tan sólo cinco zonas metropolitanas se

concentraba 30% de la población total (Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala y Toluca).

En la actualidad, 63% del agua utilizada en México proviene de fuentes superficiales y 37% de fuentes subterráneas. De estas últimas, 60% es para uso agrícola, 24% para uso público urbano y 5% para uso industrial. La extracción de agua del subsuelo se estima en casi 29,000 Mm³, es decir, 20% más que en 1994. El 71% se concentra en regiones de baja recarga.

Un fenómeno distintivo del desarrollo de México en el siglo XX fue la urbanización y el rápido crecimiento de las ciudades. Debido a que la expansión de las actividades industriales y de los servicios tiende a concentrar la población en espacios reducidos, los movimientos migratorios de población se dirigen hacia las ciudades y dan lugar a su multiplicación y acelerado crecimiento (Garza y Aguilar 1995, 5).

A principios del siglo XX, en el año 1900, en México sólo había 33 localidades de más de 15,000 habitantes en las que residían 1.4 millones de personas. Durante los años de 1900 a 1940, se vive un proceso lento de urbanización que se acelera y dinamiza a partir de la década de los 40.

Para 1950, el número de localidades de más de 15,000 habitantes se eleva a 84, y para 1960, este número asciende a 119 y su presencia se extiende a casi todo el territorio nacional.

Para el año 1990, México, con una población total de 81.2 millones de habitantes, tiene una población urbana de 49.4 millones de habitantes (61%) asentados en 309 localidades de más de 15,000 pobladores. De éstas, 99 son ciudades de más de 50,000 habitantes, 15 tienen más de 500,000 y 4 (Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla) tienen más de un millón de habitantes (Garza y Aguilar, 1995, 6).

Este crecimiento demográfico y urbano reclama un volumen cada vez más importante de agua que se concentra en extensiones relativamente pequeñas del territorio nacional. Hacia fines del siglo XX, los usos urbanos del agua adquirieron una importancia que no tenían anteriormente, y a principios del siglo XXI, la gestión urbana del agua se ha vuelto crítica y estratégica para el desarrollo del país y el bienestar de la población en la misma proporción que aumentan los usos públicos e industriales.

El agua es empleada de diversas formas en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o producir e intercambiar bienes y servicios.

En el Registro Público de Derechos de Agua (Repda), se registran los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. El Repda tiene clasificados los usos del agua en diversos rubros. Cabe comentar que en 2014 se adicionó un nuevo rubro no consuntivo: el de conservación ecológica, con un volumen concesionado de 9.46 hm³/año.

El mayor uso del agua en México es el agrícola. Con base en el VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (el último disponible a escala nacional), la superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.2 millones de hectáreas, de las cuales 18% eran de riego y el resto tenían régimen de temporal.

Con la proyección de los consumos del agua hacia el año 2030, el abasto de agua de las ciudades mexicanas enfrenta múltiples retos. Primeramente, se estima que el crecimiento demográfico va a continuar (a tasas decrecientes) hasta el año 2040, fecha en la cual el país podría alcanzar una población de aproximadamente 123 millones de habitantes, de los cuales alrededor de 80% habitaría en ciudades. Se estima que posterior a esta fecha, el tamaño de la población se mantendría relativamente estable durante una década, es decir, hasta el año 2050 (CONAPO, 2008). Está claro

entonces que el reto que el país tiene es conforme lo requiera el aumento de población. Esta situación pone al país ante el reto del manejo sustentable del agua.

Sin embargo, el crecimiento demográfico y el consumo de agua no tienen una relación directamente proporcional entre sí. Un incremento de 25% en la población en las tres décadas de 2010 a 2030 no significa necesariamente un incremento proporcional de 25% en el volumen de agua demandado. Puesto que el consumo urbano de agua está mediado por las pérdidas de agua que se dan en la red de distribución y en los patrones de consumo, se podría lograr una reducción considerable del volumen de agua consumido con un adecuado manejo del agua urbana. Por ello, un modelo completo del manejo de agua no tiene que considerar sólo el lado de la oferta con base en dotaciones constantes de agua per cápita, sino que debe, ante todo, considerar el manejo de la demanda con base en el incremento de la eficiencia física y el establecimiento de políticas comerciales como reguladoras de los patrones de consumo. (CNA, Estadísticas Del Agua En México, 2018)

Otro elemento del reto que enfrentan las ciudades en materia de agua es que también existe la perspectiva de una reducción significativa en la disponibilidad de agua. Las proyecciones del Panel Internacional del Cambio Climático y otros estudios indican un incremento de la temperatura promedio de entre 2 y 4°C hacia el año 2050, con un posible descenso en las precipitaciones de entre 10 y 15%, principalmente para la mitad norte del país (IPCC, 2007; Zermeño, 2008). Estas predicciones implican, por lo tanto, más emergencias por ciclones y tormentas tropicales y una mayor incidencia de sequías extremas o prolongadas. Este nuevo contexto climático tenderá entonces, por una parte, a disminuir la disponibilidad de agua y, por otro, a incrementar la demanda de agua y de energía eléctrica.

Ante esta perspectiva, el suministro de agua para las ciudades tiene necesariamente que cambiar y desarrollarse hacia modelos cada vez más sofisticados y demandantes de información y desempeño. El reto hidráulico que enfrentan las ciudades en la actualidad requiere de necesidad un cambio en el paradigma del manejo urbano del agua. Fundamentalmente, el desarrollo del suministro y manejo de agua urbana puede resumirse en tres fases:

En la primera, las poblaciones y ciudades se ubican junto a ríos y lagos y recurren a los cuerpos de agua superficial para, de manera relativamente económica, abastecerse del líquido. Desde hace cinco mil años, las primeras ciudades de la Mesopotamia, así como todas las grandes ciudades, se ubican junto a ríos y han resuelto su necesidad de agua con obras de ingeniería y canales que básicamente suministraban agua rodada o por gravedad (Barraqué, 2004). En México, ésta ha sido la modalidad prevaleciente en la mayor parte de las ciudades hasta mediados del siglo XX. La Ciudad de México está ubicada junto a un lago, y la mayoría de las demás ciudades se ubican junto a ríos u otras fuentes de agua que les permiten satisfacer la necesidad del recurso. La característica principal de esta etapa es que las ciudades van a donde está el agua.

En una segunda etapa, las ciudades comienzan a abastecerse de agua por medio de grandes presas y elaborados sistemas hidráulicos que incluyen acueductos y el bombeo de agua de otras cuencas. Asimismo, a partir de la disponibilidad de la energía eléctrica, se extrae agua de los acuíferos por medio de pozos profundos. Aunque este modelo tiene antecedentes remotos, en su versión moderna fue establecido por las ciudades del Oeste de los Estados Unidos como Los Ángeles y su transferencia del río Owens, así como el control del río Colorado y la construcción de la presa Hoover para suministrar agua y energía a las desérticas ciudades de Las Vegas y Phoenix, así como a los estados de Nevada, Arizona y parte de California (Reisner, 1986). La característica de esta etapa es que el agua se trae a las ciudades y éstas comienzan a extender sus

acueductos y canales a distancias cada vez más grandes. Esto sucede, principalmente, cuando las ciudades crecen y su demanda excede la disponibilidad local del recurso. En México, la tecnología y las grandes obras han servido para abastecer agua, por ejemplo, a la Ciudad de México con el Sistema Cutzamala, a la ciudad de Monterrey con su acueducto desde la presa del Cuchillo y a la ciudad de Tijuana con el acueducto que le surte agua del río Colorado. Este tipo de manejo se caracteriza porque está movido por la oferta y por considerar como constantes los patrones de consumo tanto en el sistema urbano como en las unidades de consumo doméstico.

Una tercera etapa que se requiere, a fin de afrontar los retos del crecimiento demográfico y de la reducción en la disponibilidad del recurso, es la del manejo de la demanda y la construcción de sistemas de información para la eficiencia, la conservación y la sustentabilidad del recurso. A diferencia de las anteriores, esta etapa pone el énfasis en la minimización de los recursos utilizados y la maximización de los beneficios obtenidos. Se trata de un tipo de manejo más integral que pone el acento en la reducción de las pérdidas y en la revisión de los patrones de consumo. Este tipo de manejo requiere asimismo el tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales, su reutilización en usos industriales, el riego de parques y jardines urbanos, así como su posible trueque por agua de pozos agrícolas que puede significar una nueva fuente de suministro para uso urbano (Scott; Faruqi, y Raschid-Sally, 2004).

3.2 El Agua en Monterrey, N.L.



Figura 5. Ubicación de la zona metropolitana de Monterrey.

La tubería instalada para satisfacer las necesidades actuales del Área Metropolitana de Monterrey es de 30, 628, 119 kms para 1, 600, 000 usuarios. Actualmente el consumo per cápita por habitante para uso doméstico es de 120 litros diarios en la zona metropolitana de Monterrey, mientras que la media nacional es de 250 litros. (Garza González, 2020)



Figura 6. Fuentes de abastecimientos actuales de Monterrey (SADM, 2014)

El siguiente esquema representa el modelo de distribución de la red de agua potable para el AC-ZMM, obtenido mediante el empleo de un modelo de asignación desarrollado por la División de Ingeniería de Sistemas del Consejo de Desarrollo del Agua del Estado de Texas, EUA. Este estudio se realizó en el “Análisis de Alternativas de Fuentes de Abastecimiento A la Zona Metropolitana de Monterrey, NL. (García, 2013)

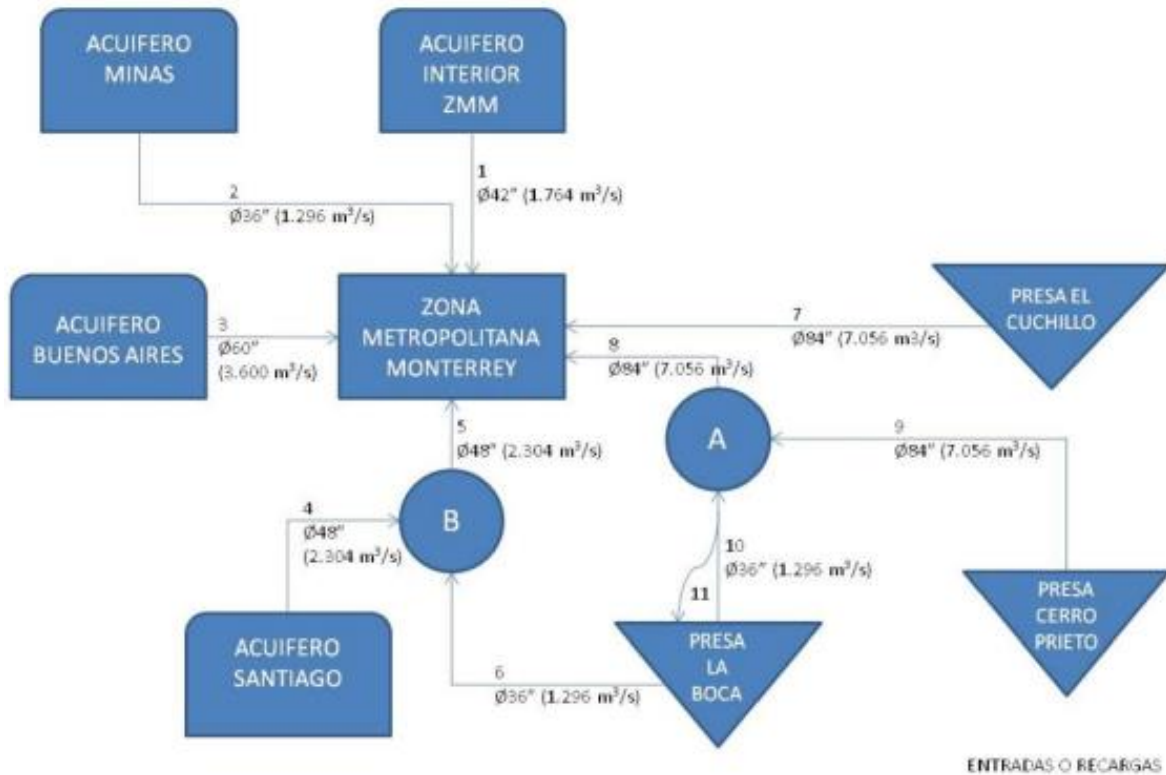


Figura 7. Modelo de la distribución del agua potable de la ZMM. (SADM, 2011)

3.2.1 Programa de sectorización de la red de distribución de agua potable en la ciudad de Monterrey, Nuevo León.

En la ciudad de Monterrey en el año 2015 se realizó un nuevo programa de sectorización de la red de distribución de agua potable donde este tiene como objetivo entregar al usuario un mínimo de 1.5 kg/cm² como presión.

Una de las desventajas de esta ciudad como ya lo estuvimos mencionando en literatura pasada además de la topografía (ciudad anclada a las montañas), es que la precipitación media es muy baja esto nos obliga a un mejor manejo del vital líquido.

Con este programa de sectorización se verán beneficiados alrededor de 1, 600,000 de usuarios del agua potable, gracias a 30, 628,119 kms. De tubería de agua.

Los abastecimientos en agua potable de Monterrey son los siguientes:

Fuentes superficiales.

Presa el cuchillo con una capacidad de almacenamiento de 891.4 Mm³.

Presa la boca con una capacidad de almacenamiento de 39.5Mm³.

Presa cerro prieto con una capacidad de almacenamiento de 300Mm³.

Fuentes subterráneas.

Sistema Buenos Aires.

Sistema Mty.

Túnel San Francisco.

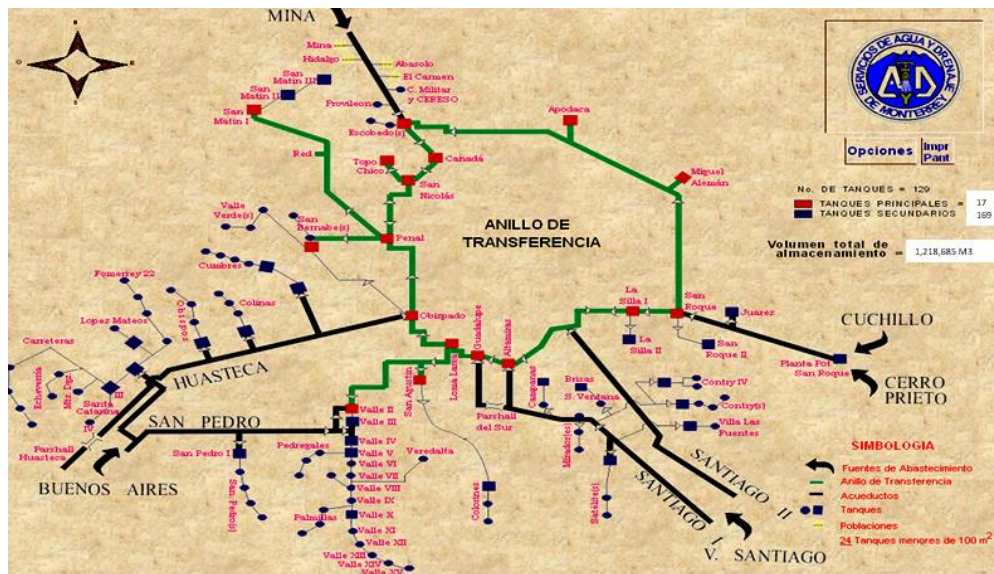


Figura 8. Anillo de transferencia en la ciudad de Monterrey. (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)

La Sectorización es un proceso de investigación y consiste en dividir las redes en Sectores estableciendo una sola entrada en donde se instala un macro medidor para el monitoreo del consumo promedio del circuito.

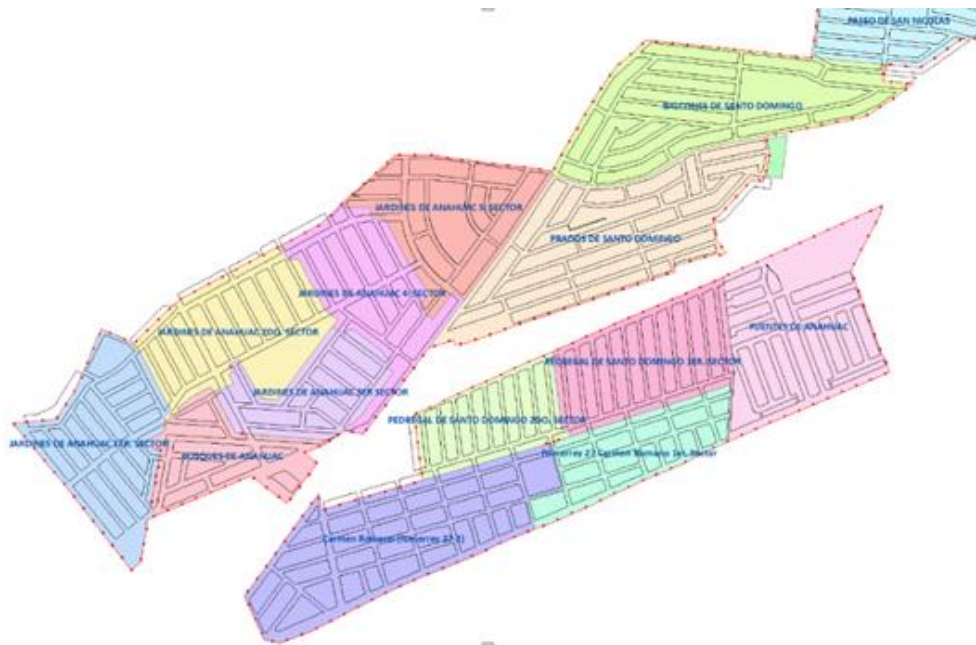


Figura 9. Sectorización (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)

Modulación de presiones:

Optimización de la red de abastecimiento mediante la técnica de modulación de presiones, esto nos ayuda a mejorar significativamente la eficiencia física de la Red de Agua Potable, mediante el diseño y construcción de macro sectores, estableciendo en ellos un control inteligente que permita suministrar el gasto y la presión adecuada para la operación sin comprometer la seguridad y el servicio de la población. (Ayala, 2019)

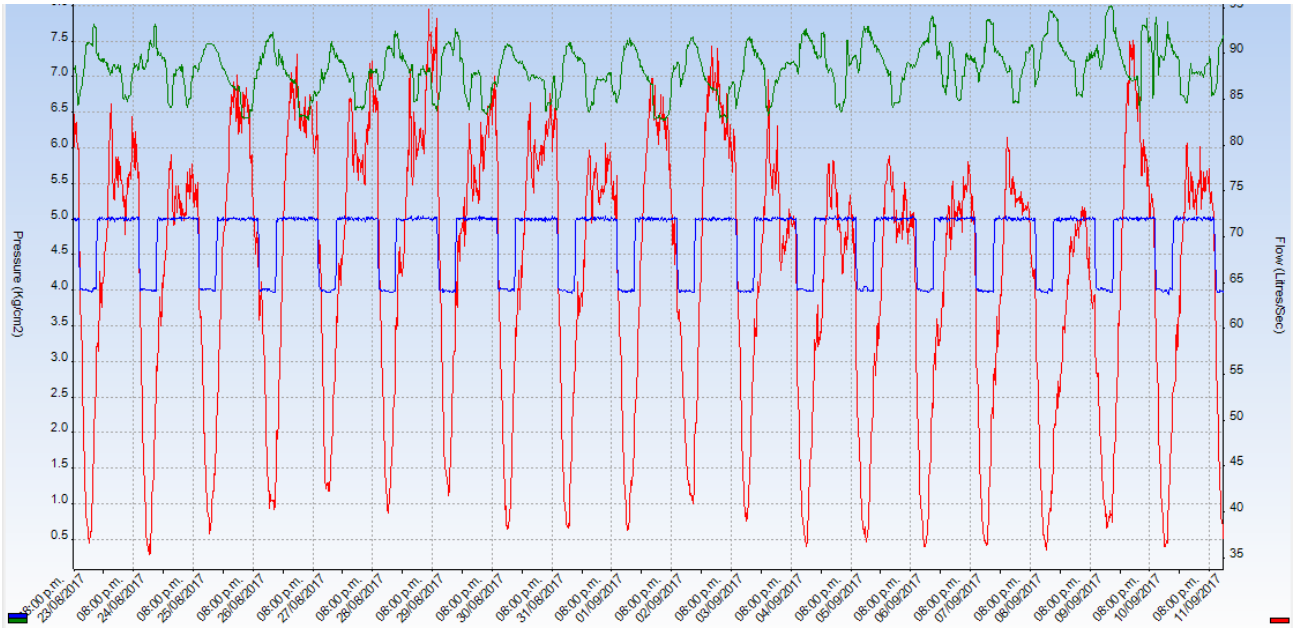


Figura 10. Modulación de presiones (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)

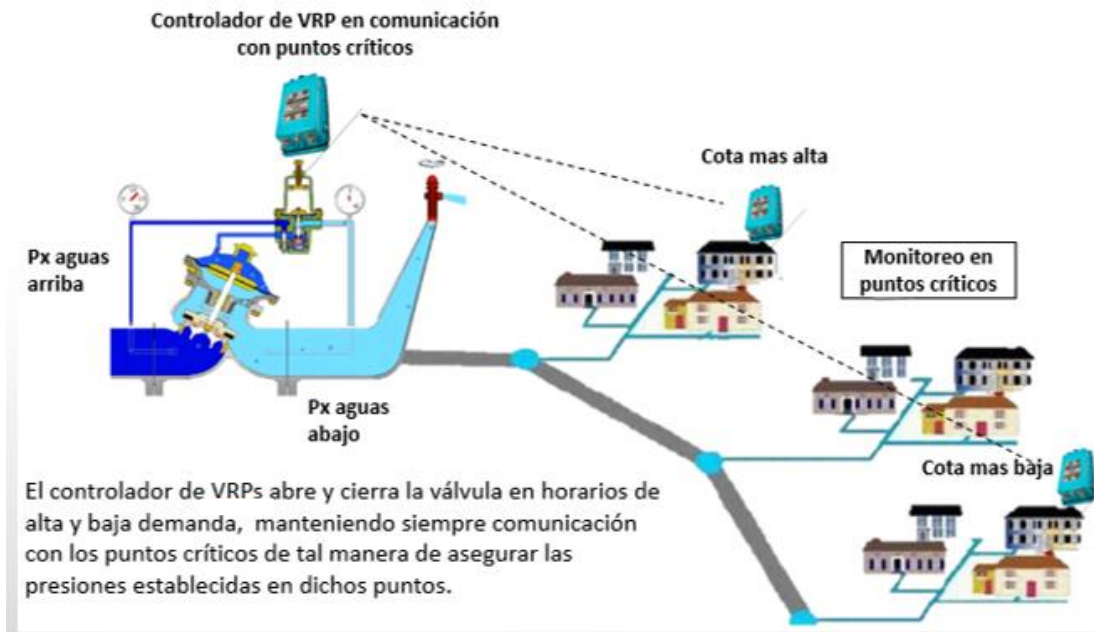


Figura 11. Modulación de presiones (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019).

Esta obra tiene un listado de beneficios que son los siguientes:

Protección continua de las tuberías.

Reducción de fugas.

Reducción del índice de quejas (mejor servicio al usuario)

Gestión y control del agua en época de sequía y/o contingencias.

Recuperación de caudal suministrado

Mayor volumen de agua disponible.

Control inteligente de la presión.

Ahorro energético (menos horas de bombeo y mayor eficiencia tarifa eléctrica).

En los 4 años anteriores a 2018 (2014-2017) el Incremento anual de extracción de las Fuentes de Abastecimiento en promedio fue de 487 litros/segundo y en el año 2018 el incremento fue sólo de 168 litros/segundo, que representa una disminución de 65.5%; esto puede ser el efecto de varios factores:

Menos usuarios incorporados: los usuarios incorporados en 2018 fueron 44,067 que es mayor al promedio, por lo cual esto no es factor.

Temperatura: en este periodo de análisis el comportamiento de este parámetro en promedio anual y mensual fue muy similar, por lo cual tampoco fue un detonante.

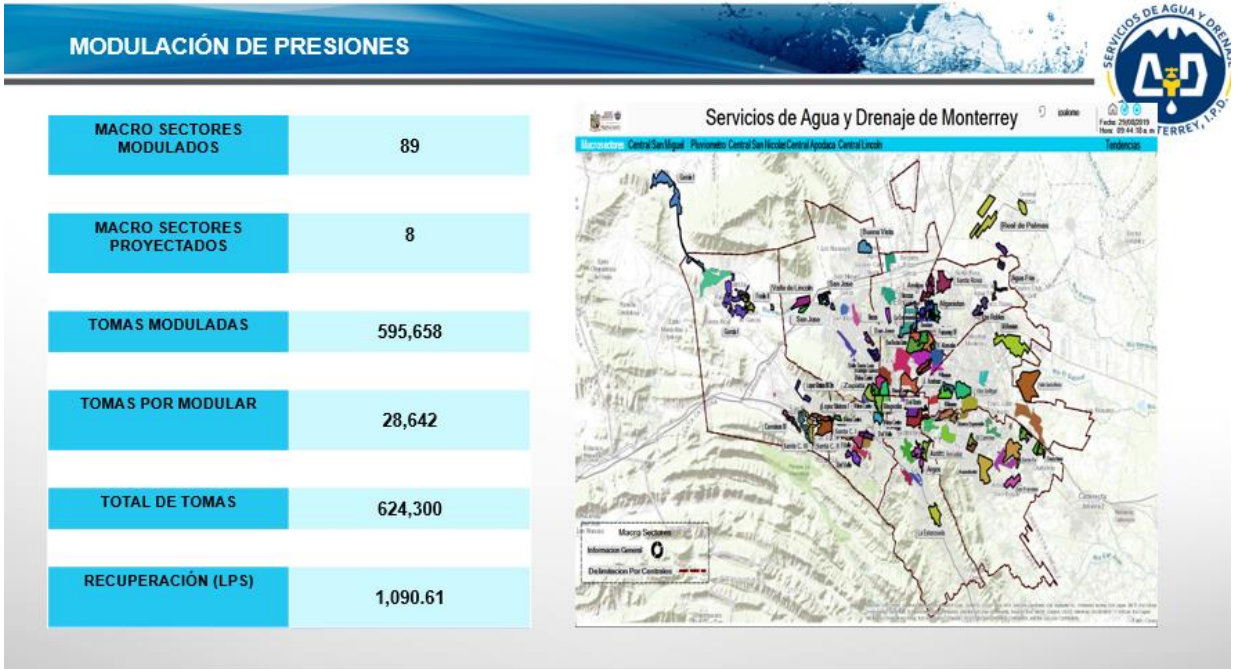


Figura 12. Modulación de presiones (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)

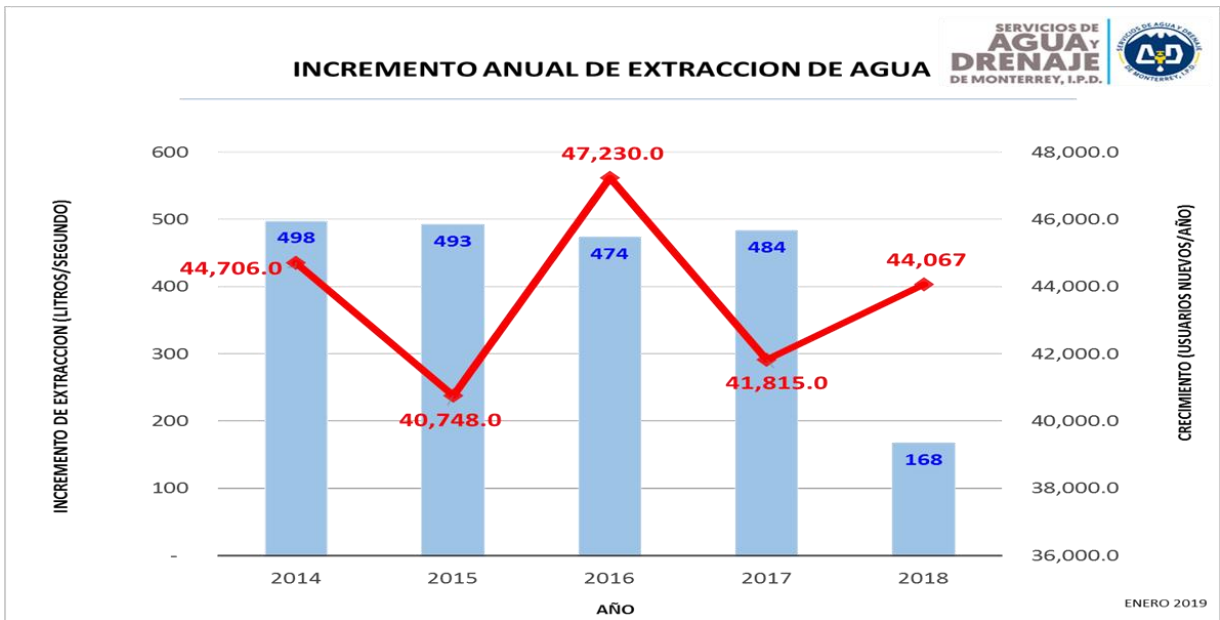


Figura 13. Incremento anual de extracción de agua (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2019)

4 Objetivo General

Estudiar el comportamiento hidráulico después de la válvula reguladora de presión del macro sector del Valle, San Pedro Garza García, N.L.

5 Objetivos específicos

Calcular el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen del macro sector del Valle en Monterrey, N.L.

Determinar la eficiencia de aplicación del macro sector del Valle en Monterrey, N.L.

Determinar la eficiencia de requerimiento del macro sector del valle en Monterrey, N.L.

Construir una malla topográfica del macro sector.

Construir una malla de presiones georeferenciada con el comportamiento de la válvula principal.

Evaluar físicamente si la distribución de los datos evaluados en este caso las presiones en los puntos más críticos son generalmente por su topografía, lo cual la malla topográfica debe de ensamblar inversamente en la malla de presiones.

Evaluar la desviación media standard de los datos contra el testigo que en este caso es la hipótesis de cumplimiento de la demanda el gasto generado en una presión de $1.5 \text{ kgs} / \text{cm}^2$ en cualquier punto a cualquier hora del día.

6 Hipótesis

Dado el gran desnivel que presentan los lotes en la ciudad de Monterrey es imposible tener una eficiencia de aplicación mayor o igual que el 85%.

Aunque se le cumpla con una eficiencia de requerimiento del 100% el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen tendría valores del 70-75%, y esto es generado a que no existen accesorios de control de presión al interior de los lotes provocando una desuniformidad en los datos de evaluación muy variados.

7 Marco Teórico

La red de distribución es la parte de un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable integrada por la(s) tubería(s) de alimentación, circuitos, líneas abiertas y accesorios, instalados en las vialidades de las localidades, por medio de la cual se lleva el agua hasta las tomas domiciliarias para su entrega a los usuarios. Su correcto funcionamiento depende de un diseño adecuado, de una selección cuidadosa de los materiales por utilizar, de mano de obra calificada para su instalación, de la observancia estricta de las especificaciones de construcción, de la correcta supervisión de la ejecución de la obra y de una operación y conservación eficiente. (Diario Oficial, 2002)

La falta de atención a los aspectos ya mencionados, origina la no hermeticidad de las redes de distribución, lo que puede ocasionar fugas y la incorporación de otros fluidos al interior de las tuberías de distribución de agua potable, como son: hidrocarburos, aceites, grasas y aguas residuales, entre otros, lo que provoca la contaminación del agua que se distribuye a los usuarios del servicio.

Un aspecto que impacta en forma considerable en el volumen de fugas que se presentan en la red, es la falta de una operación y mantenimiento acordes con las características del sistema.

Por lo anterior, una de las principales características que deben cumplir las redes de distribución de agua potable, con objeto de evitar los riesgos antes citados y preservar el recurso, así como su calidad, es que sean herméticas.

Los estudios de evaluación de pérdidas en las redes de distribución de sistemas de agua potable, realizados por la Comisión Nacional del Agua (CNA), han demostrado que para eliminar las fugas, es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

La obra se debe realizar bajo un proyecto ejecutivo aprobado por la entidad local responsable de la ejecución de la obra y por el organismo operador responsable de la prestación del servicio.

Se debe contar con personal calificado en la instalación de los elementos que constituyen la red de distribución.

La supervisión y dirección de la obra se debe realizar con personal calificado.

La operación y mantenimiento de la red de distribución se debe efectuar acorde con las características y necesidades del sistema, así como con personal calificado.

7.1 Normas en el agua potable

NOM-002-CNA-1995, Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable-Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-C-012-1994-SCFI, Fibrocemento-Tuberías a presión-Especificaciones.

NMX-C-041-ONNCCE-1999, Industria de la construcción-Fibrocemento-Tubos-Determinación de la estanquidad-Métodos de prueba. (Cancela a la NMX-C-041-1983).

NMX-E-018-SCFI-2002, Industria del plástico-Tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) . para la conducción de agua a presión-Especificaciones. (Cancela a la NMX-E-018-1996-SCFI).

NMX-E-143/1-SCFI-2002, Industria del plástico-Tubos de poli(cloruro de vinilo) (PVC) sin plastificante para el abastecimiento de agua a presión-Serie métrica-Especificaciones. (Cancela a la NMX-E-143/1-1998-SCFI).

NMX-E-144-1991, Industria del plástico-Tubos de polietileno (PE) para conducción de líquidos a presión-Serie métrica-Especificaciones.

NMX-E-145/1-SCFI-2002, Industria del plástico-Tubos de poli(cloruro de vinilo) (PVC) sin plastificante para el abastecimiento de agua a presión-Serie Inglesa-Especificaciones. (Cancela a la NMX-E-145/1-1998-SCFI).

NMX-E-146-SCFI-2002, Industria del plástico-Tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) para toma domiciliaria de agua-Especificaciones (Cancela a la NMX-E-146-1998-SCFI).

NMX-E-223-1999-SCFI, Industria del plástico-Tubos y conexiones-Conexiones hidráulicas de poli (cloruro de vinilo) (PVC) sin plastificante, con unión espiga-campana- Serie Inglesa-Especificaciones.

NMX-E-231-SCFI-1999, Industria del plástico-Tubos y conexiones-Conexiones de poli (cloruro de vinilo) (PVC) sin plastificante, para el abastecimiento de agua a presión con unión espiga-campana-Serie métrica-Especificaciones.

NMX-T-021-SCFI-2002, Industria Hulera-Anillos de hule empleado como empaque en los sistemas de tubería-Especificaciones.

Norma oficial mexicana nom-013-cna-2000, redes de distribución de agua potable-especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba. (Diario Oficial, 2002)

7.2 Conceptos

7.2.1 Agua potable:

El agua potable es el agua apta para consumo humano, es decir, el agua que puede beberse directamente o usarse para lavar y/o preparar alimentos sin riesgo alguno para la salud. (NOM-127-SSA1-1994).

7.2.2 Presión:

La presión es una magnitud que mide el efecto deformador o capacidad de penetración de una fuerza y se define como la fuerza ejercida por unidad de superficie. Se expresa como:

$$P=F/S$$

Ec. 1. Presión

Su unidad de medida en el sistema inglés (S.I.) es el N/m^2 , que se conoce como Pascal (Pa). Un pascal es la presión que ejerce una fuerza de un newton sobre una superficie de un metro cuadrado. (Guerra, 2019)

Tabla 3
Conversión de presiones.

De	a	atmósfer	Kg/cm²	Ib/in²	mm de Hg	In de hg	M de	Ft de
							Agua	agua
Atmósfera		1.000	1.033	14.696	760.000	29.92	10.	33.899
						1	330	
Kg/cm²		0.968	1.000	14.220	735.560	28.97	10.	32.810
						0	000	
Ib/in²		0.068	0.070	1.000	51.816	2.036	0.7	2.307
							10	
Mm de Hg		0.001	0.001	0.019	1.000	0.039	0.0	0.044
							13	
In de Hg		0.033	0.035	0.491	25.400	1.000	0.3	1.133
							45	
M de agua		0.096	0.100	1.422	73.560	2.896	1.0	3.281
							00	
Ft de agua		0.029	0.030	0.433	22.430	0.883	0.3	1.000
							04	

Fuente: Elaboración propia.

7.2.3 Medición:

La medición se refiere a la comparación que existe entre una determinada cantidad y otra, para dar a conocer si la masa o conjunto que se pretende medir da cabida en esa magnitud. Se puede

decir que, hacer una medición se basa en determinar o precisar qué magnitud hay entre la dimensión o volumen de un cuerpo o elemento y una unidad de medida. Para que esto suceda tiene que haber una igualdad de magnitud entre el tamaño de lo que se mide y el patrón escogido, tomando como punto de referencia un objeto y una unidad de medida ya establecida. (Adrian Yirda, 2021).

7.2.4 Telemetría:

La telemetría es una tecnología que permite la medición y control remoto de variables físicas o químicas a través de datos que son transferidos a una central de control.

El envío de información hacia el operador en un sistema de telemetría se realiza normalmente mediante comunicación inalámbrica, aunque también se puede realizar por otros medios (teléfono, redes de computadoras, enlace de fibra óptica, etc.). Los sistemas de telemetría reciben las instrucciones y los datos necesarios para operar desde un Centro de Control o desde una plataforma de visualización en internet.

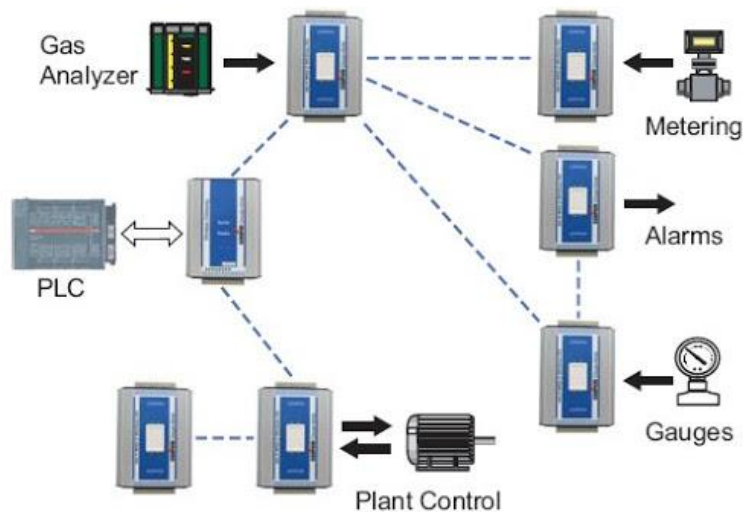


Figura 14. Telemetría (Instru*tech)

7.3 La eficiencia:

El termino eficiencia es comúnmente usado por los ingenieros para expresar la razón de la potencia de salida a la potencia de entrada de un mecanismo. Una alta eficiencia (cerca de uno) indica que existe muy poca potencia perdida dentro de la máquina. Conceptos similares son utilizados en la evaluación de los sistemas de agua potable, sin embargo, las cantidades de entrada y salidas del sistema son cantidades de agua en lugar de cantidad de potencia. Las eficiencias son definidas de tal manera que un sistema bien diseñado y operado tendrá una alta eficiencia.

Los parámetros que definen la eficiencia de un sistema de agua potable están en función de la distribución del agua. La distribución esta primordialmente en función de factores de diseño, operación y climatológicos. (García Casillas y Briones Sánchez, 1986).

7.3.1 Determinación de la curva de distribución:

Considere un sector dividido en varias partes iguales. Con un sistema de agua potable esto podría haber sido hecho colocando manómetros o medidores de gasto en algunos puntos representativos (puntos críticos). Por ejemplo la presión del agua registrada por cada punto con sus respectivas coordenadas, habrá algún número menor como permisible (menor o igual a cero), se gráfica y nos da como resultado el comportamiento hidráulico en el área seleccionada. (García Casillas y Briones Sánchez, 1986).

7.3.2 Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC):

Es el cálculo de un conjunto de datos, porcentaje de uniformidad de la variable de estudio.

Fue desarrollado por Christiansen (1942). Primero en aplicar el concepto de medir la uniformidad de la distribución del agua en un sistema. Ese concepto de uniformidad es comúnmente llamado el coeficiente de uniformidad de Christiansen.

Este coeficiente es ampliamente usado, y un CUC igual o mayor que 0.7 es considerado aceptable en la práctica del diseño del sistema. A continuación, se presenta la ecuación para calcular el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen. (Casillas, 2015)

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N\bar{x}}\right) \times 100$$

Donde:

CUC = Coeficiente de uniformidad de Christiansen

X_i = Cada uno de las observaciones desde $i=1$ hasta N

\bar{X} = Promedio de las observaciones

N = Número de observaciones

Ec. 2. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen.

Si se grafica de mayor a menor los datos de estudio de una zona de estudio referenciado contra la demanda se generan 3 zonas, donde la zona I es la variable aprovechada, zona II es la falta o ausencia de la variable y la zona III es el excedente de la variable.

7.3.3 Eficiencia de aplicación:

Es la relación que existe entre el agua entregada a los usuarios, ósea la zona I sobre el agua total aplicada zona I+III. (Casillas, 2015)

$$Ea = \left(\frac{\text{zona I}}{(\text{zona I} + \text{zona III})} \right) * 100$$

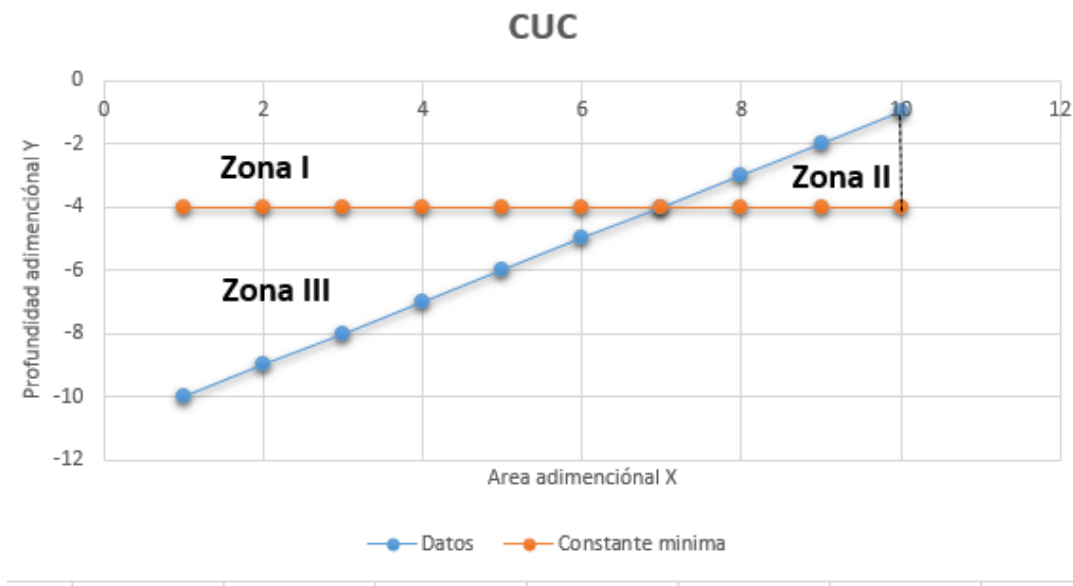
Ec. 3. Eficiencia de aplicación.

7.3.4 Eficiencia de requerimiento:

Es la relación que existe entre el agua entregada a los usuarios, ósea la zona I sobre el agua requerida en el sector I+II.

$$Er = \left(\frac{\text{zona I}}{(\text{zona I} + \text{zona II})} \right) * 100$$

Ec. 4. Eficiencia de requerimiento



Gráfica 1. Curva de distribución (Elaboración propia)

7.4 Línea de conducción:

Dentro de un sistema de abastecimiento de agua potable se llama línea de conducción, al conjunto integrado por tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el

transporte del agua desde una sola fuente de abastecimiento, hasta un solo sitio donde será distribuida en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión. (Hernández, 2014)

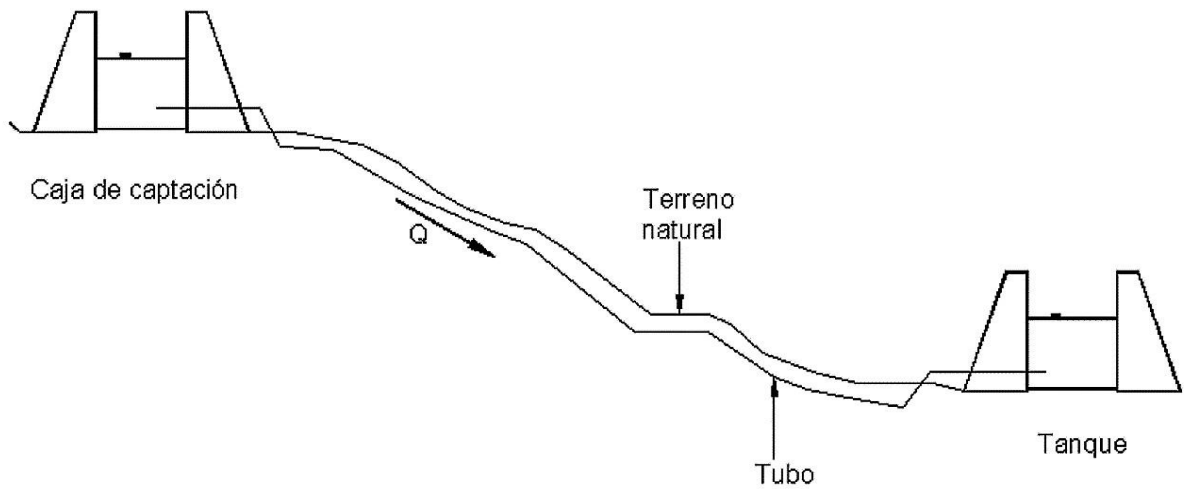


Figura 15. Línea de conducción (Aguirre, 2015)

7.5 Red de distribución:

Parte de la red de abastecimiento de agua, que incluye a las conducciones, los depósitos, las estaciones de bombeo y otros equipos, por los cuales el agua se suministra a los consumidores. (Hernández, 2014)

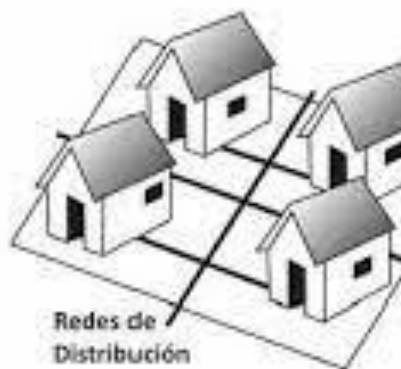


Figura 16. Red de distribución (Hernández, 2014)

7.6 Estación de bombeo:

Es la obra electromecánica, hidráulica y civil, construida por una subestación eléctrica, cárcamo de bombeo, rejillas, bombas, equipo eléctrico, tuberías, válvulas y accesorios requeridos para la operación; que proporciona las condiciones energéticas de diseño para que la conducción transporte adecuadamente el agua, de un nivel topográfico generalmente menor en la fuente a un mayor del sitio de distribución. (Esparza, 2017)

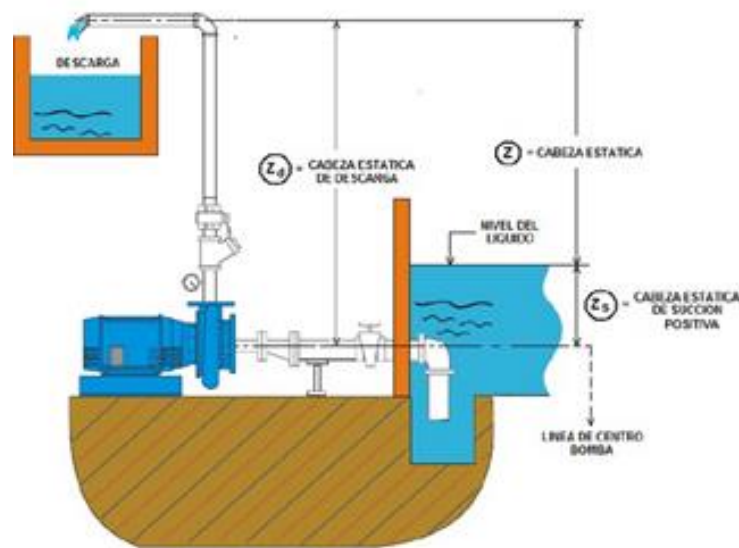


Figura 17. Estación de bombeo (Páez, 2012)

7.7 Tren de piezas especiales:

Es el conjunto formado por válvulas, carretes, tes y demás accesorios, ubicados según el diseño de la conducción. Este conjunto permite conectar adecuadamente los equipos de bombeo con la tubería, ofreciendo a los mismos control y protección.

7.7.1 Tuberías:

Pueden ser de varios materiales, entre ellos: fibrocemento, acero, policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad, hierro dúctil, hierro galvanizado y muchos más. La principal función

de las tuberías en un sistema de abastecimiento es servir de conducto por donde se transporte el agua de un lugar a otro.

Las tuberías de acero inoxidable son las que tienen mayor resistencia entre los materiales férricos, son más resistentes a la corrosión pero tienen un mayor costo, estas tuberías pueden limpiarse y desinfectarse fácilmente cuando sea necesario.

Las tuberías de cobre son de gran aplicación estas requieren ser soldadas entre sí con un soplete o soldadura, pueden ser rígidas o flexibles, el cobre es un material muy suave que puede ser cortado y fabricado fácilmente.

Las tuberías de PVC son resistentes a productos corrosivos, estas pueden ser unidas fácilmente con adhesivos especiales, dependiendo de su anchura, estas tuberías pueden ser utilizadas para el transporte de gases o líquidos de forma segura, el PVC se limita a transportar líquidos a temperaturas menores de 60 grados centígrados, haciendo al PVC inadecuado para el transporte de agua caliente. Estas son de gran uso para las obras de conducción en sistemas de abastecimiento de agua.

7.7.2 Válvulas:

Son dispositivos que permiten el control del flujo en la conducción, atendiendo a situaciones de: corte y control de flujo, acumulación de aire, por llenado y vacío de la conducción, depresiones y sobrepresiones generadas por fenómenos transitorios, y retroceso del agua por paro del equipo de bombeo, entre otras.

7.7.3 Dispositivos de control de transitorios:

Estructuras diseñadas para controlar depresiones, sobrepresiones, burbujas de aire y demás perturbaciones en la conducción, ocasionadas por fenómenos transitorios. (Hernández, 2014)

7.8 Carga hidráulica disponible:

Es la energía en metros de columna de agua que poseen los sistemas, al encontrarse la fuente de abastecimiento a un nivel superior respecto de un sitio sobre el trazo de la conducción en dirección al área de distribución.

7.9 Flujo estacionario:

También llamado “flujo permanente” o “flujo establecido”, se caracteriza por la presencia de un gasto constante en el tiempo.

7.10 Sobrepresión y depresión:

Son las cargas de presión en exceso y por debajo de la presión a flujo estacionario respectivamente, que existen después de presentarse los fenómenos transitorios. (Esparza, 2017)

7.11 Clasificación de las conducciones:

7.11.1 Línea de conducción:

7.11.2 Tipo de entrega:

Las conducciones deberán entregar el agua a un tanque de regulación, como se indica en la figura 18, y así facilitar el procedimiento de diseño hidráulico de los sistemas de agua potable, tener un mejor control en la operación de los mismos, y asegurar un funcionamiento adecuado del equipo de bombeo.

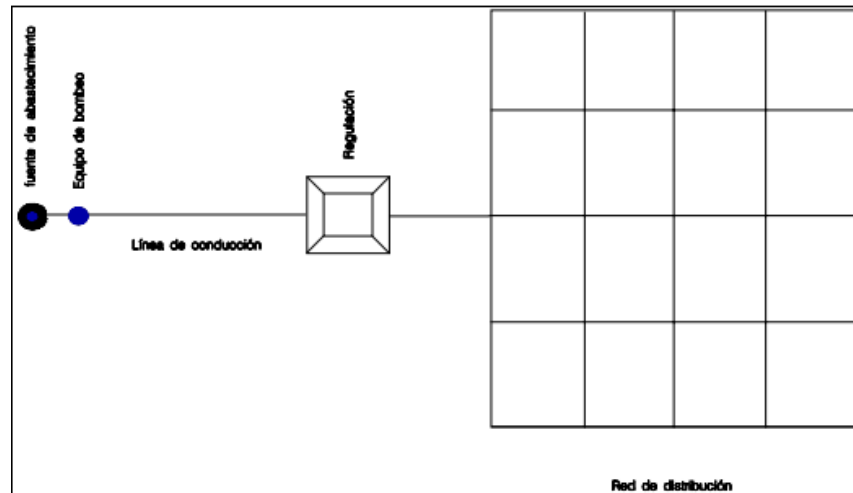


Figura 18. Línea de conducción con entrega del agua a un tanque de regulación.

7.11.3 Conducción por bombeo:

La conducción por bombeo es necesaria cuando se requiere adicionar energía para obtener la carga dinámica asociada con el gasto de diseño. Este tipo de conducción se usa generalmente cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es menor a la altura piezométrica requerida en el punto de entrega. El equipo de bombeo proporciona la energía necesaria para lograr el transporte del agua.

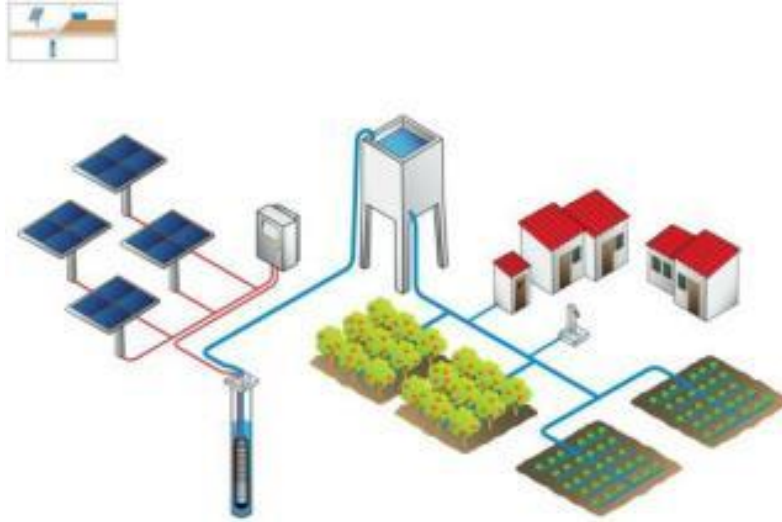


Figura 19. Sistema de abastecimiento con bombeo.

7.11.4 Conducción por gravedad:

Una conducción por gravedad se presenta cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es mayor a la altura piezométrica requerida o existente en el punto de entrega del agua, el transporte del fluido se logra por la diferencia de energías disponible.

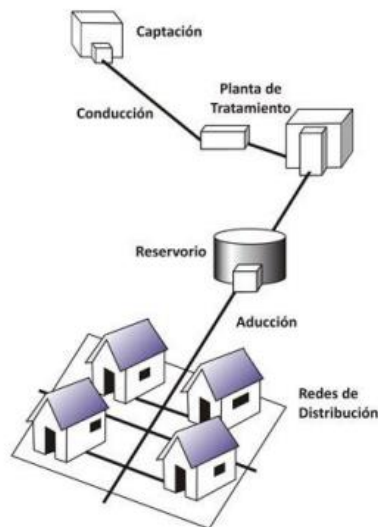


Figura 20. Sistema de abastecimiento por gravedad. (Guía de orientación de saneamiento básico para Alcaldías de Municipios Rurales y pequeñas comunidades, Perú, 2010)

7.11.5 Conducción por bombeo-gravedad:

Si la topografía del terreno obliga al trazo de la construcción a cruzar por partes más altas que la elevación de la superficie del agua en el tanque de regulación, conviene analizar la colaboración de un tanque intermedio en ese lugar. La instalación de este tanque ocasiona que se forme una conducción por bombeo-gravedad, donde la primera parte es por bombeo y la segunda por gravedad.

7.11.6 Red de conducción:

Algunos lugares requieren de fuentes alternas de abastecimiento de agua y que dichas fuentes se encuentren en sitios separados y esto genera la necesidad de interconectar las líneas de conducción de cada fuente, formando así una red de conducción. Al unificar estas líneas en una sola se puede reducir los costos de las mismas, sin embargo, su operación será más compleja y se deberá revisar que su funcionamiento hidráulico sea el adecuado. Las derivaciones de una conducción hacia dos o más tanques de reserva también forman redes de distribución.

También se puede decir que una red de distribución es un conjunto de tuberías cuya función es suministrar el agua potable a los consumidores de la localidad en condiciones de cantidad y calidad aceptables.

Una unión entre un tanque de almacenamiento y la red de distribución se hace mediante una conducción denominada línea matriz. Generalmente la línea matriz es una conducción a presión por gravedad. (CNA, Manual de Agua Potable, 2020)

7.12 Piezas especiales:

Son elementos de unión entre los componentes de una conducción de agua, se utilizan para efectuar intersecciones de conductos, variación de diámetros, cambios de dirección, conexiones de válvulas y equipos de bombeo, etc. Este grupo es constituido por juntas, carretes, extremidades, tes, cruces y reducciones, entre otros.

7.12.1 Juntas:

Las juntas se utilizan para unir dos tuberías; las de metal pueden ser de varios tipos, por ejemplo, Gibault, Dresser, etc.



Figura 21. Junta dresser. (Catalogo Gocra, 2020).

7.12.2 Carretes:

Los carretes son tubos de pequeña longitud provistos de bridas en los extremos para su unión. Se fabrican de fierro fundido y acero con longitudes de 25,50 y 75 cm.

7.12.3 Extremidades:

Las extremidades son tubos de pequeña longitud que se colocan sobre alguna descarga por medio de una brida en uno de sus extremos. Se fabrican en longitudes de 40, 50 y 75 cm. Para materiales de PVC, las extremidades pueden ser campana o espiga.

7.12.4 Tees:

Las tees se utilizan para unir tres conductos, donde las tres uniones pueden ser del mismo diámetro, o dos de igual diámetro y uno menor. En el segundo caso se llama te reducción.



Figura 22. Tee (Catalogo Gocra, 2020).

7.12.5 Cruces:

Las cruces se utilizan para unir cuatro conductos, donde las cuatro uniones pueden ser del mismo diámetro, o dos mayores de igual diámetro y dos menores de igual diámetro.



Figura 23. Cruces (Catalogo Gocra, 2020).

7.12.6 Codos:

Los codos tienen la función de unir dos conductos del mismo diámetro en un cambio de dirección ya sea horizontal o vertical. Los codos pueden tener deflexiones de 22.5, 45 y 90 grados.



Figura 24. Codo de 45° (Catalogo Gocra, 2020)

7.12.7 Reducciones:

Las reducciones se emplean para unir dos tubos de diferente diámetro.



Figura 25. Reducción campana (Catalogo Gocra, 2020)

7.12.8 Coples:

Los coples son pequeños tramos de tubo de PVC o de fibrocemento que se utilizan para unir las espigas de dos conductos del mismo diámetro. (Hernández, 2014)



Figura 26. Cople. (Catalogo Gocra, 2020)

7.13 Válvulas:

7.13.1 Válvula eliminadora de aire:

La válvula eliminadora de aire cumple la función de expulsar el aire de la tubería que continuamente se acumulan en las partes del perfil de la conducción, cuando ésta se encuentra en operación.

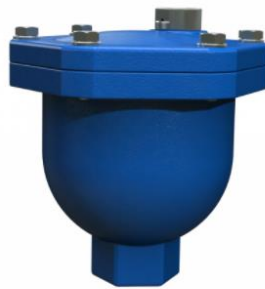


Figura 27. Válvula eliminadora de aire (Catalogo Bermad, 2020)

7.13.2 Válvula de admisión y expulsión de aire:

La válvula de admisión y expulsión de aire se utiliza para expulsar el aire que contiene la tubería al momento de iniciar el llenado del conducto. Una vez que el agua ejerce presión sobre el flotado de la válvula, ésta se cierra y no se abre mientras exista presión en el conducto.

Otra función de esta válvula es permitir la entrada de aire dentro del tubo al momento de iniciar el vaciado de la tubería, y con ello evitar que se presenten presiones negativas.



Figura 28. Válvula de admisión y expulsión de aire (Catalogo Bermad, 2020)

7.13.3 Válvula de no retorno:

La válvula de no retorno tiene la función de evitar la circulación del flujo en el sentido contrario al definido en el diseño.



Figura 29. Válvula de no retorno. (Catalogo Jinsa, 2019)

7.13.4 Válvula de seccionamiento:

La válvula de seccionamiento se utiliza para controlar el flujo dentro del tubo, ya sea para impedir el paso del agua o reducir el gasto a un valor requerido.



Figura 30. Válvula de seccionamiento (Catalogo Tianjin, 2019)

7.13.5 Válvula aliviadora de presión:

La válvula aliviadora de presión se coloca en la tubería para disminuir las sobrepresiones causadas por un fenómeno transitorio.

Es un dispositivo que puede activarse en forma mecánica mediante un resorte calibrado o en forma eléctrica empleando un solenoide para abrir una compuerta cuando la presión sobrepasa un valor determinado.

Se recomienda colocar este tipo de elemento, en conducciones con diámetros pequeños; sin embargo, las presiones negativas tendrán que resolverse con algún otro dispositivo.



Figura 31. Válvula reguladora de presión (Catalogo Bermad, 2020)

7.13.6 Válvulas, uso y ubicación:

Cada vez que la conducción se pone en funcionamiento, es necesario expulsar el aire de la tubería para permitir que el tubo pueda llenarse de agua; en ocasiones esto no es necesario, ya que el perfil puede ser tal que la tubería puede mantenerse llena.

Cuando la conducción se encuentra fuera de funcionamiento y que ésta requiere desaguarse, por ejemplo, para realizar alguna reparación de la tubería, es necesario abrir las válvulas de desagüe colocadas en los puntos bajos de la tubería, y en los puntos altos es preciso admitir aire a la tubería.

Para que se logre el llenado y el vaciado de la tubería, se colocan válvulas de admisión y expulsión de aire, las cuales hacen la doble función, expulsar el aire cuando la tubería se está llenando, o admitir aire a la tubería cuando ésta se está vaciando.

Cuando la conducción se encuentra en funcionamiento, en las partes altas de la conducción tiende a acumularse el aire que viene disuelto en el agua. Se estima que el agua que se transporta en los tubos contiene aproximadamente un 2% de aire.

Para desalojar el aire que se va acumulando por esta situación, se colocan válvulas eliminadoras de aire en los puntos altos de la conducción.

Se recomienda colocar válvulas eliminadoras de aire y válvulas de admisión y expulsión de aire en todos los puntos altos de la conducción y en los tramos largos sensiblemente planos a distancias de 400 a 800 m. Las válvulas de desagüe se colocan en los puntos bajos.



Figura 32. Valvulas Bermad (Catalogo Gocra, 2020)

7.14 Válvula reguladora de presión Bermad:

La válvula reductora de presión de BERMAD es una válvula de control de operación hidráulica accionada por diafragma, que reduce la presión alta aguas arriba a una presión menor y constante aguas abajo, sin que le afecten las fluctuaciones en la demanda o en la presión aguas arriba.

7.14.1 Características:

Control hidráulico de presiones.

-Accionada por la presión en la línea.

-Protege a las instalaciones de aguas abajo.

Válvula de plástico con diseño de grado industrial.

-Adaptable en el terreno a una amplia variedad de conexiones de distintos tipos y tamaños.

-La conexión de brida articulada elimina las dos formas de estrés: mecánico e hidráulico.

-Altamente duradera y resistente a las sustancias químicas y a la cavitación.

Cuerpo hYflow en forma de 'Y' con pasaje sin interferencias.

-Capacidad de flujo ultra-elevada – Baja pérdida de carga.

Diafragma de tipo Flexible Super Travel (FST) y cierre positivo guiado.

-Regulación precisa y estable con cierre suave.

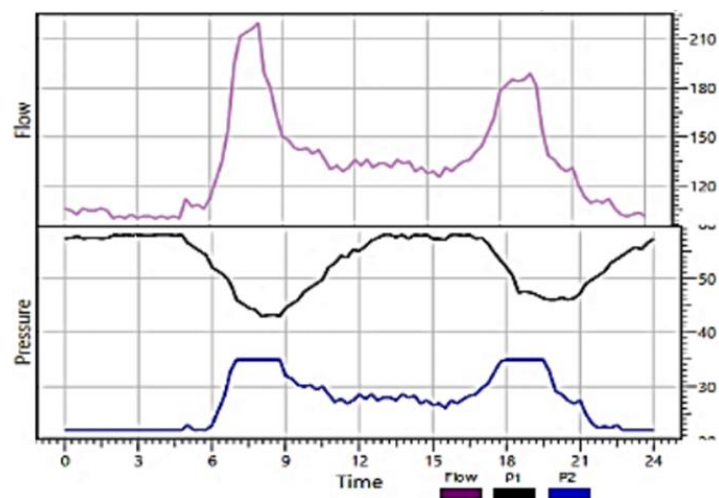
-Baja presión de accionamiento.

-Previene la erosión y distorsión del diafragma.

Diseño cómodo para el usuario.

-La presión se ajusta con facilidad.

-Inspección y mantenimiento en línea con facilidad.



Grafica 2. Datos registrados en válvula reguladora de presión (Bermad)

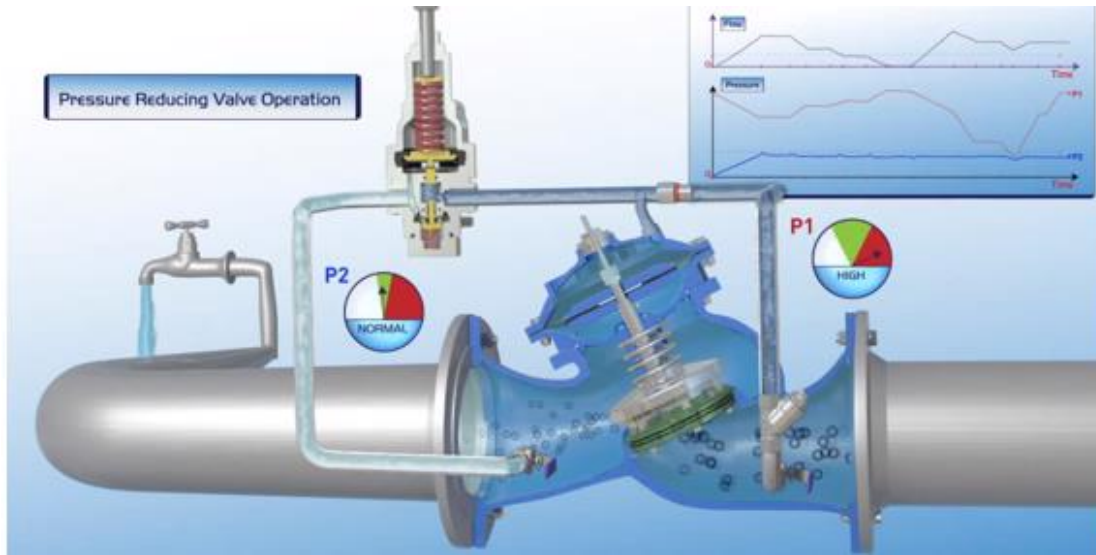


Figura 33. Operación-válvula reguladora de presión (Bernad Water Technologies, 2015).

7.15 Ecuación de Bernoulli:

7.15.1 Aplicaciones de Bernoulli:

Ecuación de Bernoulli. El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. (Sotelo Avila) La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

Cinética: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.

Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea.

Energía de flujo: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

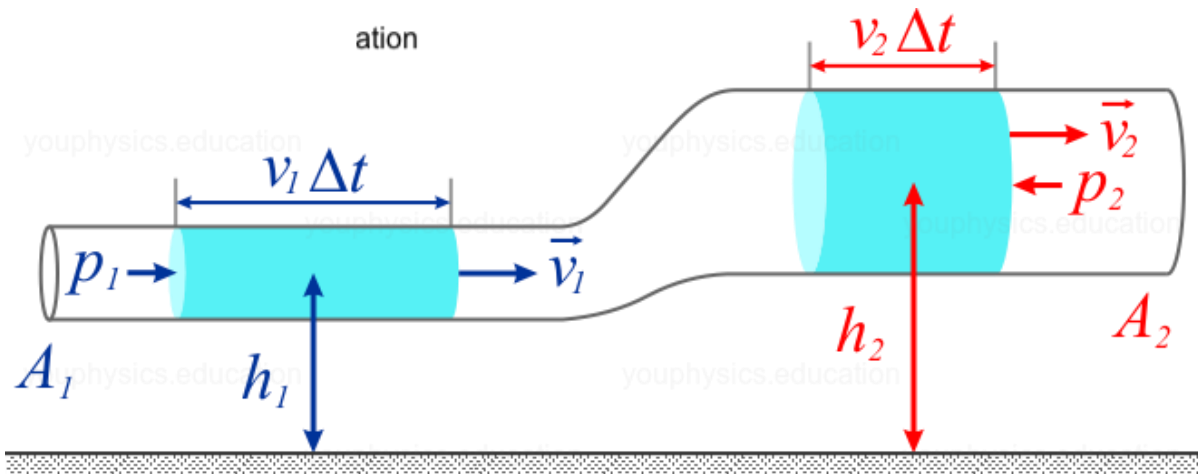


Figura 34. Explicación de comportamiento de un fluido. (Bernoulli, 1752)

7.16 Pérdidas de energía por fricción en la conducción:

7.16.1 Densidad en el flujo:

La densidad es una relación entre masa y volumen, tal densidad puede disminuir o incrementar conforme a la temperatura y presión también puedan variar, estas variaciones no son significativas más si depende de la presión, ya que si es grande puede generarse una densidad ligeramente notoria. Su unidad viene a ser (kg/m³).

7.16.2 Viscosidad:

Es importante analizar esta dimensión ya que posee gran jerarquía La viscosidad es la dificultad de fluir dentro de algún recipiente, tubería o depósito. La viscosidad la menor o mayor atracción que hay entre sus moléculas, la temperatura también es un punto importante para una mayor o menor viscosidad, deduciendo a continuación la relación entre estos componentes

Menor viscosidad: Mayor temperatura y menor cohesión molecular.

Mayor viscosidad: Menor temperatura y mayor cohesión molecular.

En los fluidos de agua potable que recorren en las tuberías existen casos en donde hay ingresos de sedimentos pequeños que pueden obstaculizar el flujo del agua dentro de la red de tal forma incrementa su viscosidad.

7.16.3 Diámetro de la tubería D:

Para el diámetro de una tubería se considera la dimensión adecuada considerando requerimientos como: resistencia mecánica, pérdidas de carga y el presupuesto.

Para calcular las pérdidas de energía por fricción en la conducción, entre otras ecuaciones, existen las de Darcy-Weisbach, Hazen - Williams, y Manning, de las cuales se recomienda utilizar la primera, por su carácter general y mejor modelación del fenómeno.

7.16.4 Ecuación de Darcy-Weisbach:

La ecuación de Darcy-Weisbach se expresa:

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

Ec. 5. Darcy-Weisbach

Donde f es un coeficiente de pérdidas. L y D son la longitud y el diámetro interior del tubo, V es la velocidad media del flujo y hf es la pérdida de energía por fricción.

El flujo en régimen turbulento es el caso que normalmente se presenta en los conductos de sistemas de agua potable. En este régimen de flujo, f depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa ε/D ; sus valores se obtienen aplicando la siguiente ecuación de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left\{ \frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right\}$$

Ec. 6. Colebrook-White

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

Ec. 7. Reynolds

Donde:

ε es la rugosidad absoluta de la pared interior del tubo en mm, y ν es la viscosidad cinemática del fluido en m²/s.

7.16.5 Pérdidas locales:

Las pérdidas locales de energía se generan en distancias relativamente cortas, por accesorios de la conducción tales como codos, tes, cruces, válvulas, etc.

Para calcular las pérdidas locales de energía se utiliza la expresión general

$$h = k * \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Ec. 8. Pérdidas locales.

Donde k es un coeficiente de pérdida que depende del tipo de accesorio que lo genera, g es la gravedad terrestre y v es la velocidad media del flujo, por lo general aguas abajo del dispositivo, exceptuando el caso de la llegada del flujo de una tubería a un depósito; en cuyo caso v es la velocidad en el tubo. (Guerra, 2019)

Tabla 4
Valores de k para la ecuación 4.

Codos	K1	Koc
90° roscable	800	0,40
90° soldable	800	0,25
90° radio largo	800	0,20
90° sector 45°	1000	1,15
90° sector 22,5°	800	0,35
90° sector 15°	800	0,30
90° sector 11,25°	800	0,27
90° sector 9°	800	0,25
45° roscable	500	0,20
45° radio largo	500	0,15
45° sector 22,5°	500	0,25
45° sector 11,25°	500	0,15
180° roscable	1000	0,60
180° soldable	1000	0,35
180° radio largo	1000	0,30

Fuente: Vega Peña, 2007.

7.17 Sistema de curvas de carga:

I. Martín, R. Salcedo, R. Font

Este análisis es necesario para conocer el punto en el cual trabaja una bomba y se hace para saber si la bomba propuesta funcionará adecuadamente.

Partiendo de la ecuación $HB = HET + hf + hl$ (locales); la cual nos dice que la carga de la bomba es igual a la carga estática total, más las cargas de fricción y las cargas por pérdidas locales.

Tanto hf como la hl ; varían aproximadamente con el cuadrado de la velocidad del líquido en las tuberías y por lo tanto también con el cuadrado del gasto, quedando la ecuación anterior de la siguiente manera:

$HB = HET + CQ^2$, donde la constante (c), está en función del diámetro, longitud del tubo y el número y tipo de accesorios que lo integran. Esta última ecuación graficada en un sistema de coordenadas H contra Q, nos quedaría como la siguiente gráfica:

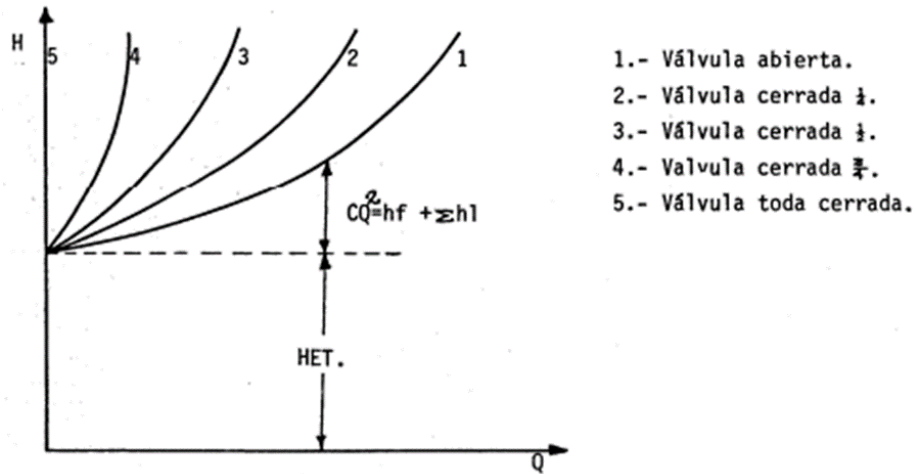


Figura 35. Sistema de curvas de carga. (I. Martín, R. Salcedo, R. Font).

7.18 Consideraciones técnicas:

7.18.1 Topografía y cruzamientos:

Para llevar a cabo el proyecto de una conducción resulta útil apoyarse sobre herramientas que puedan definir la georeferencia de un punto, AutoCad, Arcgis, Surfer y cartas topográficas del INEGI para estudiar los posibles trazos.

Sobre el trazo de la conducción, será necesario obtener un levantamiento topográfico en planimetría y altimetría, marcando las elevaciones del terreno natural a cada 20 metros, en los puntos donde existen cambios importantes de la pendiente del terreno y, en los puntos donde cambia el trazo horizontal de la conducción.

Es importante localizar sobre el trazo los cruces importantes de la conducción, tales como ríos, arroyos, canales, carreteras, y vías del ferrocarril.

El proyecto ejecutivo de la conducción se presenta en planta y en perfil. En el perfil se dibuja la línea de energías a flujo establecido y además las envolventes de energías máximas y mínimas para el flujo transitorio.

7.19 Línea piezométrica:

La "línea de energía" es la formada por la suma en cada punto de las tres alturas debidas a la energía cinética, a la presión y a la energía potencial.

La "línea piezométrica" ZZ' es la resultante de sumar en cada punto las alturas h_1 y H , y se corresponde con el lugar geométrico de los niveles de agua de los tubos piezométricos conectados a la tubería.

La diferencia X de altura entre la línea de energía y la línea horizontal representa la pérdida de carga por rozamiento entre los puntos A y B.

La suma $(H + h_1 + h_2 + X)$ en cada punto dará lugar a una "línea horizontal" de acuerdo con el teorema de Bernoulli. (Bernoulli, 1738)

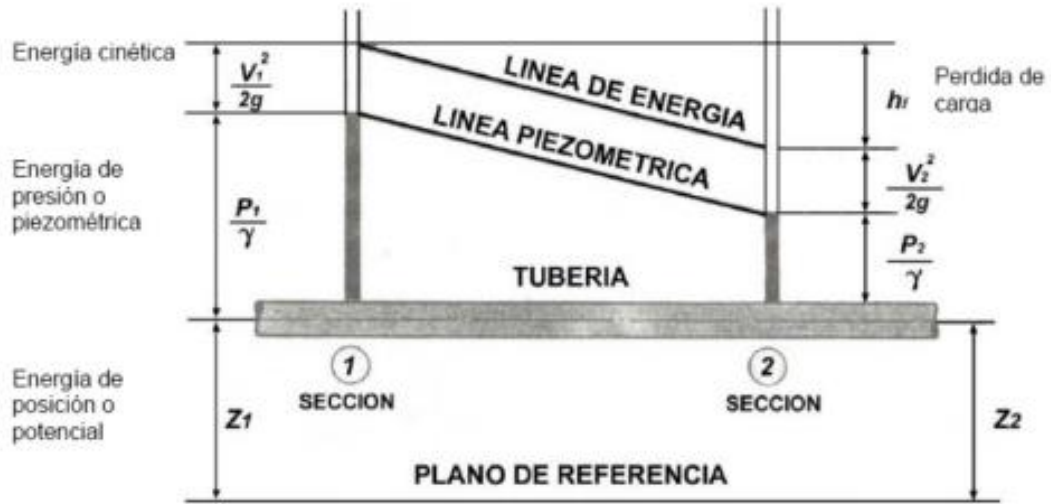


Figura 36. Líneas piezométricas (Bernoulli, 1738)

8 Métodos y Materiales

8.1 Localización Del Proyecto

El proyecto de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México en el macro sector del Valle.

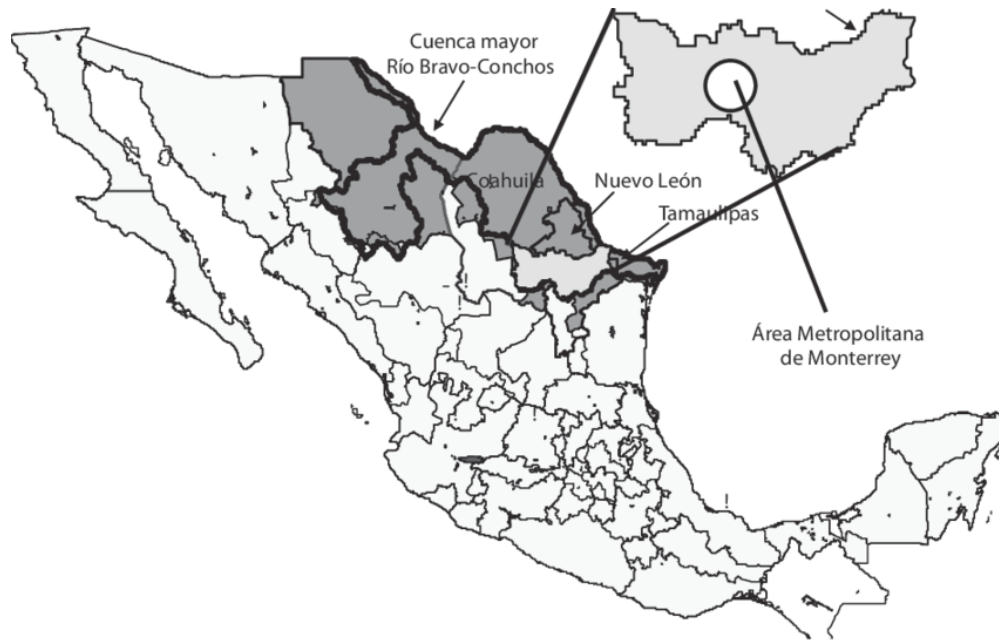


Figura 37. Localización del área de estudio.

La válvula que regula la presión de todo el macro sector se encuentra ubicada en Río Sena y Calzada San Pedro, Colonia Del Valle con las siguientes coordenadas UTM:

Zona 14 R

361857.73 m E

2837984.28 m N

Con una altitud de 620 metros.

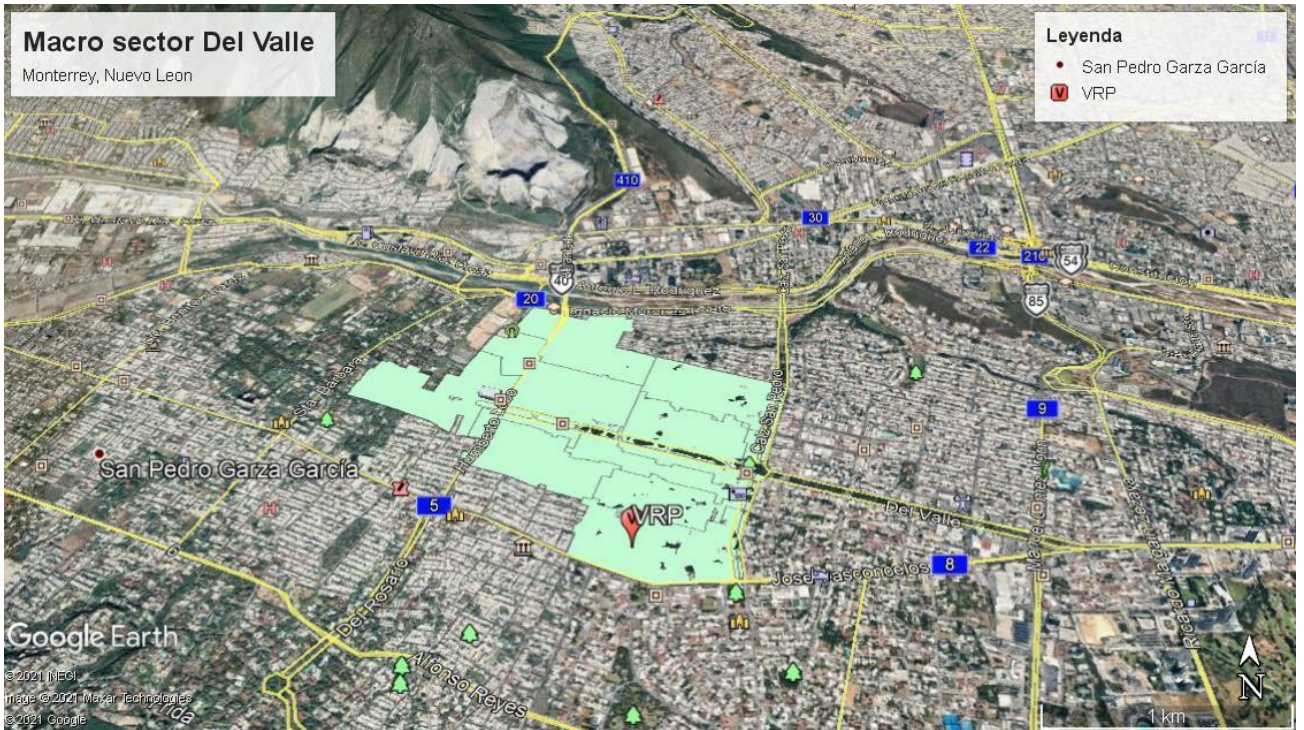


Figura 38. Vista satelital de Macro sector Del Valle indicando la ubicación exacta de la VRP.

Esta válvula reguladora de presión que pertenece al macro sector del Valle registra lo siguiente:

Diámetro de la VRP: 12”.

Gasto (Q) promedio de 59.5 lps.

Una presión mínima de 1.96 kg/cm².

Una presión máxima de 3.2 kg/cm².

Una presión de entrada de 3.34 kg/cm².

Una presión de salida de 1.96 kg/cm².

Cantidad de tomas: 2, 585.

Cantidad de medidores: 2, 500.

Numero de circuitos: 8.

8.2 Herramientas

En este proyecto de investigación se usaron los siguientes paquetes computacionales:

- Programa Arcgis.
- Programa Surfer.
- Google Earth.
- Excel.

8.3 Materiales

Llave Steelson: Colocar manómetro en las tomas domiciliarias.

Manómetro: Registro de la presión (psi) en las diferentes tomas domiciliarias.



Figura 39. Manómetro de glicerina.

Registrador Sabalog D-3: Registrar presiones y caudales por 24 hrs.



Figura 40. Registrador Sebalog D3

Registrador NEPTUNE II : Registrar presiones y caudales por 24 hrs



Figura 41. Registrador NEPTUNE II

Tabla 5
Especificaciones técnicas de registradores (SEBALOG D-3)

Technical data	
Features	
Protection class	IP 68
Temperature range	-4°F to 140°F (-20 °C to +60 °C)
Status control	LED
Weight	1.98 lb (900 gr.)
Dimensions	7.28 x 4.53 in (185 mm x 115 mm)
Power supply	
Internal lithium battery	Up to 5 years battery life (standard)
External battery (rechargeable)	Optional
External power supply via VK 76	12 V 1.5 A
Inputs (max. 4)	
Digital	4. frequency / pulse
Analogue	2.0 to 5 V / 0 to 20 mA
Relay inputs	2
Relay Outputs	2
Data entry	
Integrated pressure sensor	0 - 232.06 psi (standard), 362.59 psi & 507.36 psi (0-16 bar (standard), 25 bar & 35 bar)
Measurement interval	1 sec - 24 h
Internal memory	Up to 1.7 million readings
External memory	SebaCloud
Alarm feature	Text message, email
Communication	
SebaCloud / FTP server	SebaDataView-3 / SCADA / GIS
Data transmission	GSM / GPRS / 3D / UMTS
Internal Radio interface	913 MHz

Fuente. SEBA KMT,

8.4 Método

Se utiliza la ecuación de CUC (Coeficiente de Uniformidad de Christiansen), ya que es la metodología que más se utiliza en este sector y que estadísticamente representa la desviación media estándar de los valores promedio de las presiones.

Con esto se puede evaluar el perfil del comportamiento hidráulico a lo largo del macro sector del Valle.

Esta metodología involucra hacer una selección de puntos donde se tomaran las diferentes muestras (presiones) en las tomas domiciliarias, tomando como base una presión mínima de requerimiento.

La medición de las presiones de las tomas domiciliarias es a través de un manómetro de glicerina (psi), entre mayor sea el número de registros más preciso será este método.

Un factor muy importante en este método es seleccionar puntos críticos, estos se caracterizan por ser la cota más alta, cota más baja, cota más lejana de la válvula y cota media, en estos puntos es recomendable tener un registro de 24 hrs, de este rango de 24 horas seleccionar horario de alta demanda.

Los datos se concentraron en una base de datos donde el testigo son presiones de 1.5 kg/cm².

La evaluación de este método consiste en observar el porcentaje de variación en el macro sector del Valle con respecto a la variación de cotas y demandas.

La presión mínima requerida es un valor normativo, con esto se puede calcular estadísticamente la eficiencia de aplicación y requerimiento del macro sector del Valle.

A continuación se muestran los movimientos de esta metodología.

Selección de puntos de muestreo.

Seleccionar los puntos en base a las curvas de nivel dentro del área a estudiar (macro sector).

Registrar la toma domiciliaria con las coordenadas exactas (UTM), con su respectiva cota (m).

8.4.1 Seleccionar los puntos críticos

Punto lejano de la válvula Reguladora de Presión.

Punto cercano a la válvula Reguladora de Presión.

Punto con mayor cota.

Puntos con menor cota.

Punto medio.

8.4.2 Mecánica de la medición de los puntos de muestreo

Cerrar la llave de paso de la toma domiciliaria.

Asegurar que no esté pasando agua con el medidor.

Colocar el manómetro de glicerina en la línea con ayuda de la steelson.

Abrir la llave de paso (Cerciorarse que el manómetro no tenga fuga, ya que esto nos puede arrojar datos erróneos de la presión).

Hacer registro de la medición (psi).

Cerrar la llave de paso.

Desconectar el manómetro.

Conectar el medidor de la toma domiciliaria.

Abrir la llave de paso (cerciorarse que no quede alguna fuga en la toma domiciliaria).

Medición en puntos críticos (Registadores):

Cerrar la llave de paso de la toma domiciliaria.

Asegurar que no esté pasando agua con el medidor.

Colocar el Registrador en la línea con ayuda de la steelson.

Abrir la llave de paso (Cerciorarse que el manómetro no tenga fuga, ya que esto nos puede arrojar datos erróneos de la presión).

Colocar al registrador un cincho (asegurar el registrador en la toma domiciliaria).

Regresar en 24 hrs y pasar el registro a la base de datos.

Descarga de base de datos de la Válvula Reguladora de Presión:

Descargar la base de datos de la válvula Reguladora de Presión para registrarlo (Horarios y fechas coincidan con el registro en campo).

9 Metodología

Hipótesis del testigo: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey cumple con la demanda a los usuarios del macro sector del Valle con gasto y presión de 1.5 kg/cm² en cualquier punto a cualquier hora del día.

El proyecto inicia con la delimitación de un macro sector bien definido con coordenadas georreferenciadas utilizando el paquete de Arcgis con coordenadas UTM NAD 27.

A este polígono se le montan sus correspondientes valores de curvas a nivel las cuales se encuentran disponibles en la carta topográfica de Monterrey en el sitio web de INEGI, y en la construcción de una data base se genera una malla en el paquete Surfer de su estructura topográfica.

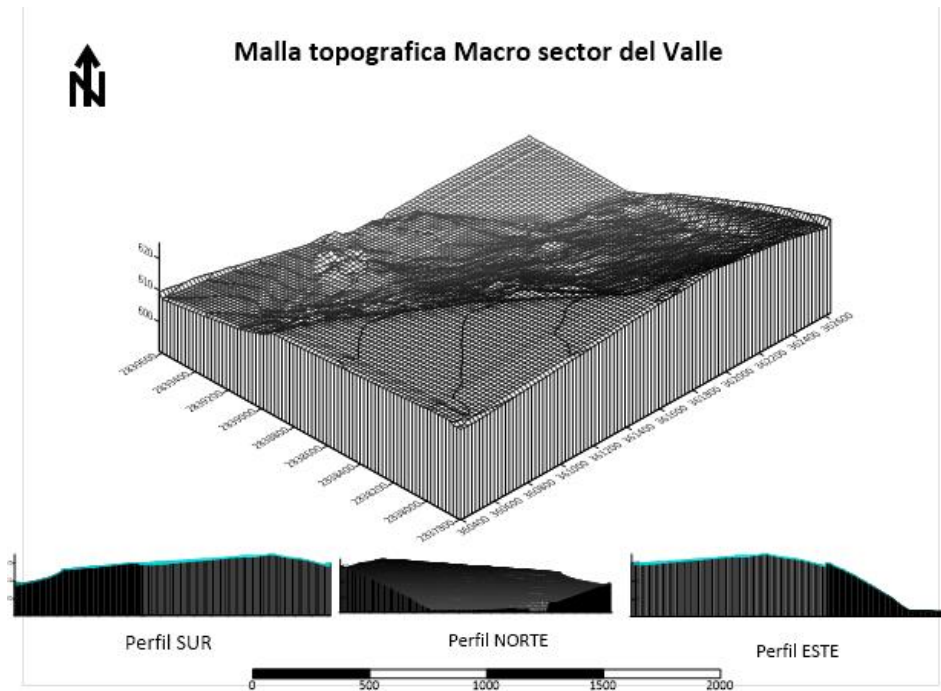


Figura 42. Malla topográfica de macro sector del Valle. (Elaboración propia)

Al observar los puntos críticos (más elevados, más bajos y más distantes de la válvula reguladora de presión) se seleccionan 31 puntos para la medición, los cuales son puntos que representan adecuadamente el comportamiento del macro sector.

MACRO SECTOR DEL VALLE

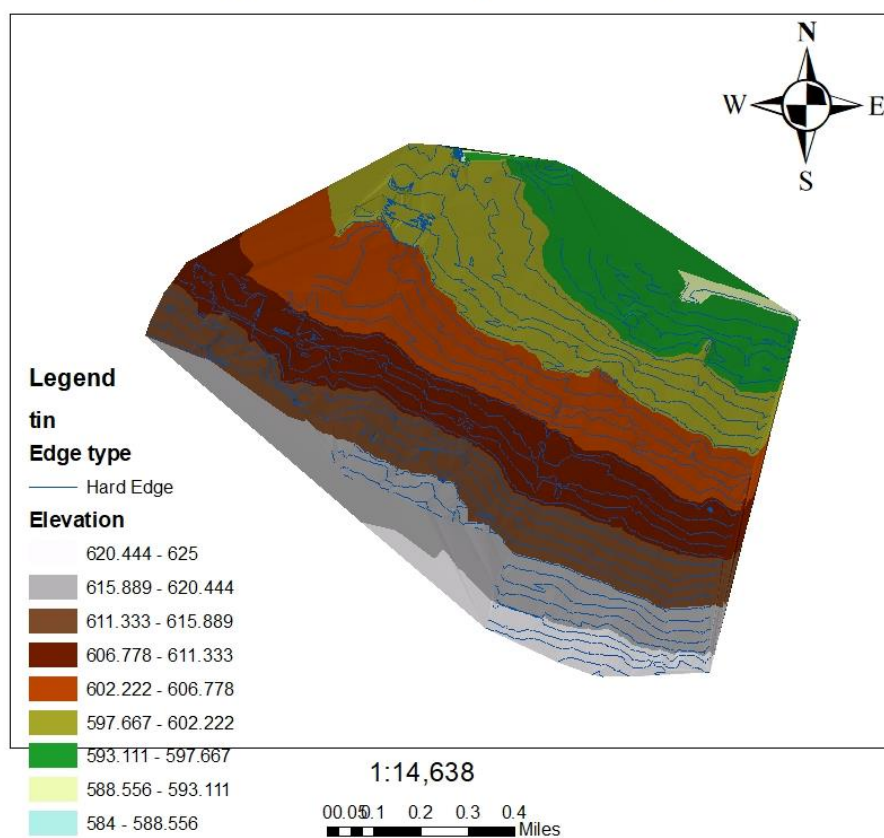


Figura 43. Macro sector del Valle con curvas de nivel (Elaboración propia)

Definidos los puntos de elevación se selecciona la toma domiciliaria más cercana y se realiza la medición de la presión (Procedimiento en campo con herramienta, medidores de flujo y presión).

MACRO SECTOR DEL VALLE

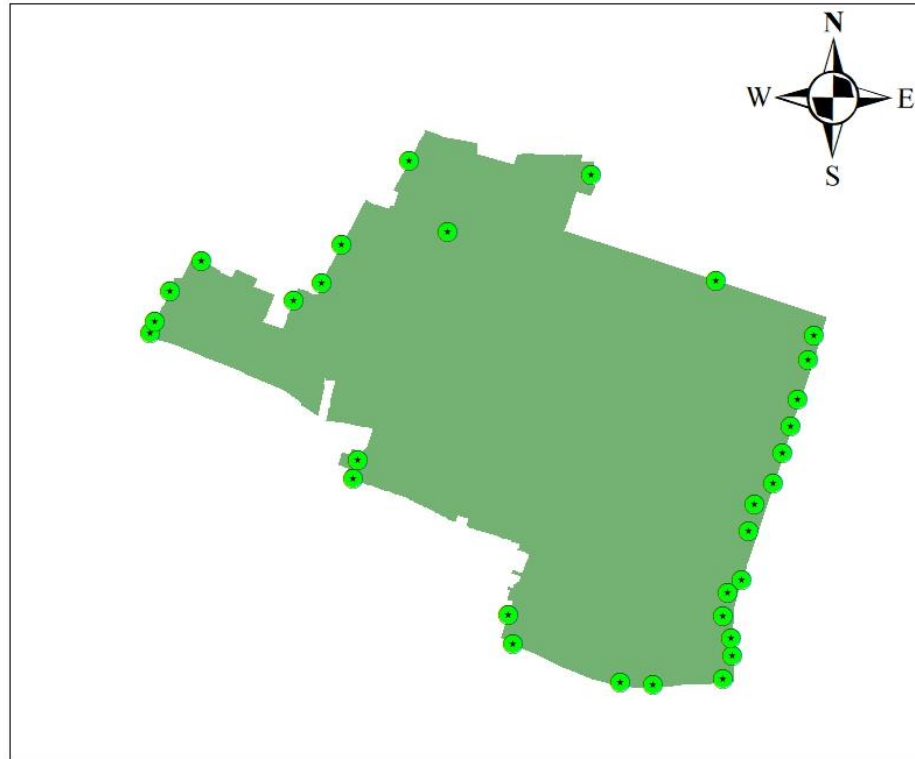


Figura 44. Macro sector del Valle con puntos de muestreo (Elaboración propia)

Se determinan las fechas de evaluación en base a su demanda más crítica y poder obtener 5 registros de observación. Con estos datos de campo se construyen las mallas de presión en el paquete Surfer y así mismo se calcula el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC), Eficiencia de Aplicación (Ea) y la Eficiencia de Requerimiento (Er).

La base de datos obtenida de los registros en campo se elaboró a partir de 5 registros en mismos horarios en los 31 puntos seleccionados en el macro sector y una sexta que se tomó con la ayuda de un registrador de presión que se dejó instalado por 24 horas en los puntos críticos con la finalidad de registrar en horarios de alta demanda.

10 Resultados

Esta evaluación de sistema de agua potable se desarrolló en el periodo del día 12 de septiembre al 22 de Diciembre del 2020 en el macro sector del Valle en la zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León, Ubicado en Río Sena y Calzada San Pedro, Colonia Del Valle con coordenadas UTM con un desnivel de 31 m.

En este capítulo se discutirán los valores y se graficaran, se compararan con el testigo que establece la presión mínima permisible de entrega al usuario y se interpretara su comportamiento.

El siguiente modelo topográfico muestra el desnivel del macro sector del Valle conforme a una escala de colores. Se aprecian dos diferentes vistas:

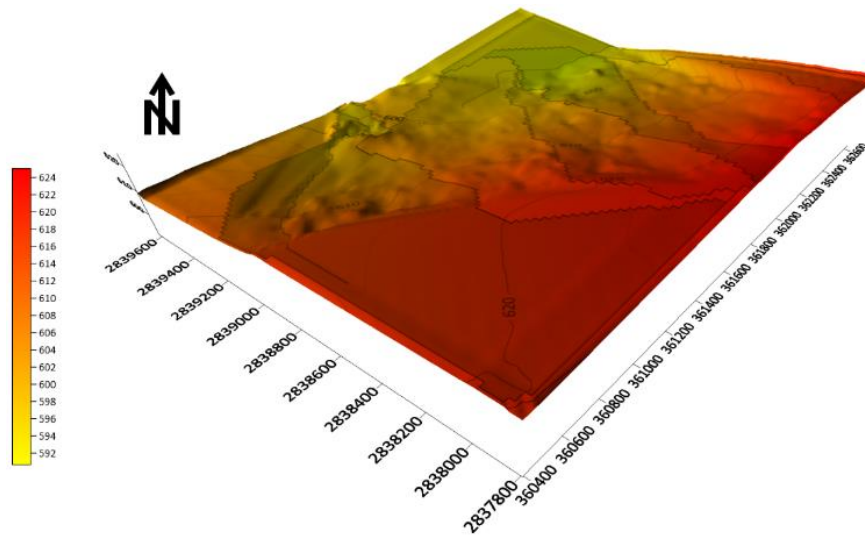


Figura 45. Desnivel macro sector del Valle vista 1 (Elaboración propia)

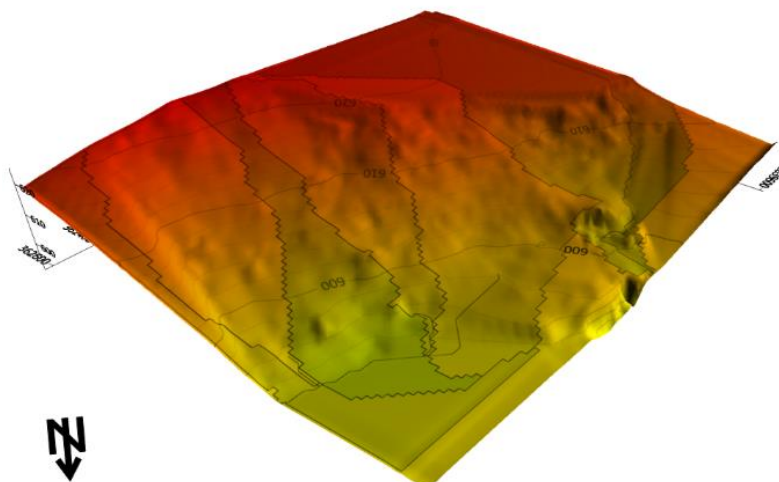


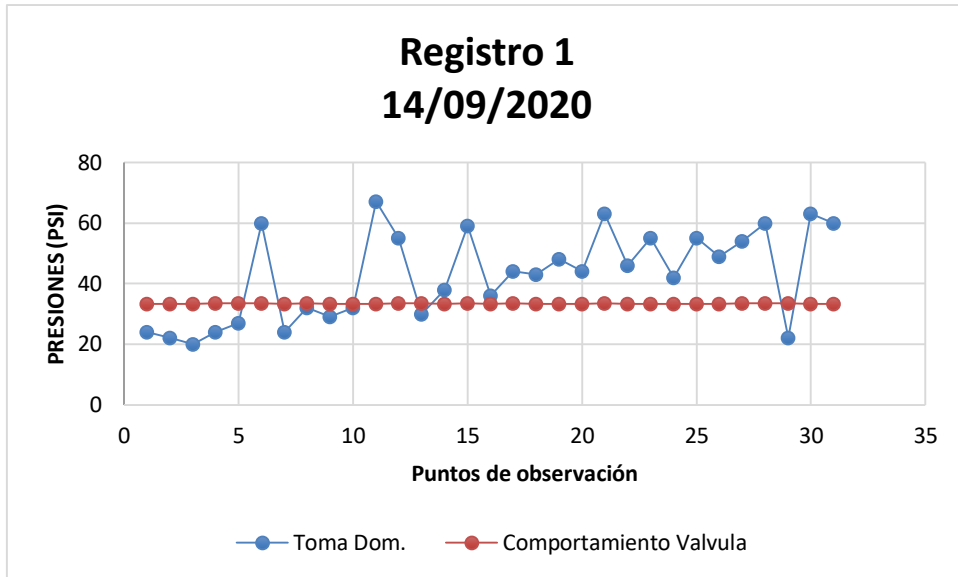
Figura 46. Desnivel macro sector del Valle vista 2 (Elaboración propia)



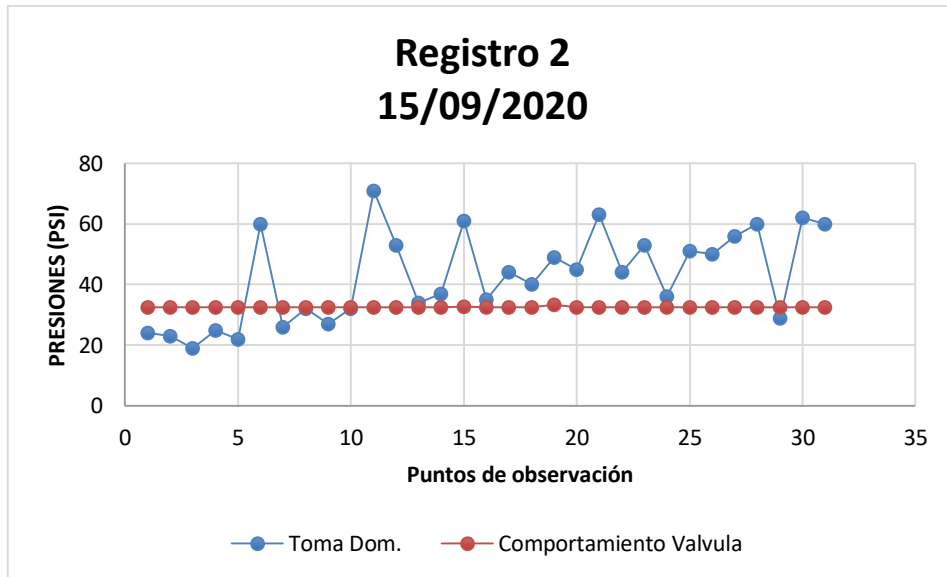
Figura 47. Modelación de macro sector del Valle en Arcscene (Elaboración propia)

10.1 Comportamiento 1

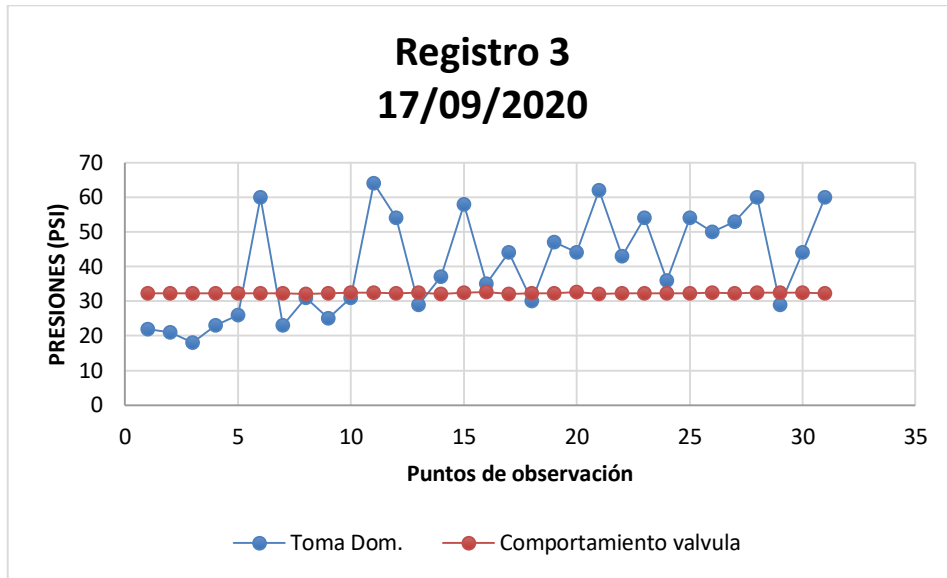
Las siguientes gráficas reflejan el comportamiento de las presiones tanto en Válvula Reguladora de Presión como en las tomas domiciliarias previamente seleccionadas en diferentes días (registros) tomadas entre los mismos horarios.



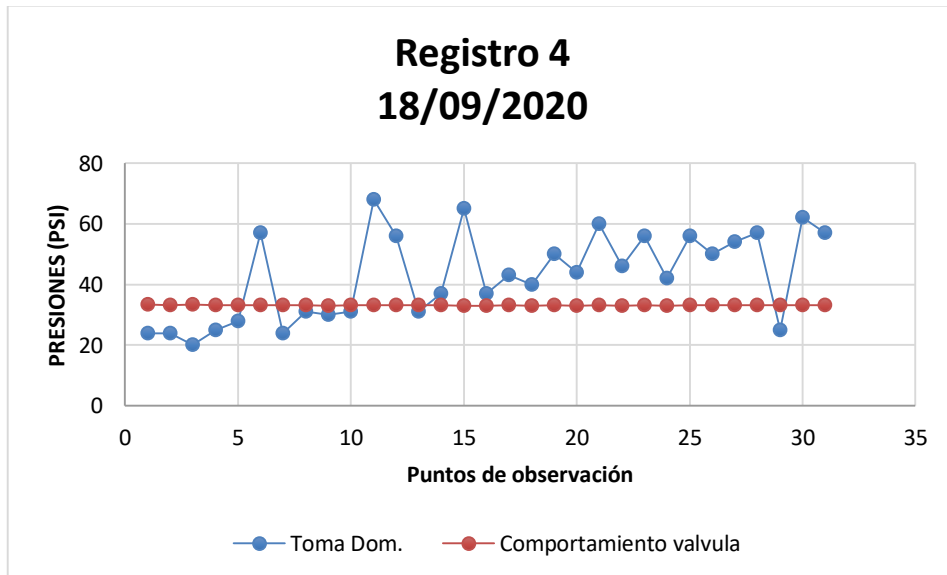
Grafica 3. Registro 1, toma domiciliaria vs VRP (Elaboración propia)



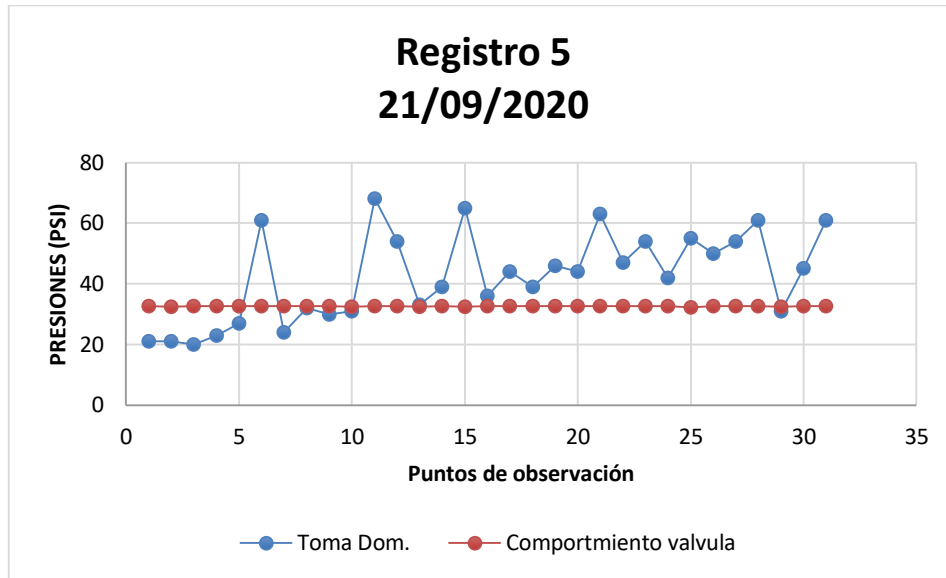
Grafica 4. Registro 2, toma domiciliaria Vs VRP (Elaboración propia)



Grafica 5. Registro 3, toma domiciliaria Vs VRP (Elaboración propia)



Grafica 6. Registro 4, Toma domiciliaria Vs VRP (Elaboración propia)

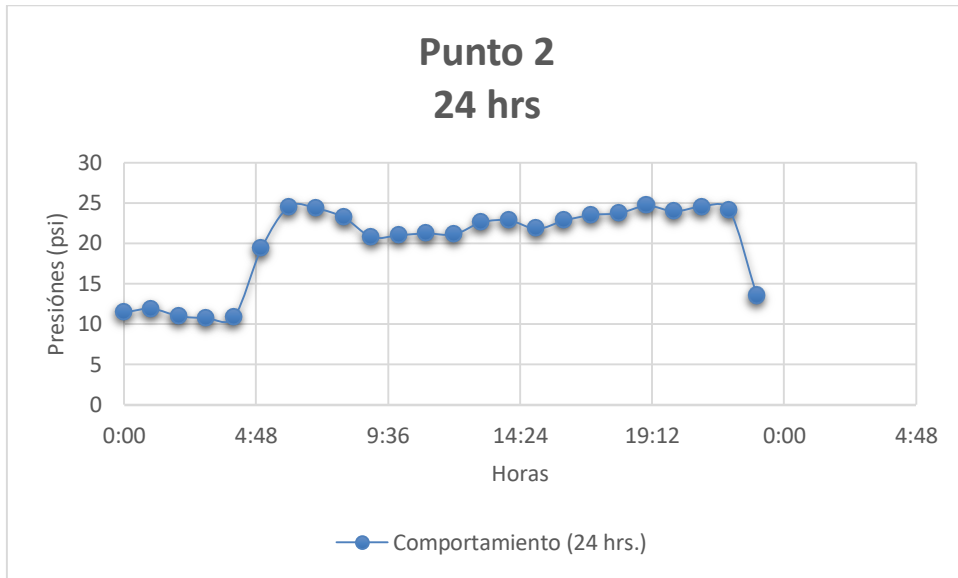


Grafica 7. Registro 5, toma domiciliaria Vs VRP (Elaboración propia)

En estas graficas se observa que en el comportamiento de las tomas domiciliarias es muy parecido entre registros y observamos que el comportamiento de la VRP es prácticamente constante.

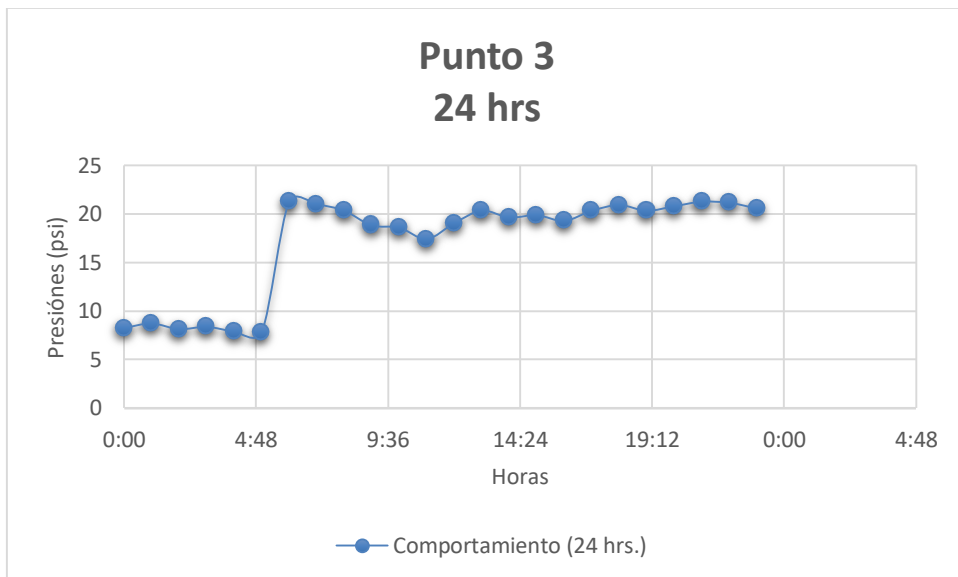
10.2 Comportamiento 2

Comportamiento de presiones a lo largo de las 24 horas del día en puntos críticos, se recalca que en estos puntos críticos se registró la presión cada 10 minutos (Registradores).



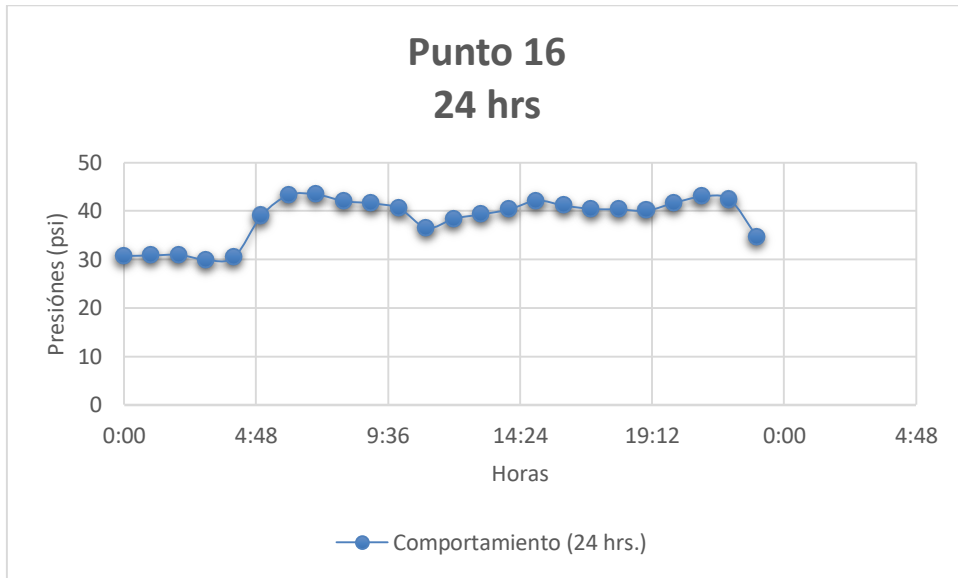
Grafica 8. Presión en punto 2, cota 624. Dirección: Río Pilon 608, Bosques del Valle, Monterrey N. L.

(Elaboración propia)



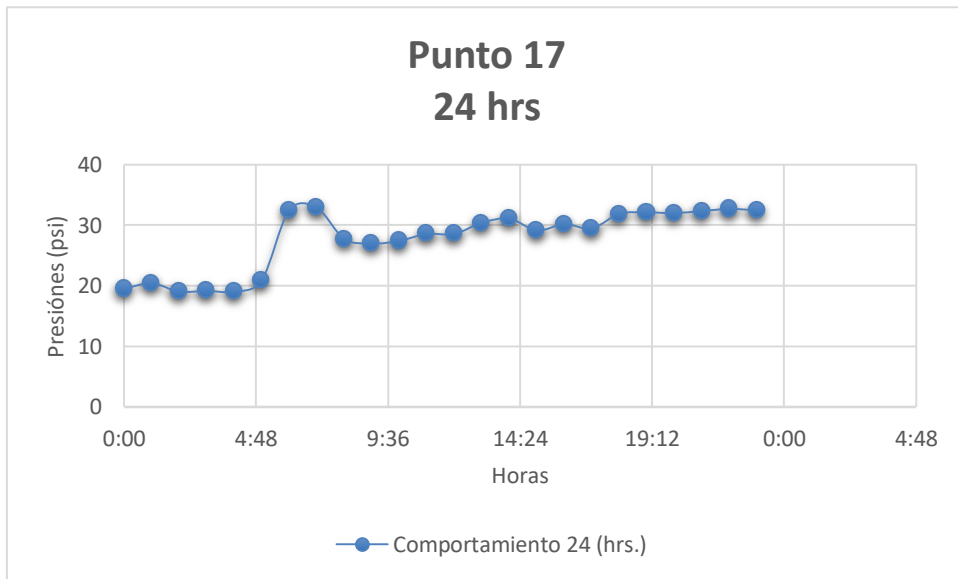
Grafica 9. Presión en punto 3, cota 623. Dirección: Av. José Vasconcelos 240 pte. Lomas del Valle, Monterrey

N. L. (Elaboración propia)



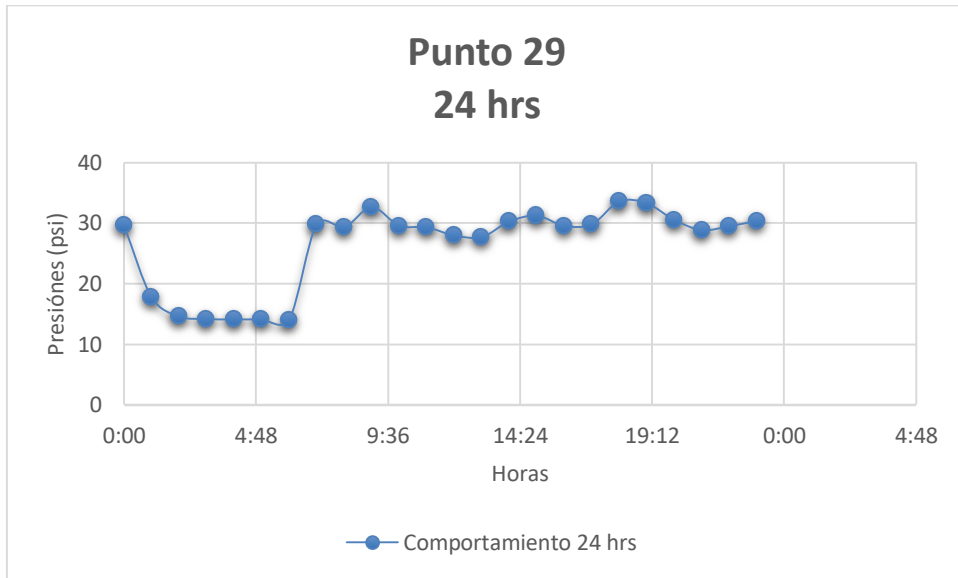
Grafica 10. Presión en punto 16, cota 609. Dirección: Callejón de los Ayala 110, zona los callejones, Monterrey

N. L. (Elaboración propia)



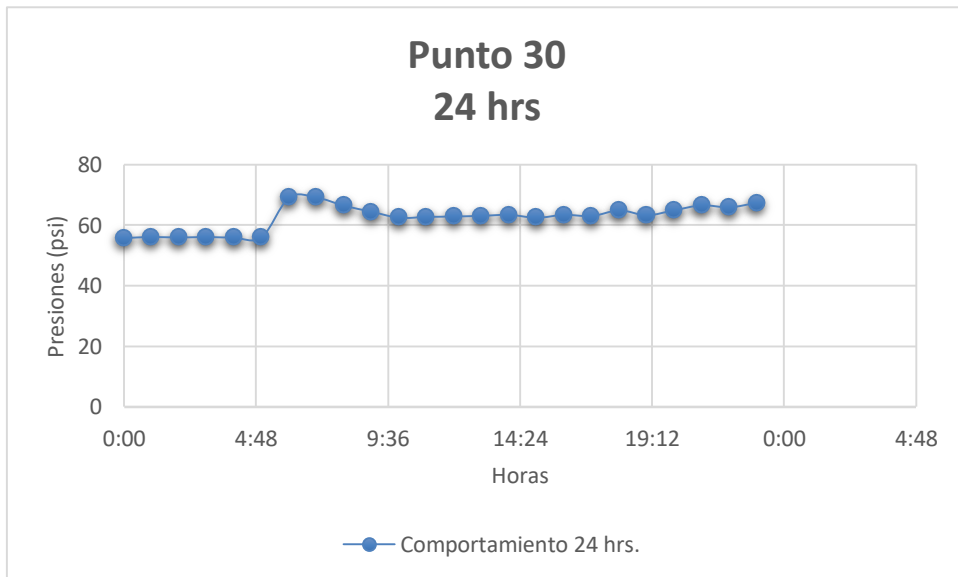
Grafica 11. Presión en punto 17, cota 608. Dirección: Calz. San Pedro 48, Del Valle, Monterrey N. L.

(Elaboración propia)



Grafica 12. Presión en punto 29, cota 595. Dirección: Vía Angélica 328, Fuentes del Valle, Monterrey N. L.

(Elaboración propia)



Grafica 13. . Presión en punto 30, cota 594. Dirección: Río Missouri 111-141, Del Valle, Monterrey N. L.

(Elaboración propia)

Este comportamiento tiene la particularidad que entre las 23:00 horas y 00:00 horas las presiones en todos los puntos disminuye, y la presión vuelve a subir entre las 4:30 y 5:00 hrs. Esto se debe a que la Válvula Reguladora de Presión está programada para que disminuya su presión y su caudal ya que son horarios de baja demanda.

10.3 Calculo Del Coeficiente De Uniformidad De Christiansen

El coeficiente de uniformidad de Christiansen es ampliamente usado, y un CUC igual o mayor que 0.7 es considerado aceptable en la práctica del diseño de un sistema de agua potable.

Fue desarrollado por Christiansen (1942). Es una representación estadística de la uniformidad; es el parámetro de uniformidad de uso más generalizado. Se expresa en porcentaje.

A continuación se presenta tabla donde se plasman los datos para calcular el coeficiente de uniformidad de Christiansen del registro 1.

10.3.1 Registro 1

N0. De Obs	Reg. en camp	Promedio	Punto critico	
N	xi	xm	xi - xm	N* xm
1	24	42.81	18.81	1327.00
2	22		20.81	
3	20		22.81	
4	24		18.81	
5	27		15.81	
6	60		17.19	
7	24		18.81	
8	32		10.81	
9	29		13.81	
10	32		10.81	
11	67		24.19	
12	55		12.19	
13	30		12.81	
14	38		4.81	
15	59		16.19	
16	36		6.81	
17	44		1.19	
18	43		0.19	
19	48		5.19	
20	44		1.19	
21	63		20.19	
22	46		3.19	
23	55		12.19	
24	42		0.81	
25	55		12.19	
26	49		6.19	
27	54		11.19	
28	60		17.19	
29	22.00		20.81	
30	63		20.19	
31	60		17.19	
Σ	1327		394.58	

Datos obtenidos en campo (Fuente: Elaboración propia)

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N * \bar{x}} \right] * 100$$

$$\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) = 394.58$$

$$CUC = \left[1 - \frac{394.58}{1327} \right] * 100$$

$$CUC = 0.70265 * 100$$

$$CUC = 70.27 \%$$

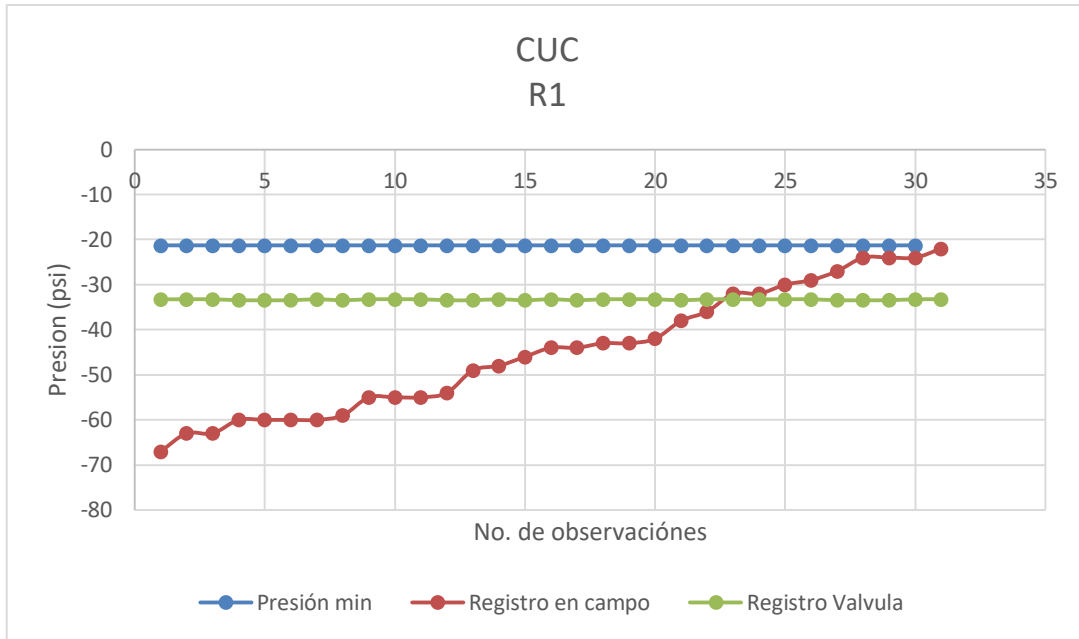
De acuerdo según Christiansen (1942) la literatura los rangos en los que se encuentra la eficiencia de aplicación eficiente es de 90 – 100, 85-90 y 70-80, este diseño se encuentra en un rango aceptable.

Calculo de la eficiencia de aplicación (Ea) y eficiencia de requerimiento (Er).

A continuación se presenta la tabla con datos que se utilizaron para construir la gráfica donde puede visualizar las diferentes zonas.

Tabla 6
Datos para graficar CUC, registro 1.

No. De Obs.	Reg. en camp psi	Presión min psi	Reg. Válvula psi
1	-67	-21.335	-33.2748
2	-63	-21.335	-33.2748
3	-63	-21.335	-33.2748
4	-60	-21.335	-33.417
5	-60	-21.335	-33.417
6	-60	-21.335	-33.417
7	-60	-21.335	-33.2748
8	-59	-21.335	-33.417
9	-55	-21.335	-33.2748
10	-55	-21.335	-33.2748
11	-55	-21.335	-33.2748
12	-54	-21.335	-33.417
13	-49	-21.335	-33.417
14	-48	-21.335	-33.2748
15	-46	-21.335	-33.417
16	-44	-21.335	-33.2748
17	-44	-21.335	-33.417
18	-43	-21.335	-33.2748
19	-43	-21.335	-33.2748
20	-42	-21.335	-33.2748
21	-38	-21.335	-33.417
22	-36	-21.335	-33.2748
23	-32	-21.335	-33.2748
24	-32	-21.335	-33.2748
25	-30	-21.335	-33.2748
26	-29	-21.335	-33.2748
27	-27	-21.335	-33.417
28	-24	-21.335	-33.417
29	-24	-21.335	-33.417
30	-24	-21.335	-33.2748
31	-22	-21.335	-33.2748



Grafica 14. Curvas de la distribución de datos del registro 1 (CUC). (Elaboración propia)

Tabla 7
Zonas de grafica 14.

ZONAS	Registro 1
Área I	661.385
Área II	***
Área III	665.615

Elaboración propia

10.3.2 Eficiencia de aplicación:

$$Ea = \left(\frac{\sum_A zona I}{zona I + zona III} \right) * 100$$

$$Ea = \left(\frac{661.385}{661.385 + 665.615} \right) * 100$$

$$Ea = 0.498406 * 100$$

$$Ea = 49.84\%$$

10.3.3 Eficiencia de requerimiento:

$$Er = \left(\frac{\sum_A \text{zona I}}{\text{zona I} + \text{zona II}} \right) * 100$$

$$Er = \left(\frac{661.385}{661.385} \right) * 100$$

$$Er = (1) * 100$$

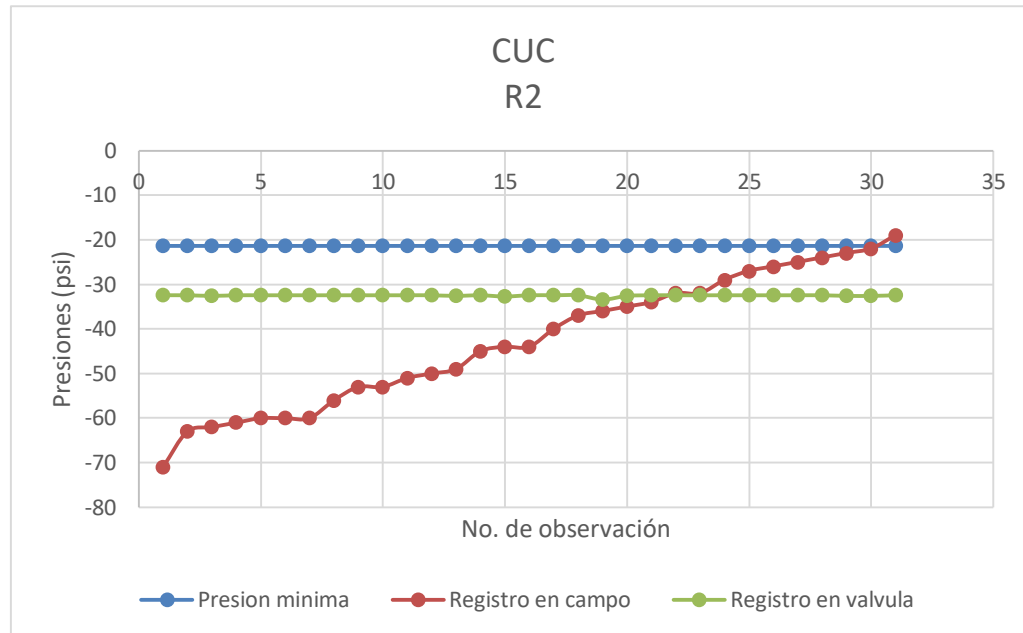
$$Er = 100\%$$

Dados los datos de la tabla y graficándolos, podemos ver el comportamiento que tiene la red de agua potable a lo largo del macro sector, siendo así se asume que tiene una excelente eficiencia de requerimiento, ya que no hay puntos que están por debajo de la presión mínima requerida, teniendo una Er del 100%.

En cuanto a la eficiencia de aplicación se puede decir que tiene un valor muy bajo, ya que en la literatura Christiansen nos dice que el 0.7 es un valor aceptable, y en este registro tenemos un valor de Ea de 49.84%, la justificación aquí es que no se tiene una regulación (accesorios de control) dentro del macro sector.

A continuación se presentan las gráficas, valores de CUC, Ea y Er que pertenecen a cada registro.

10.3.4 Registro 2

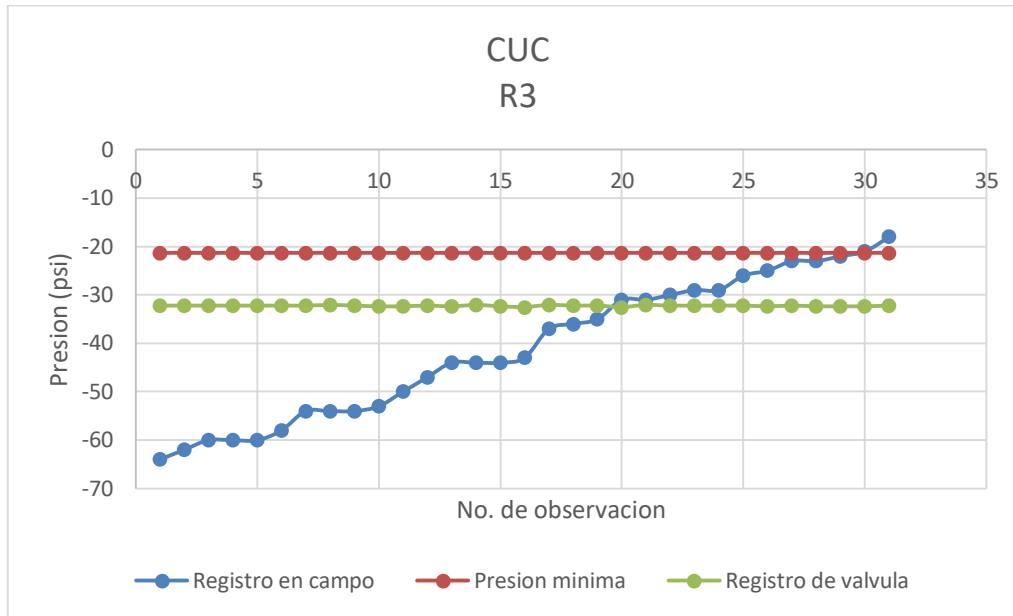


Grafica 15. Curvas de la distribución de datos del registro 2 (CUC). (Elaboración propia)

Tabla 8
Parámetros de grafica 15.

Zonas	Registro 2
Área I	659.05
Área II	2.335
Área III	663.95
CUC	68.96%
Eficiencia de requerimiento (Er)	99.65%
Eficiencia de aplicación (Ea)	49.81%

10.3.5 Registro 3



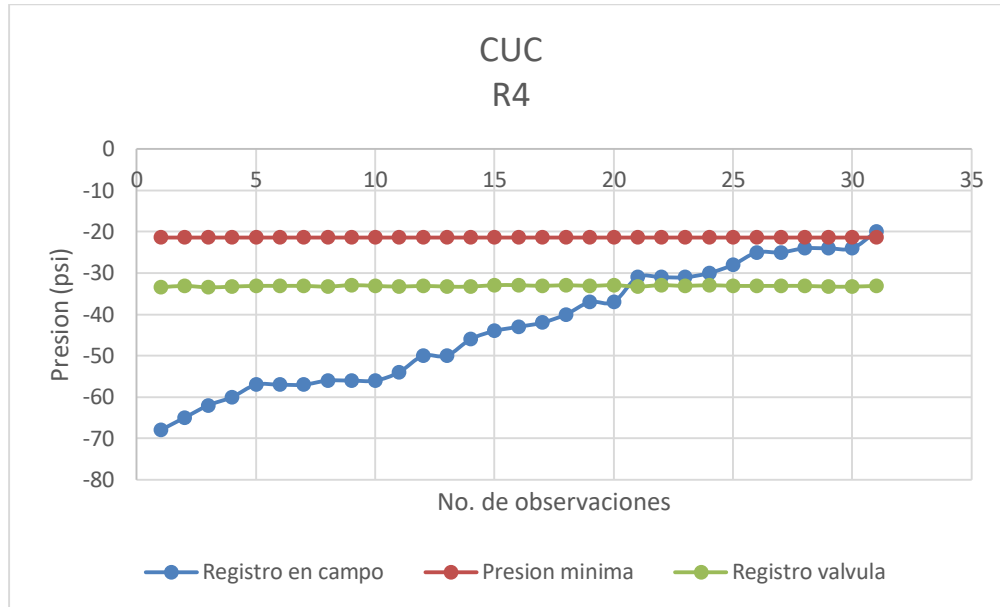
Grafica 16. Curvas de distribución de datos del registro 3 (Elaboración propia)

Tabla 9
Parámetros de grafica 16.

Zona	Registro 3
Área I	657.715
Área II	3.67
Área III	609.285
CUC	68.89%
Eficiencia de requerimiento	99.45%
(Er)	
Eficiencia de aplicación	51.91%
(Ea)	

Elaboración propia

10.3.6 Registro 4



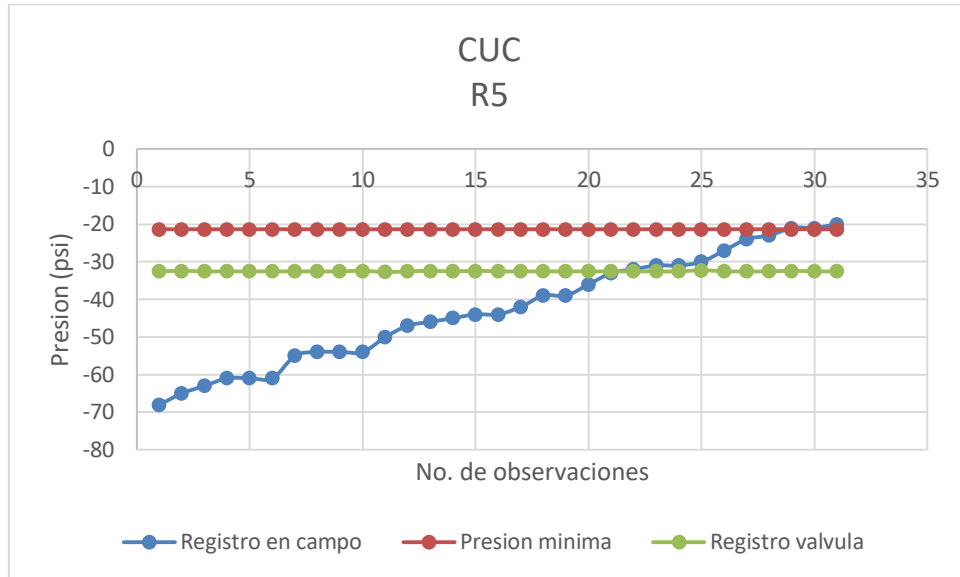
Grafica 17. Curvas de distribución de datos del registro 4 (Elaboración propia)

Tabla 10
Parámetros de la gráfica 17.

Zona	Registro 4
Área I	660.05
Área II	1.335
Área III	669.95
CUC	70.74%
Eficiencia de requerimiento	99.80%
(Er)	
Eficiencia de aplicación	49.63%
(Ea)	

Elaboración propia

10.3.7 Registro 5



Grafica 18. Curvas de distribución de datos del registro 5. (Elaboración propia)

Tabla 11
Parámetros de la gráfica 18.

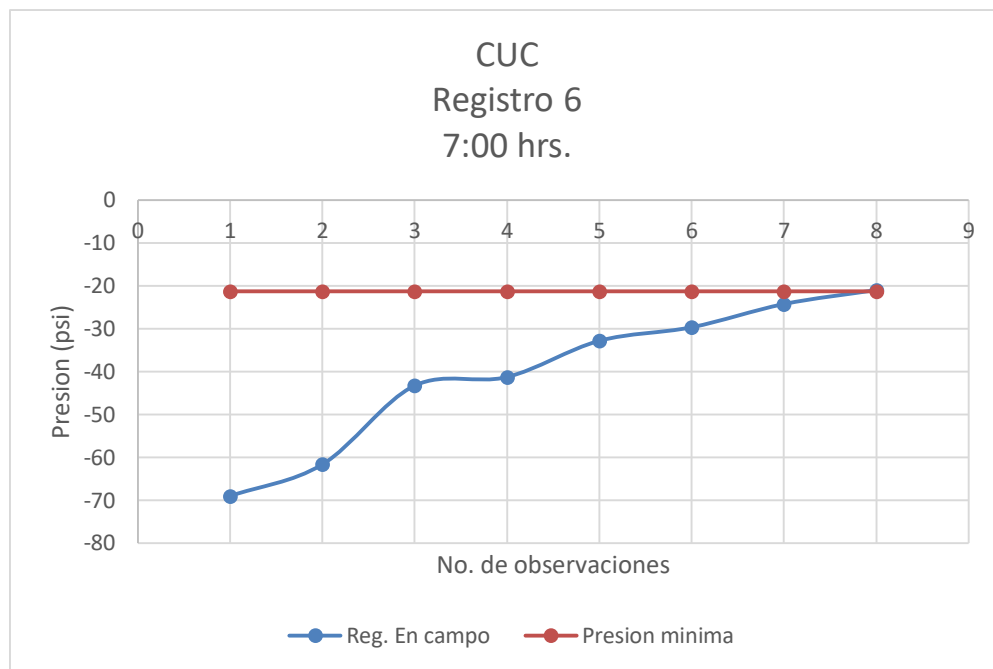
Zona	Registro 5
Área I	659.38
Área II	2.005
Área III	661.62
CUC	71.20%
Eficiencia de requerimiento	99.70%
(Er)	
Eficiencia de aplicación	49.92%
(Ea)	

Elaboración propia

10.3.8 Puntos críticos

Registro 6

Este registro consta de datos de todos los puntos críticos en horarios críticos, donde el usuario del macro sector del Valle demanda mayor cantidad de caudal y presión (horas pico), que por lo general son horarios en donde los usuarios están por irse a trabajar (7:00 hrs.) o están en sus domicilios (21:00 hrs).



Gráfica 19. Curva de distribución de datos del registro 6 a las 7:00 hrs. (Elaboración propia)

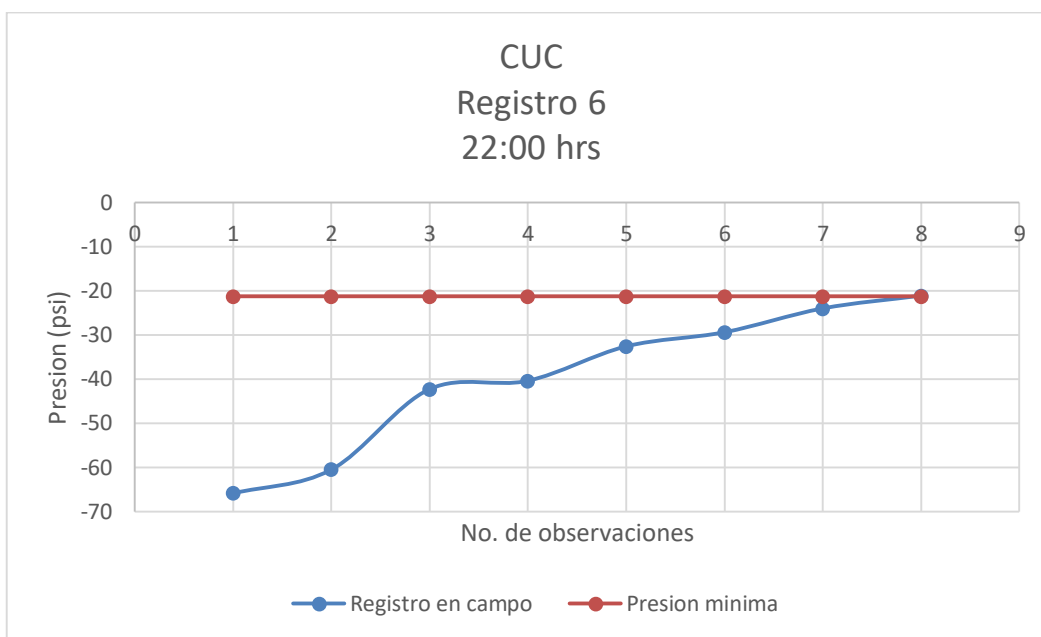
Tabla 12

Parámetros de la gráfica 19.

Zona	Registro 6
Área I	170.365841
Área II	0.3141592
Área III	152.955596

CUC	66.74%
Eficiencia de requerimiento	99.81%
(Er)	
Eficiencia de aplicación	52.70%
(Ea)	

Elaboración propia



Grafica 20. Curva de distribución de los datos del registro 6 a las 22:00 hrs. (Elaboración propia)

Tabla 13
Parámetros de la gráfica 20.

Zona	Registro 6
Área I	170.520548
Área II	0.159452
Área III	145.89515
CUC	67.84%

Eficiencia de aplicación	54%
(Ea)	
Eficiencia de requerimiento	99.90%
(Er)	

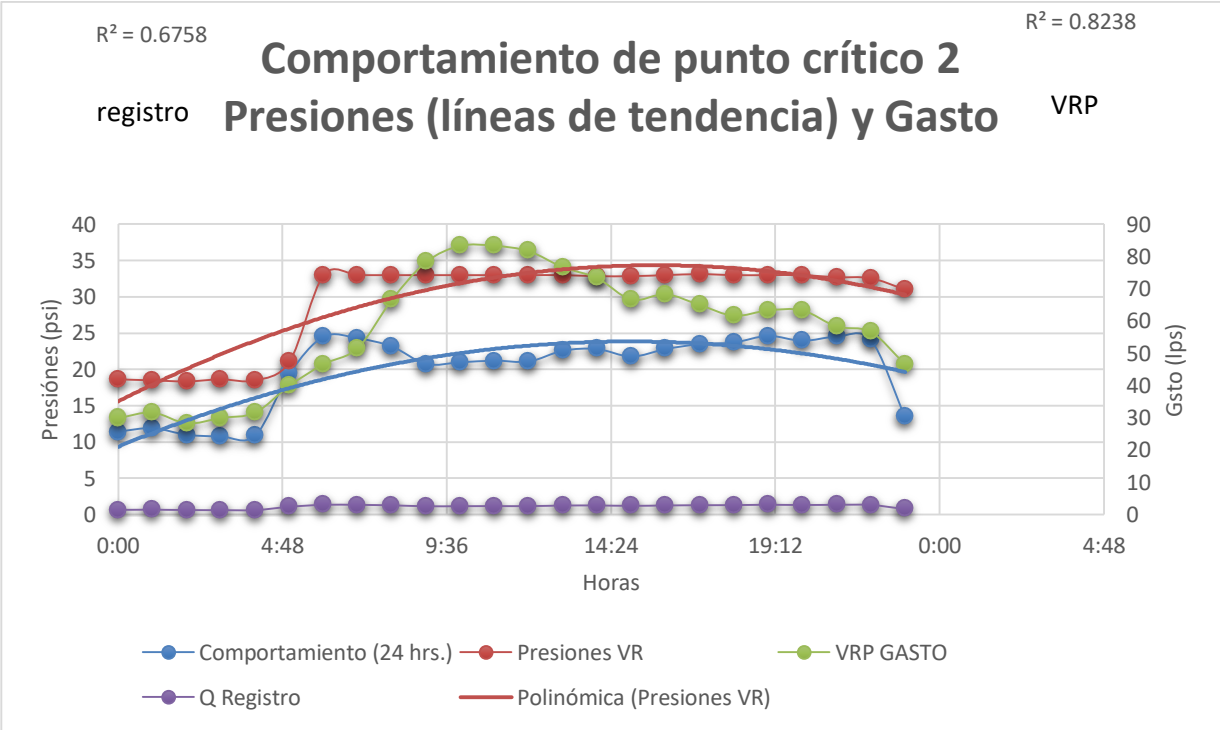
Elaboración propia

11 Evaluación en los puntos críticos.

11.1 Punto crítico 2.

Tabla 14. Registro Vs. VRP (PUNTO CRITICO 2, Rio Pilón 608)

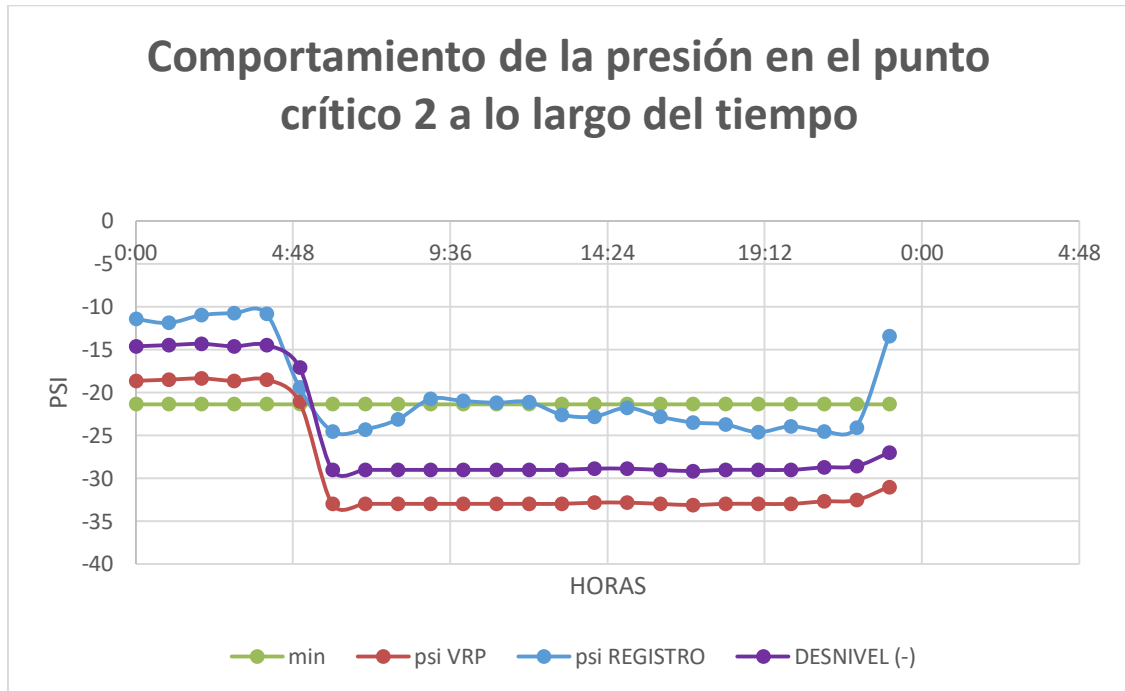
Horario	psi Registro	Q Registro	psi VRP	Q (lps)
00:00	11.4070866	1.42706995	18.6282	30
01:00	11.8622322	1.48401039	18.486	31.667
02:00	10.951941	1.3701295	18.3438	28.333
03:00	10.7243682	1.34165928	18.6282	30
04:00	10.8381546	1.35589439	18.486	31.667
05:00	19.3863579	2.42530715	21.0456	40
06:00	24.5209692	3.06766657	32.9904	46.667
07:00	24.2933964	3.03919634	32.9904	51.667
08:00	23.1555324	2.89684523	32.9904	66.667
09:00	20.7517947	2.59612849	32.9904	78.333
10:00	20.9793675	2.62459872	32.9904	83.333
11:00	21.2069403	2.65306894	32.9904	83.333
12:00	21.0931539	2.63883383	32.9904	81.667
13:00	22.5866004	2.82566967	32.9904	76.667
14:00	22.8141732	2.85413989	32.8482	73.333
15:00	21.7758723	2.7242445	32.8482	66.667
16:00	22.8141732	2.85413989	32.9904	68.333
17:00	23.4968916	2.93955056	33.1326	65
18:00	23.7244644	2.96802078	32.9904	61.667
19:00	24.6347556	3.08190168	32.9904	63.333
20:00	23.9520372	2.99649101	32.9904	63.333
21:00	24.5209692	3.06766657	32.706	58.333
22:00	24.0658236	3.01072612	32.5638	56.667
23:00	13.4552418	1.68330196	30.9996	46.667



Grafica 21. Línea de tendencia en critico 2 (Río Pílon, 608)

Tabla 15. Comportamiento de la presión en el punto crítico 2.

Horario	Registro		min	<u>4</u>
	(-) psi	(-) psi		DESNIVEL (-)
00:00	-11.407	-18.62	-21.33	-14.6282
01:00	-11.862	-18.48	-21.33	-14.486
02:00	-10.951	-18.34	-21.33	-14.3438
03:00	-10.724	-18.62	-21.33	-14.6282
04:00	-10.838	-18.48	-21.33	-14.486
05:00	-19.386	-21.04	-21.33	-17.0456
06:00	-24.520	-32.99	-21.33	-28.9904
07:00	-24.293	-32.99	-21.33	-28.9904
08:00	-23.155	-32.99	-21.33	-28.9904
09:00	-20.751	-32.99	-21.33	-28.9904
10:00	-20.979	-32.99	-21.33	-28.9904
11:00	-21.206	-32.99	-21.33	-28.9904
12:00	-21.093	-32.99	-21.33	-28.9904
13:00	-22.586	-32.99	-21.33	-28.9904
14:00	-22.814	-32.84	-21.33	-28.8482
15:00	-21.775	-32.84	-21.33	-28.8482
16:00	-22.814	-32.99	-21.33	-28.9904
17:00	-23.496	-33.13	-21.33	-29.1326
18:00	-23.724	-32.99	-21.33	-28.9904
19:00	-24.634	-32.99	-21.33	-28.9904
20:00	-23.952	-32.99	-21.33	-28.9904
21:00	-24.520	-32.70	-21.33	-28.706
22:00	-24.065	-32.56	-21.33	-28.5638
23:00	-13.455	-30.99	-21.33	-26.9996



Grafica 22. Comportamiento de la presión en el punto crítico 2 a lo largo del tiempo.

MACRO SECTOR DEL VALLE Y PUNTO CRITICO 2 Río Pílon 608, Bosques del Valle

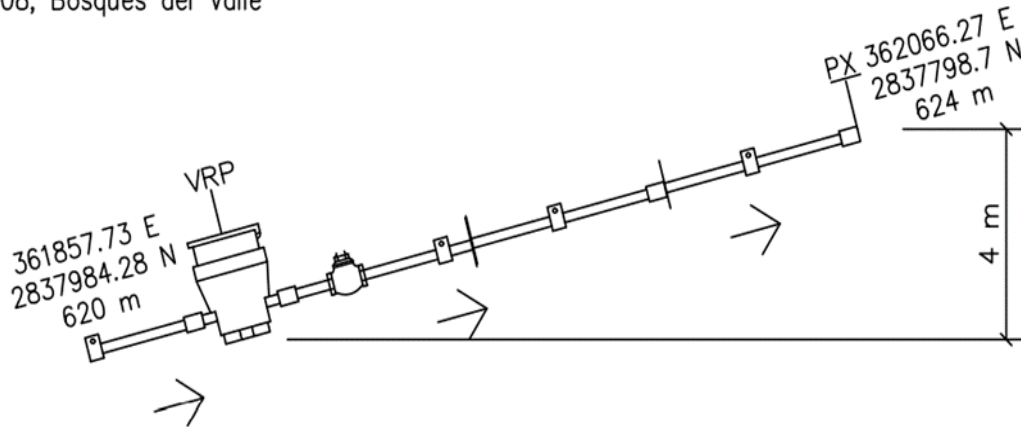


Figura 48. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 2.

Tabla 16. CUC Critico 2

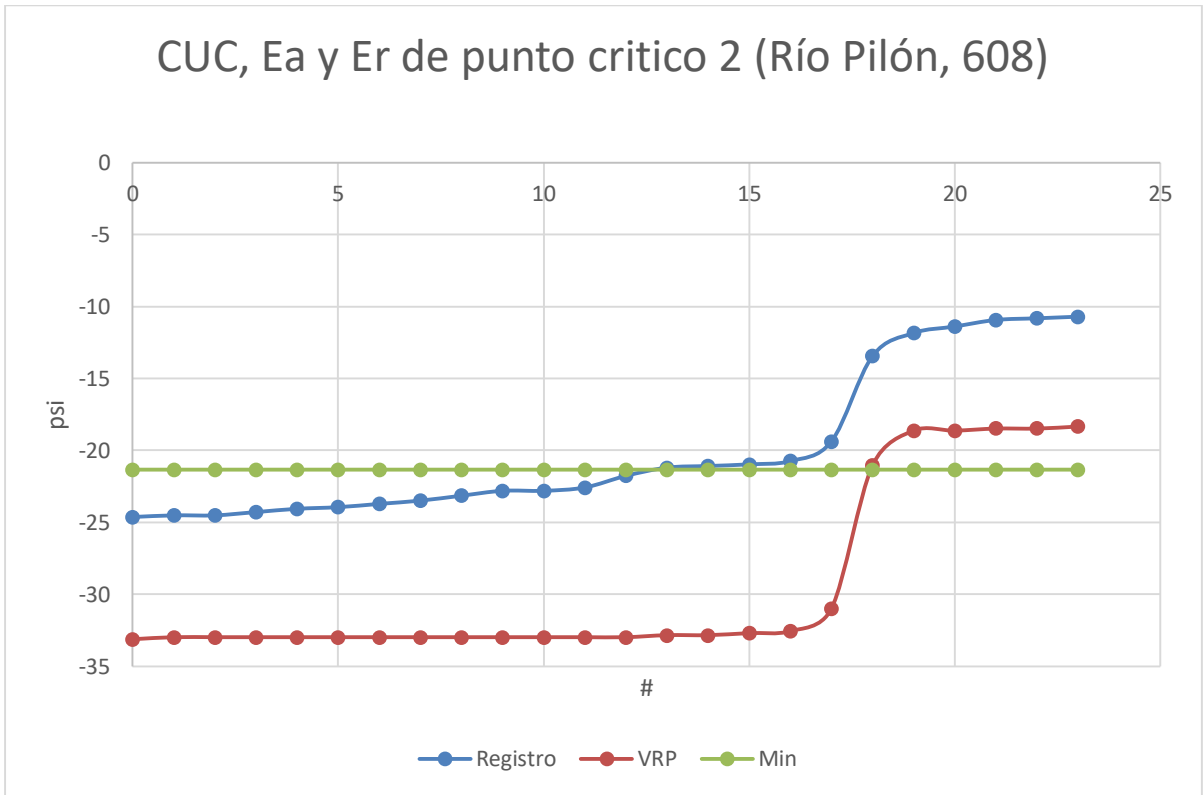
N	xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	11.4070866	19.96	8.55	479.01	0.7867
2	11.8622322		8.10		78.67%
3	10.951941		9.01		
4	10.7243682		9.23		
5	10.8381546		9.12		
6	19.3863579		0.57		
7	24.5209692		4.56		
8	24.2933964		4.33		
9	23.1555324		3.20		
10	20.7517947		0.79		
11	20.9793675		1.02		
12	21.2069403		1.25		
13	21.0931539		1.13		
14	22.5866004		2.63		
15	22.8141732		2.86		
16	21.7758723		1.82		
17	22.8141732		2.86		
18	23.4968916		3.54		
19	23.7244644		3.77		
20	24.6347556		4.68		
21	23.9520372		3.99		
22	24.5209692		4.56		
23	24.0658236		4.11		
24	13.4552418		6.50		
Σ	479.012297		102.17		

Tabla 17. CUC VRP critico 2

N	Xi	Xm	Xi-Xm	N*xm	CUC
1	18.6282	29.358375	3.774225	704.601	0.82250252
2	18.486		3.632025		82.25%
3	18.3438		3.632025		
4	18.6282		3.632025		
5	18.486		3.632025		
6	21.0456		3.632025		
7	32.9904		3.632025		
8	32.9904		3.632025		
9	32.9904		3.632025		
10	32.9904		3.632025		
11	32.9904		3.632025		
12	32.9904		3.632025		
13	32.9904		3.632025		
14	32.9904		3.489825		
15	32.8482		3.489825		
16	32.8482		3.347625		
17	32.9904		3.205425		
18	33.1326		1.641225		
19	32.9904		8.312775		
20	32.9904		10.730175		
21	32.9904		10.730175		
22	32.706		10.872375		
23	32.5638		10.872375		
24	30.9996		11.014575		

Tabla 18. Valores para diseño de grafica CUC del punto crítico 2.

N0. De	registro	Presión min	VRP
Obs			
1	-24.6347556	-21.335	-33.1326
2	-24.5209692	-21.335	-32.9904
3	-24.5209692	-21.335	-32.9904
4	-24.2933964	-21.335	-32.9904
5	-24.0658236	-21.335	-32.9904
6	-23.9520372	-21.335	-32.9904
7	-23.7244644	-21.335	-32.9904
8	-23.4968916	-21.335	-32.9904
9	-23.1555324	-21.335	-32.9904
10	-22.8141732	-21.335	-32.9904
11	-22.8141732	-21.335	-32.9904
12	-22.5866004	-21.335	-32.9904
13	-21.7758723	-21.335	-32.9904
14	-21.2069403	-21.335	-32.8482
15	-21.0931539	-21.335	-32.8482
16	-20.9793675	-21.335	-32.706
17	-20.7517947	-21.335	-32.5638
18	-19.3863579	-21.335	-30.9996
19	-13.4552418	-21.335	-21.0456
20	-11.8622322	-21.335	-18.6282
21	-11.4070866	-21.335	-18.6282
22	-10.951941	-21.335	-18.486
23	-10.8381546	-21.335	-18.486
24	-10.7243682	-21.335	-18.3438



Grafica 23. CUC, Ea y Er de punto crítico 2 (Río Pilón, 608)

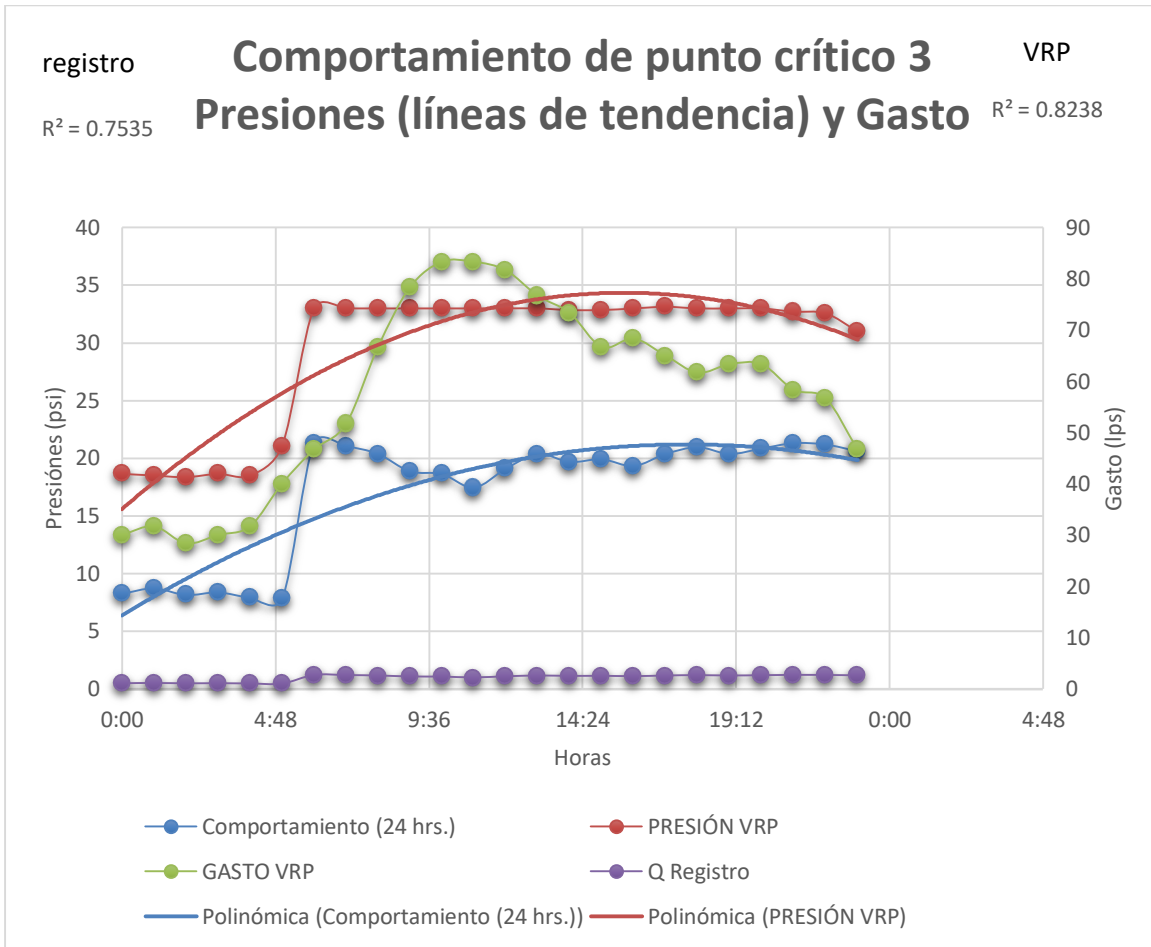
Tabla 19. Resultado de punto crítico 2.

REGISTRO		VALVULA	
Er=	87.88%	Er=	97.19%
Ea=	93.94%	Ea=	70.63%
CUC	78.67%	CUC	82.25%

11.2 Punto crítico 3.

Tabla 20. Registro Vs. VRP (PUNTO CRITICO 3, José Vasconcelos, 240)

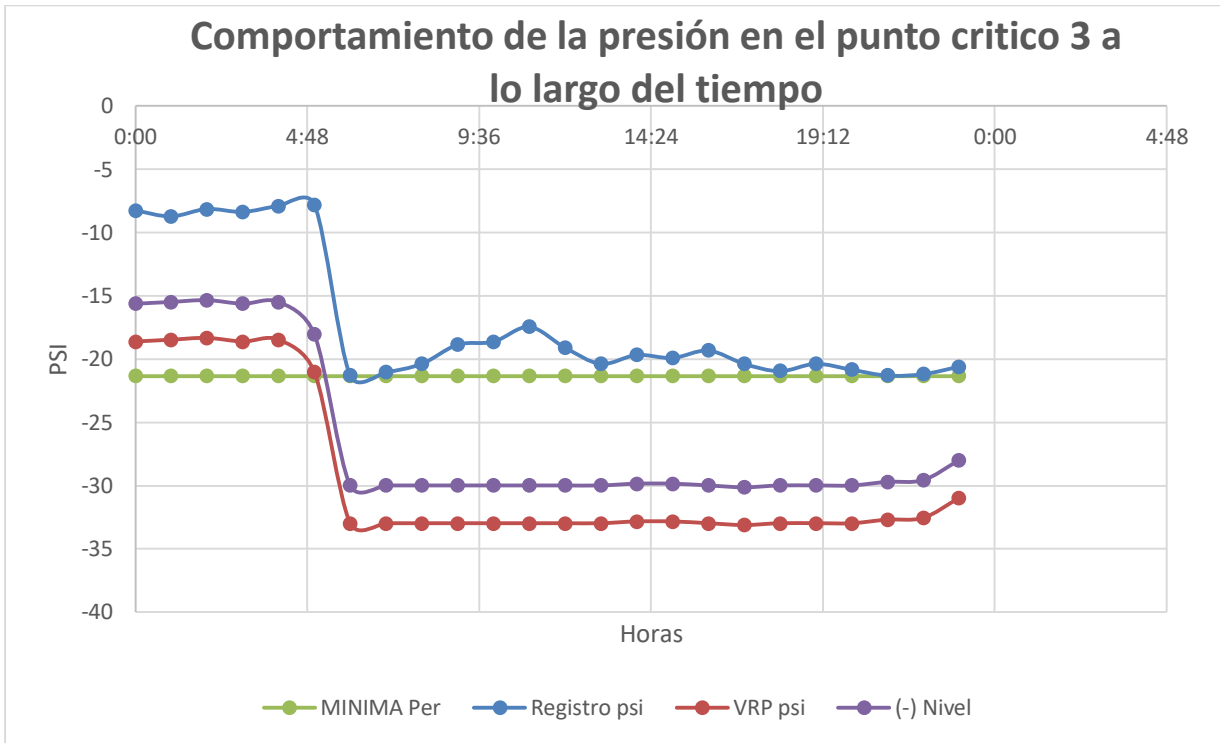
Horario	psi Registro	Q Registro	Psi VRP	Q (lps)
00:00	8.267166	1.03425393	18.6282	30
01:00	8.7312876	1.09231731	18.486	31.667
02:00	8.1511356	1.01973808	18.3438	28.333
03:00	8.3831964	1.04876977	18.6282	30
04:00	7.9190748	0.9907064	18.486	31.667
05:00	7.8030444	0.97619055	21.0456	40
06:00	21.2915784	2.66365749	32.9904	46.667
07:00	21.0208408	2.62978718	32.9904	51.667
08:00	20.3633352	2.54753073	32.9904	66.667
09:00	18.85494	2.35882475	32.9904	78.333
10:00	18.6228792	2.32979306	32.9904	83.333
11:00	17.4480714	2.18282013	32.9904	83.333
12:00	19.0870008	2.38785644	32.9904	81.667
13:00	20.3633352	2.54753073	32.9904	76.667
14:00	19.6671528	2.46043566	32.8482	73.333
15:00	19.8992136	2.48946735	32.8482	66.667
16:00	19.3190616	2.41688813	32.9904	68.333
17:00	20.3633352	2.54753073	33.1326	65
18:00	20.9434872	2.62010995	32.9904	61.667
19:00	20.3633352	2.54753073	32.9904	63.333
20:00	20.8274568	2.60559411	32.9904	63.333
21:00	21.2915784	2.66365749	32.706	58.333
22:00	21.175548	2.64914164	32.5638	56.667
23:00	20.595396	2.57656242	30.9996	46.667



Grafica 24. Línea de tendencia de punto crítico 3 (José Vasconcelos, 240).

Tabla 21. Comportamiento de la presión en punto crítico 3.

Horario	(-) psi Regist	(-) psi VRP	3 m (-) Nivel	MIN P
00:00	-8.267166	-18.6282	-15.6282	-21.335
01:00	-8.7312876	-18.486	-15.486	-21.335
02:00	-8.1511356	-18.3438	-15.3438	-21.335
03:00	-8.3831964	-18.6282	-15.6282	-21.335
04:00	-7.9190748	-18.486	-15.486	-21.335
05:00	-7.8030444	-21.0456	-18.0456	-21.335
06:00	-21.291578	-32.9904	-29.9904	-21.335
07:00	-21.020840	-32.9904	-29.9904	-21.335
08:00	-20.363335	-32.9904	-29.9904	-21.335
09:00	-18.85494	-32.9904	-29.9904	-21.335
10:00	-18.622879	-32.9904	-29.9904	-21.335
11:00	-17.448071	-32.9904	-29.9904	-21.335
12:00	-19.087000	-32.9904	-29.9904	-21.335
13:00	-20.363335	-32.9904	-29.9904	-21.335
14:00	-19.667152	-32.8482	-29.8482	-21.335
15:00	-19.899213	-32.8482	-29.8482	-21.335
16:00	-19.319061	-32.9904	-29.9904	-21.335
17:00	-20.363335	-33.1326	-30.1326	-21.335
18:00	-20.943487	-32.9904	-29.9904	-21.335
19:00	-20.363335	-32.9904	-29.9904	-21.335
20:00	-20.827456	-32.9904	-29.9904	-21.335
21:00	-21.291578	-32.706	-29.706	-21.335
22:00	-21.175548	-32.5638	-29.5638	-21.335
23:00	-20.595396	-30.9996	-27.9996	-21.335



Grafica 25. Comportamiento de la presión en punto crítico 3 a lo largo del tiempo.

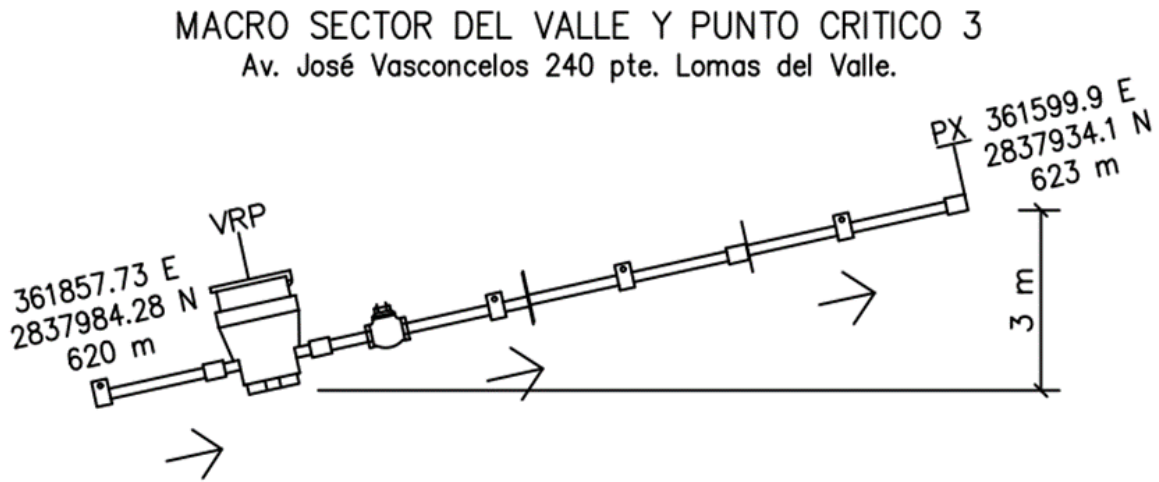


Figura 49. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 3.

Tabla 22. CUC Crítico 3

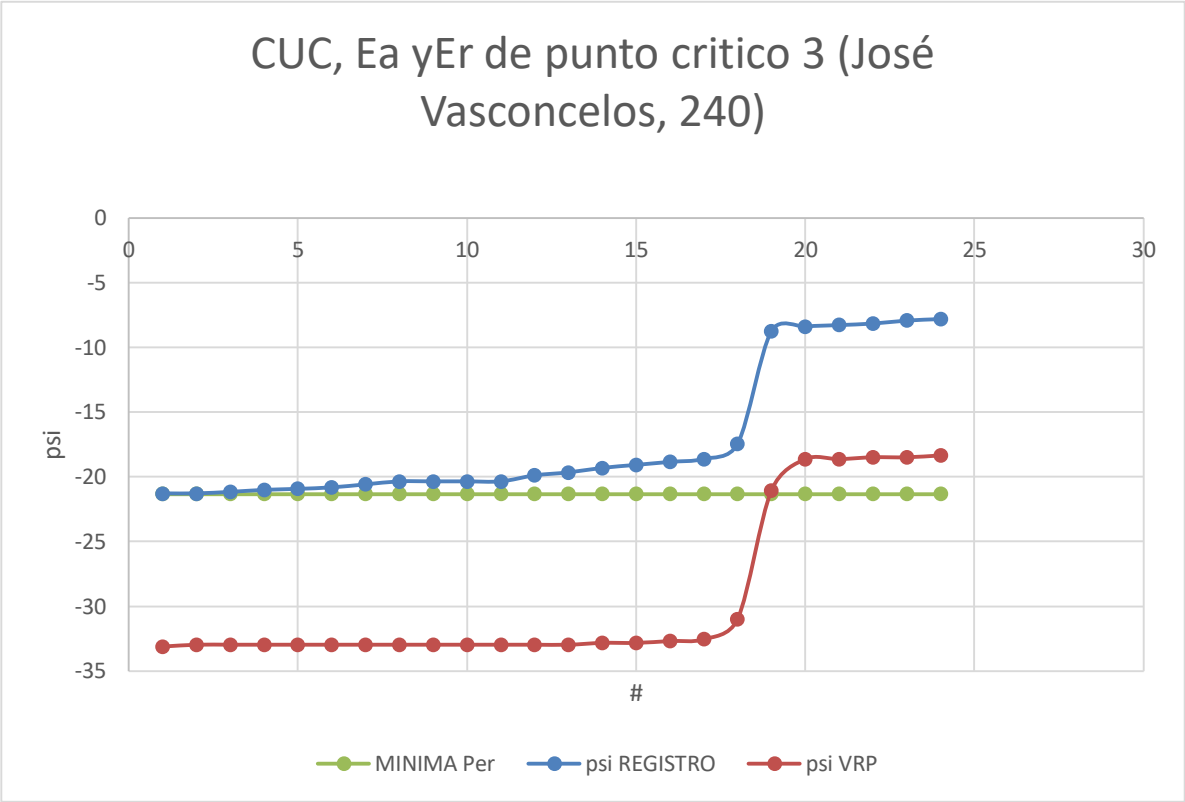
N	Registro			N* xm	CUC
	xi	xm	xi - xm		
1	8.267166	17.1146854	8.847519441	410.752451	0.73982769
2	8.7312876		8.383397841		73.98%
3	8.1511356		8.963549841		
4	8.3831964		8.731489041		
5	7.9190748		9.195610641		
6	7.8030444		9.311641041		
7	21.2915784		4.176892959		
8	21.0208408		3.906155354		
9	20.3633352		3.248649759		
10	18.85494		1.740254559		
11	18.6228792		1.508193759		
12	17.4480714		0.333385959		
13	19.0870008		1.972315359		
14	20.3633352		3.248649759		
15	19.6671528		2.552467359		
16	19.8992136		2.784528159		
17	19.3190616		2.204376159		
18	20.3633352		3.248649759		
19	20.9434872		3.828801759		
20	20.3633352		3.248649759		
21	20.8274568		3.712771359		
22	21.2915784		4.176892959		
23	21.175548		4.060862559		
24	20.595396		3.480710559		
Σ	410.752451		106.8664157		

Tabla 23. CUC VRP, Crítico 3

N	VRP				
	xi	Xm	Xi-Xm	N*xm	CUC
1	33.1326	29.358375	3.774225	704.601	0.82250252
2	32.9904		3.632025		82.25%
3	32.9904		3.632025		
4	32.9904		3.632025		
5	32.9904		3.632025		
6	32.9904		3.632025		
7	32.9904		3.632025		
8	32.9904		3.632025		
9	32.9904		3.632025		
10	32.9904		3.632025		
11	32.9904		3.632025		
12	32.9904		3.632025		
13	32.9904		3.632025		
14	32.8482		3.489825		
15	32.8482		3.489825		
16	32.706		3.347625		
17	32.5638		3.205425		
18	30.9996		1.641225		
19	21.0456		8.312775		
20	18.6282		10.730175		
21	18.6282		10.730175		
22	18.486		10.872375		
23	18.486		10.872375		
24	18.3438		11.014575		
	704.601		125.0649		

Tabla 24. Valores para diseño de grafica CUC del punto crítico 3

#	REG. (-) PSI	VRP (-) PSI	Min Per
1	-21.2915784	-33.1326	-21.335
2	-21.2915784	-32.9904	-21.335
3	-21.175548	-32.9904	-21.335
4	-21.0208408	-32.9904	-21.335
5	-20.9434872	-32.9904	-21.335
6	-20.8274568	-32.9904	-21.335
7	-20.595396	-32.9904	-21.335
8	-20.3633352	-32.9904	-21.335
9	-20.3633352	-32.9904	-21.335
10	-20.3633352	-32.9904	-21.335
11	-20.3633352	-32.9904	-21.335
12	-19.8992136	-32.9904	-21.335
13	-19.6671528	-32.9904	-21.335
14	-19.3190616	-32.8482	-21.335
15	-19.0870008	-32.8482	-21.335
16	-18.85494	-32.706	-21.335
17	-18.6228792	-32.5638	-21.335
18	-17.4480714	-30.9996	-21.335
19	-8.7312876	-21.0456	-21.335
20	-8.3831964	-18.6282	-21.335
21	-8.267166	-18.6282	-21.335
22	-8.1511356	-18.486	-21.335
23	-7.9190748	-18.486	-21.335
24	-7.8030444	-18.3438	-21.335



Grafica 26. CUC, Ea y Er de punto crítico 3 (José Vasconcelos, 240)

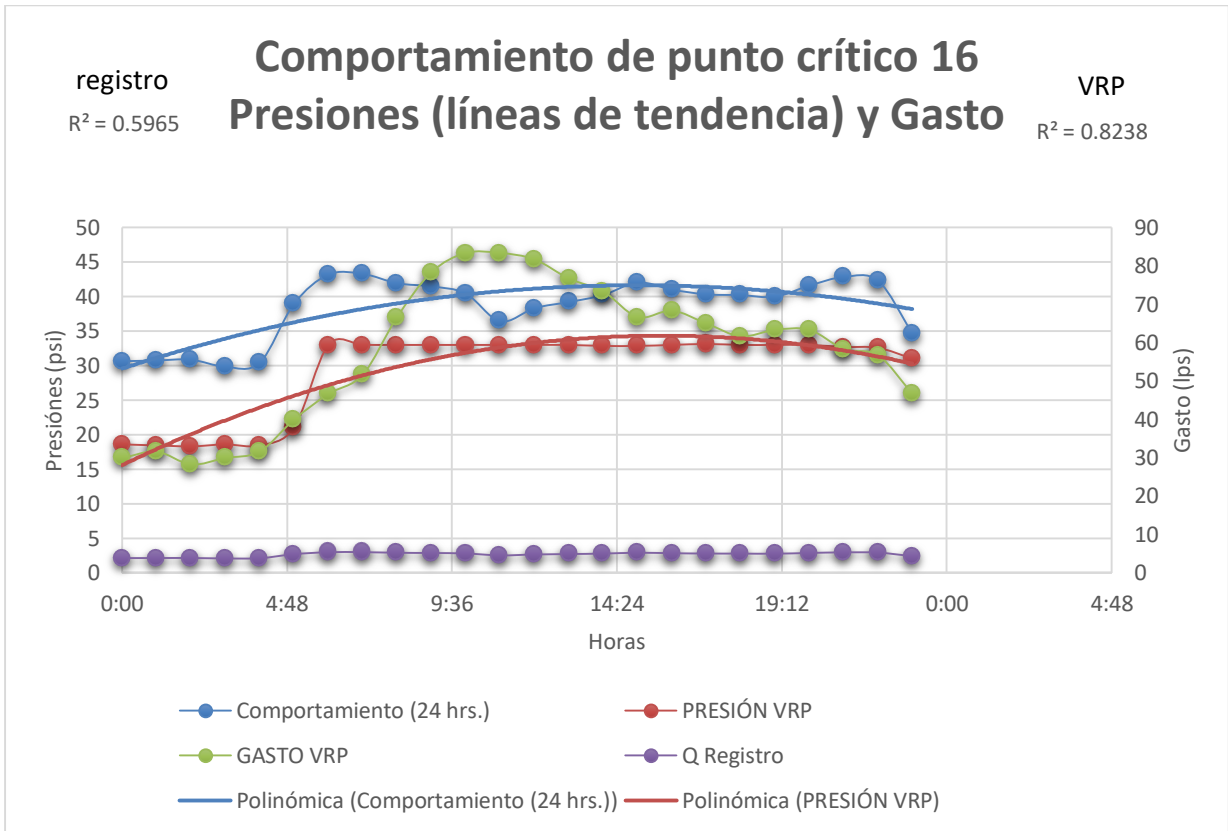
Tabla 25. Resultados de punto crítico 3.

REGISTRO		VRP	
Área I	*	Área I	497.6478
Área II	*	Área II	14.3922
Área III	*	Área III	206.9532
Er=	80.22%	Er=	97.19%
Ea=	100%	Ea=	70.63%

11.3 Punto crítico 16.

Tabla 26. Registro Vs. VRP (PUNTO CRITICO 16, Callejón de los Ayala, 110)

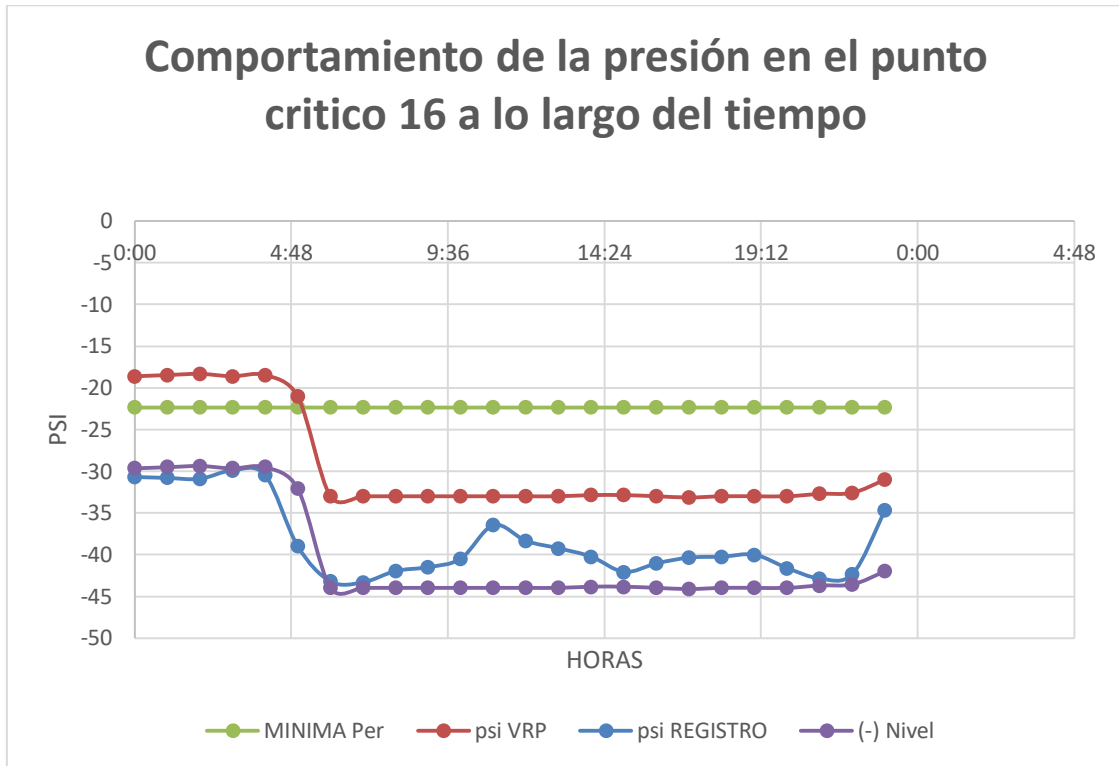
Horario	psi Registro	Q Registro	Psi VRP	Q (lps)
00:00	30.6796581	3.83814199	18.6282	30
01:00	30.7934445	3.8523771	18.486	31.667
02:00	30.9072309	3.86661221	18.3438	28.333
03:00	29.8831533	3.7384962	18.6282	30
04:00	30.4520853	3.80967176	18.486	31.667
05:00	39.0002886	4.87908453	21.0456	40
06:00	43.2246087	5.40756305	32.9904	46.667
07:00	43.3383951	5.42179816	32.9904	51.667
08:00	41.9729583	5.25097682	32.9904	66.667
09:00	41.5178127	5.19403637	32.9904	78.333
10:00	40.4795118	5.06414098	32.9904	83.333
11:00	36.4568	4.56088442	32.9904	83.333
12:00	38.3695444	4.80017603	32.9904	81.667
13:00	39.2569841	4.91119811	32.9904	76.667
14:00	40.2658741	5.03741409	32.8482	73.333
15:00	42.0867447	5.26521193	32.8482	66.667
16:00	41.0484438	5.13531654	32.9904	68.333
17:00	40.3657254	5.04990587	33.1326	65
18:00	40.251939	5.03567076	32.9904	61.667
19:00	40.0243662	5.00720053	32.9904	63.333
20:00	41.6315991	5.20827148	32.9904	63.333
21:00	42.8832495	5.36485771	32.706	58.333
22:00	42.3143175	5.29368215	32.5638	56.667
23:00	34.6621821	4.33637089	30.9996	46.667



Grafica 27. Comportamiento de punto crítico 16, presiones (líneas de tendencia) y Gasto

Tabla 27. Comportamiento de la presión en punto crítico 16

Horario	(-) psi Registro	(-) psi VRP	11 m (-) Nivel	MIN Per
00:00	-30.6796581	-18.6282	-7.6282	-22.335
01:00	-30.7934445	-18.486	-7.486	-22.335
02:00	-30.9072309	-18.3438	-7.3438	-22.335
03:00	-29.8831533	-18.6282	-7.6282	-22.335
04:00	-30.4520853	-18.486	-7.486	-22.335
05:00	-39.0002886	-21.0456	-10.0456	-22.335
06:00	-43.2246087	-32.9904	-21.9904	-22.335
07:00	-43.3383951	-32.9904	-21.9904	-22.335
08:00	-41.9729583	-32.9904	-21.9904	-22.335
09:00	-41.5178127	-32.9904	-21.9904	-22.335
10:00	-40.4795118	-32.9904	-21.9904	-22.335
11:00	-36.4568	-32.9904	-21.9904	-22.335
12:00	-38.3695444	-32.9904	-21.9904	-22.335
13:00	-39.2569841	-32.9904	-21.9904	-22.335
14:00	-40.2658741	-32.8482	-21.8482	-22.335
15:00	-42.0867447	-32.8482	-21.8482	-22.335
16:00	-41.0484438	-32.9904	-21.9904	-22.335
17:00	-40.3657254	-33.1326	-22.1326	-22.335
18:00	-40.251939	-32.9904	-21.9904	-22.335
19:00	-40.0243662	-32.9904	-21.9904	-22.335
20:00	-41.6315991	-32.9904	-21.9904	-22.335
21:00	-42.8832495	-32.706	-21.706	-22.335
22:00	-42.3143175	-32.5638	-21.5638	-22.335
23:00	-34.6621821	-30.9996	-19.9996	-22.335



Grafica 28. Comportamiento de la presión en el punto crítico 16 a lo largo del tiempo

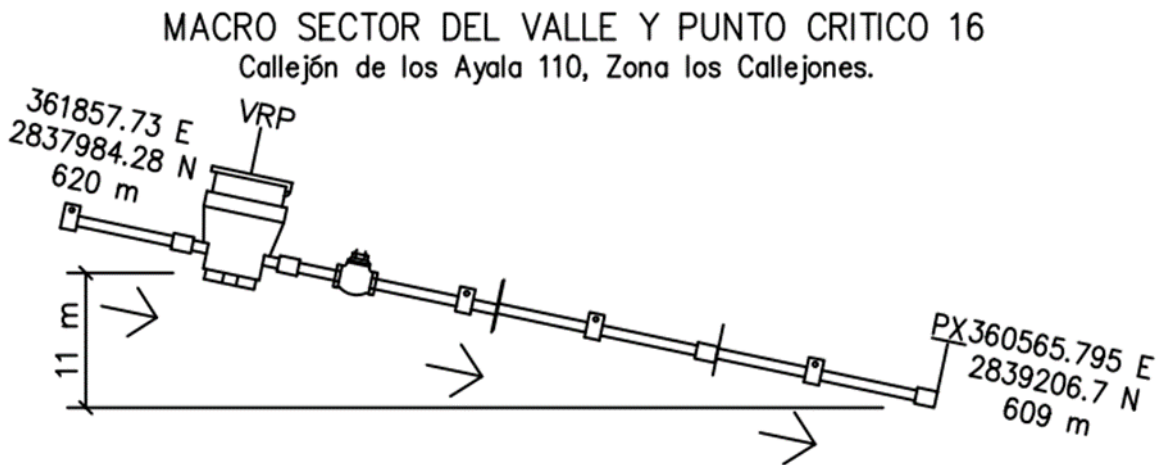


Figura 50. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 16

Tabla 28. CUC crítico 16

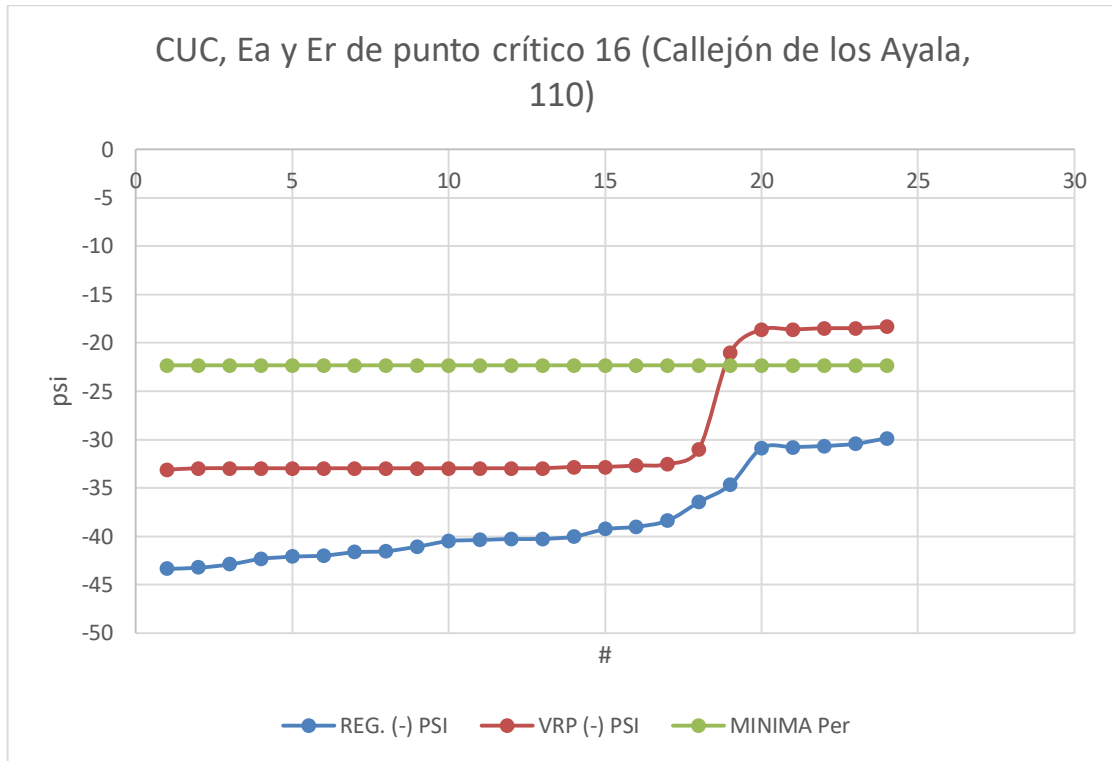
N	xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	30.6796581	38.4111216	7.73146345	921.866917	0.90218789
2	30.7934445		7.61767705		90.22%
3	30.9072309		7.50389065		
4	29.8831533		8.52796825		
5	30.4520853		7.95903625		
6	39.0002886		0.58916705		
7	43.2246087		4.81348715		
8	43.3383951		4.92727355		
9	41.9729583		3.56183675		
10	41.5178127		3.10669115		
11	40.4795118		2.06839025		
12	36.4568		1.95432155		
13	38.3695444		0.04157715		
14	39.2569841		0.84586255		
15	40.2658741		1.85475255		
16	42.0867447		3.67562315		
17	41.0484438		2.63732225		
18	40.3657254		1.95460385		
19	40.251939		1.84081745		
20	40.0243662		1.61324465		
21	41.6315991		3.22047755		
22	42.8832495		4.47212795		
23	42.3143175		3.90319595		
24	34.6621821		3.74893945		

Tabla 29. CUC VRP Crítico 16

N	Psi VRP	Xm	Xi-Xm	N*xm	CUC
1	33.1326	29.358375	3.774225	704.601	0.82250252
2	32.9904		3.632025		82.25%
3	32.9904		3.632025		
4	32.9904		3.632025		
5	32.9904		3.632025		
6	32.9904		3.632025		
7	32.9904		3.632025		
8	32.9904		3.632025		
9	32.9904		3.632025		
10	32.9904		3.632025		
11	32.9904		3.632025		
12	32.9904		3.632025		
13	32.9904		3.632025		
14	32.8482		3.489825		
15	32.8482		3.489825		
16	32.706		3.347625		
17	32.5638		3.205425		
18	30.9996		1.641225		
19	21.0456		8.312775		
20	18.6282		10.730175		
21	18.6282		10.730175		
22	18.486		10.872375		
23	18.486		10.872375		
24	18.3438		11.014575		

Tabla 30. Valores para diseño de grafica CUC del punto crítico 16

#	REG. (-) PSI	VRP (-) PSI	Min Per
1	-43.3383951	-33.1326	-22.335
2	-43.2246087	-32.9904	-22.335
3	-42.8832495	-32.9904	-22.335
4	-42.3143175	-32.9904	-22.335
5	-42.0867447	-32.9904	-22.335
6	-41.9729583	-32.9904	-22.335
7	-41.6315991	-32.9904	-22.335
8	-41.5178127	-32.9904	-22.335
9	-41.0484438	-32.9904	-22.335
10	-40.4795118	-32.9904	-22.335
11	-40.3657254	-32.9904	-22.335
12	-40.2658741	-32.9904	-22.335
13	-40.251939	-32.9904	-22.335
14	-40.0243662	-32.8482	-22.335
15	-39.2569841	-32.8482	-22.335
16	-39.0002886	-32.706	-22.335
17	-38.3695444	-32.5638	-22.335
18	-36.4568	-30.9996	-22.335
19	-34.6621821	-21.0456	-22.335
20	-30.9072309	-18.6282	-22.335
21	-30.7934445	-18.6282	-22.335
22	-30.6796581	-18.486	-22.335
23	-30.4520853	-18.486	-22.335
24	-29.8831533	-18.3438	-22.335



Grafica 29. CUC, Ea y Er de punto crítico 16 (Callejón de los Ayala, 110)

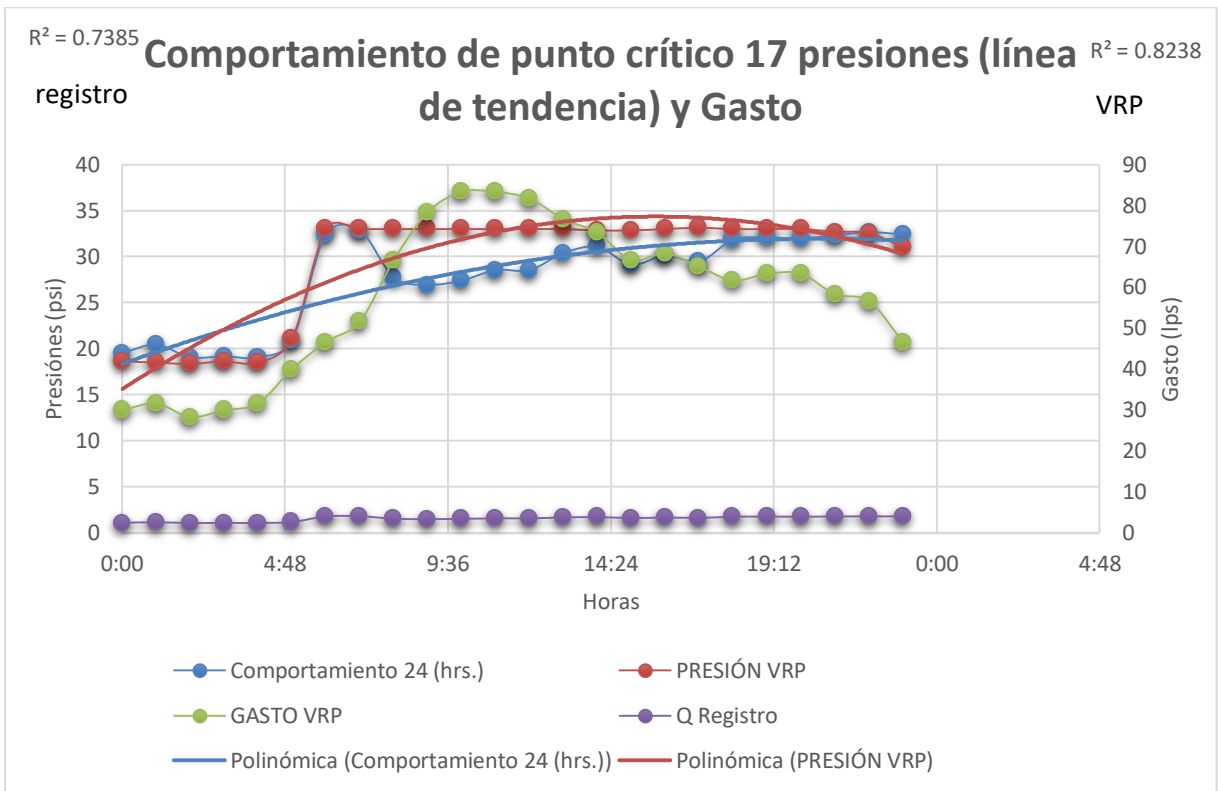
Tabla 31. Resultados de punto crítico 16.

REGISTRO		VRP	
Área I		Área I	497.6478
Área II		Área II	14.3922
Área III		Área III	206.9532
Er=	100%	Er=	97.19%
Ea=	55.4%	Ea=	70.63%

11.4 Punto crítico 17.

Tabla 32. Registro Vs. VRP (PUNTO CRITICO 17, Calz. San Pedro, 48)

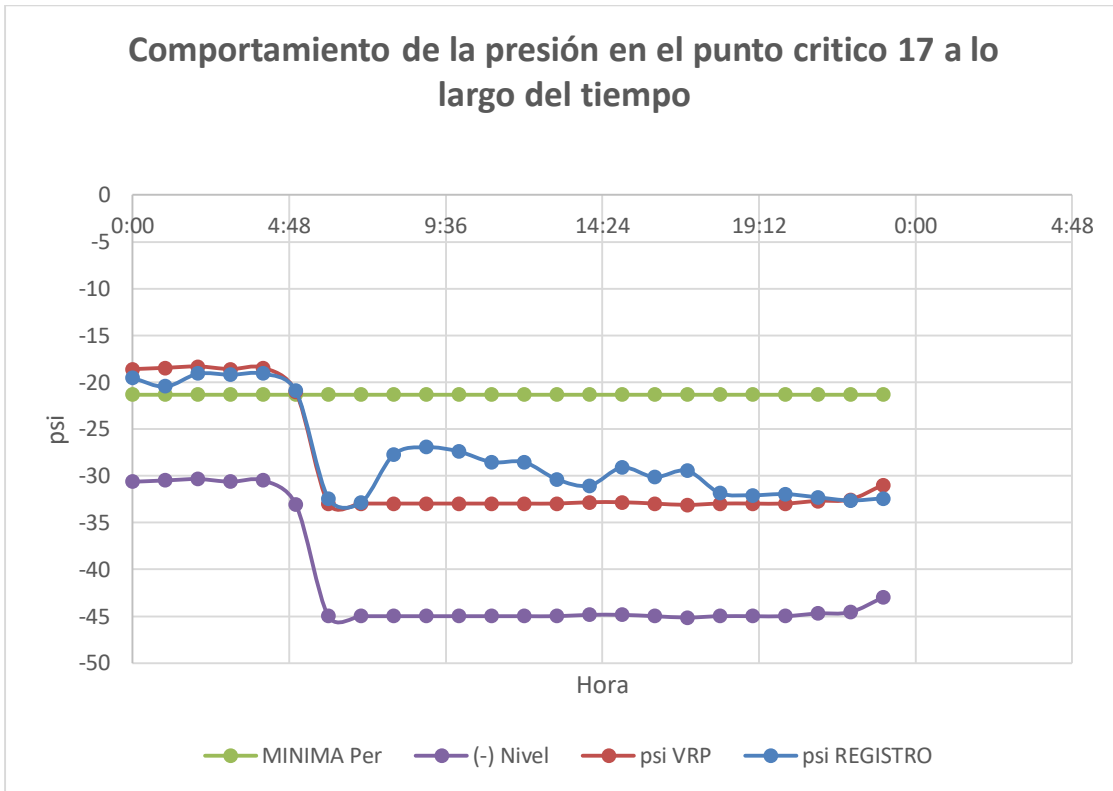
Horario	psi Registro	Q Registro	Psi VRP	Q (lps)
00:00	19.5143676	2.44132165	18.6282	30
01:00	20.4388821	2.55698193	18.486	31.667
02:00	19.059222	2.38438121	18.3438	28.333
03:00	19.1730084	2.39861632	18.6282	30
04:00	19.059222	2.38438121	18.486	31.667
05:00	20.8940277	2.61392238	21.0456	40
06:00	32.4149007	4.05522744	32.9904	46.667
07:00	32.8700463	4.11216789	32.9904	51.667
08:00	27.735435	3.46980847	32.9904	66.667
09:00	26.9389302	3.37016269	32.9904	78.333
10:00	27.3940758	3.42710314	32.9904	83.333
11:00	28.5319398	3.56945425	32.9904	83.333
12:00	28.5319398	3.56945425	32.9904	81.667
13:00	30.3667455	3.79899543	32.9904	76.667
14:00	31.0494639	3.8844061	32.8482	73.333
15:00	29.1150951	3.6424092	32.8482	66.667
16:00	30.1391727	3.77052521	32.9904	68.333
17:00	29.4564543	3.68511453	33.1326	65
18:00	31.8459687	3.98405188	32.9904	61.667
19:00	32.0735415	4.0125221	32.9904	63.333
20:00	31.9597551	3.99828699	32.9904	63.333
21:00	32.3011143	4.04099233	32.706	58.333
22:00	32.6424735	4.08369766	32.5638	56.667
23:00	32.4149007	4.05522744	30.9996	46.667



Grafica 30. Comportamiento de punto crítico 17 (línea de tendencia) y Gasto.

Tabla 33. Comportamiento de la presión en el punto crítico 17

Horario	(-) PSI	(-) PSI	12 m (-) Nivel	Min Per
00:00	-19.5143676	-18.6282	-6.6282	-21.335
01:00	-20.4388821	-18.486	-6.486	-21.335
02:00	-19.059222	-18.3438	-6.3438	-21.335
03:00	-19.1730084	-18.6282	-6.6282	-21.335
04:00	-19.059222	-18.486	-6.486	-21.335
05:00	-20.8940277	-21.0456	-9.0456	-21.335
06:00	-32.4149007	-32.9904	-20.9904	-21.335
07:00	-32.8700463	-32.9904	-20.9904	-21.335
08:00	-27.735435	-32.9904	-20.9904	-21.335
09:00	-26.9389302	-32.9904	-20.9904	-21.335
10:00	-27.3940758	-32.9904	-20.9904	-21.335
11:00	-28.5319398	-32.9904	-20.9904	-21.335
12:00	-28.5319398	-32.9904	-20.9904	-21.335
13:00	-30.3667455	-32.9904	-20.9904	-21.335
14:00	-31.0494639	-32.8482	-20.8482	-21.335
15:00	-29.1150951	-32.8482	-20.8482	-21.335
16:00	-30.1391727	-32.9904	-20.9904	-21.335
17:00	-29.4564543	-33.1326	-21.1326	-21.335
18:00	-31.8459687	-32.9904	-20.9904	-21.335
19:00	-32.0735415	-32.9904	-20.9904	-21.335
20:00	-31.9597551	-32.9904	-20.9904	-21.335
21:00	-32.3011143	-32.706	-20.706	-21.335
22:00	-32.6424735	-32.5638	-20.5638	-21.335
23:00	-32.4149007	-30.9996	-18.9996	-21.335



Grafica 31 Comportamiento de la presión en el punto crítico 17 a lo largo del tiempo.

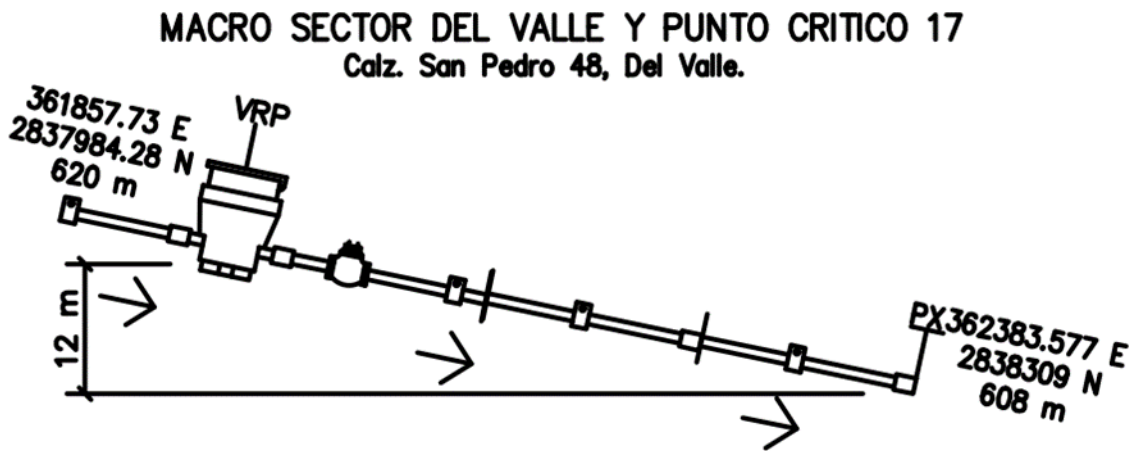


Figura 51. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 17.

Tabla 34. CUC Crítico 17

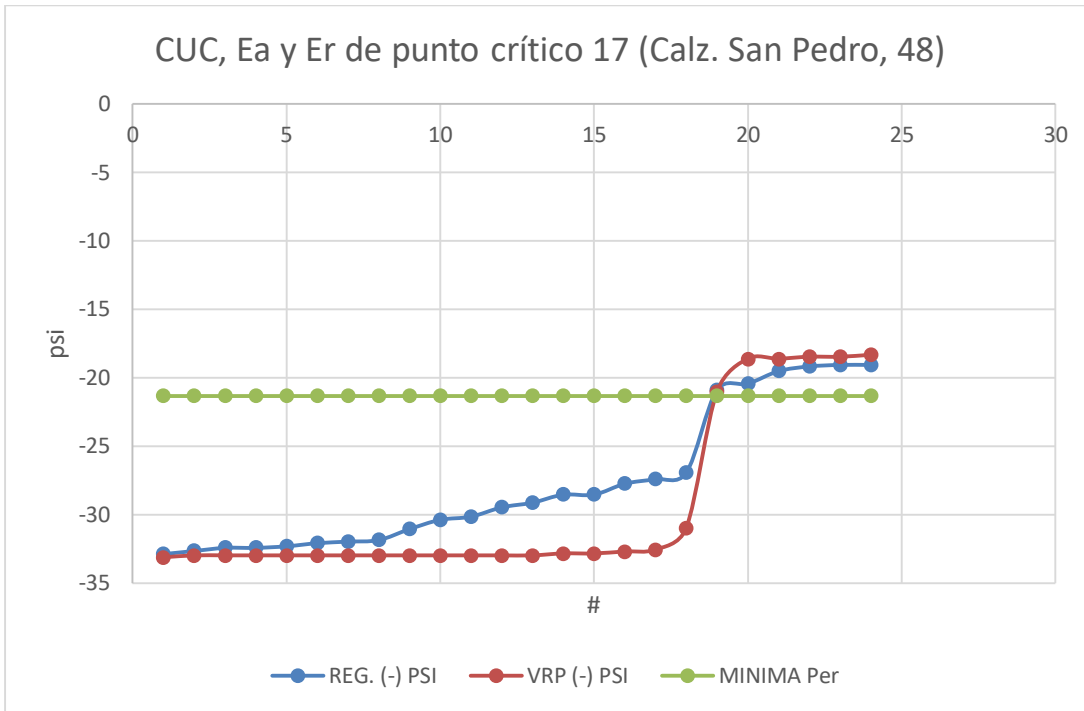
N	xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	19.5143676	27.7466951	8.23232751	665.920683	0.85129435
2	20.4388821		7.30781301		85.13%
3	19.059222		8.68747311		
4	19.1730084		8.57368671		
5	19.059222		8.68747311		
6	20.8940277		6.85266741		
7	32.4149007		4.66820559		
8	32.8700463		5.12335119		
9	27.735435		0.01126011		
10	26.9389302		0.80776491		
11	27.3940758		0.35261931		
12	28.5319398		0.78524469		
13	28.5319398		0.78524469		
14	30.3667455		2.62005039		
15	31.0494639		3.30276879		
16	29.1150951		1.36839999		
17	30.1391727		2.39247759		
18	29.4564543		1.70975919		
19	31.8459687		4.09927359		
20	32.0735415		4.32684639		
21	31.9597551		4.21305999		
22	32.3011143		4.55441919		
23	32.6424735		4.89577839		
24	32.4149007		4.66820559		
Σ	665.920683		99.0261704		

Tabla 35. CUC VRO crítico 17

N	Xi	Xm	Xi-Xm	N*xm	CUC
1	-33.1326	29.358375	3.774225	704.601	0.82250252
2	-32.9904		3.632025		82.25%
3	-32.9904		3.632025		
4	-32.9904		3.632025		
5	-32.9904		3.632025		
6	-32.9904		3.632025		
7	-32.9904		3.632025		
8	-32.9904		3.632025		
9	-32.9904		3.632025		
10	-32.9904		3.632025		
11	-32.9904		3.632025		
12	-32.9904		3.632025		
13	-32.9904		3.632025		
14	-32.8482		3.489825		
15	-32.8482		3.489825		
16	-32.706		3.347625		
17	-32.5638		3.205425		
18	-30.9996		1.641225		
19	-21.0456		8.312775		
20	-18.6282		10.730175		
21	-18.6282		10.730175		
22	-18.486		10.872375		
23	-18.486		10.872375		
24	-18.3438		11.014575		
	704.601		125.0649		

Tabla 36. Valores para diseño de gráfica CUC del punto crítico 17

#	REG.	VRP	Min Per
	(-) PSI	(-) PSI	
1	-32.8700463	-33.1326	-21.335
2	-32.6424735	-32.9904	-21.335
3	-32.4149007	-32.9904	-21.335
4	-32.4149007	-32.9904	-21.335
5	-32.3011143	-32.9904	-21.335
6	-32.0735415	-32.9904	-21.335
7	-31.9597551	-32.9904	-21.335
8	-31.8459687	-32.9904	-21.335
9	-31.0494639	-32.9904	-21.335
10	-30.3667455	-32.9904	-21.335
11	-30.1391727	-32.9904	-21.335
12	-29.4564543	-32.9904	-21.335
13	-29.1150951	-32.9904	-21.335
14	-28.5319398	-32.8482	-21.335
15	-28.5319398	-32.8482	-21.335
16	-27.735435	-32.706	-21.335
17	-27.3940758	-32.5638	-21.335
18	-26.9389302	-30.9996	-21.335
19	-20.8940277	-21.0456	-21.335
20	-20.4388821	-18.6282	-21.335
21	-19.5143676	-18.6282	-21.335
22	-19.1730084	-18.486	-21.335
23	-19.059222	-18.486	-21.335
24	-19.059222	-18.3438	-21.335



Grafica 32. CUC, Ea y Er de punto crítico 17 (Calz. San Pedro, 48)

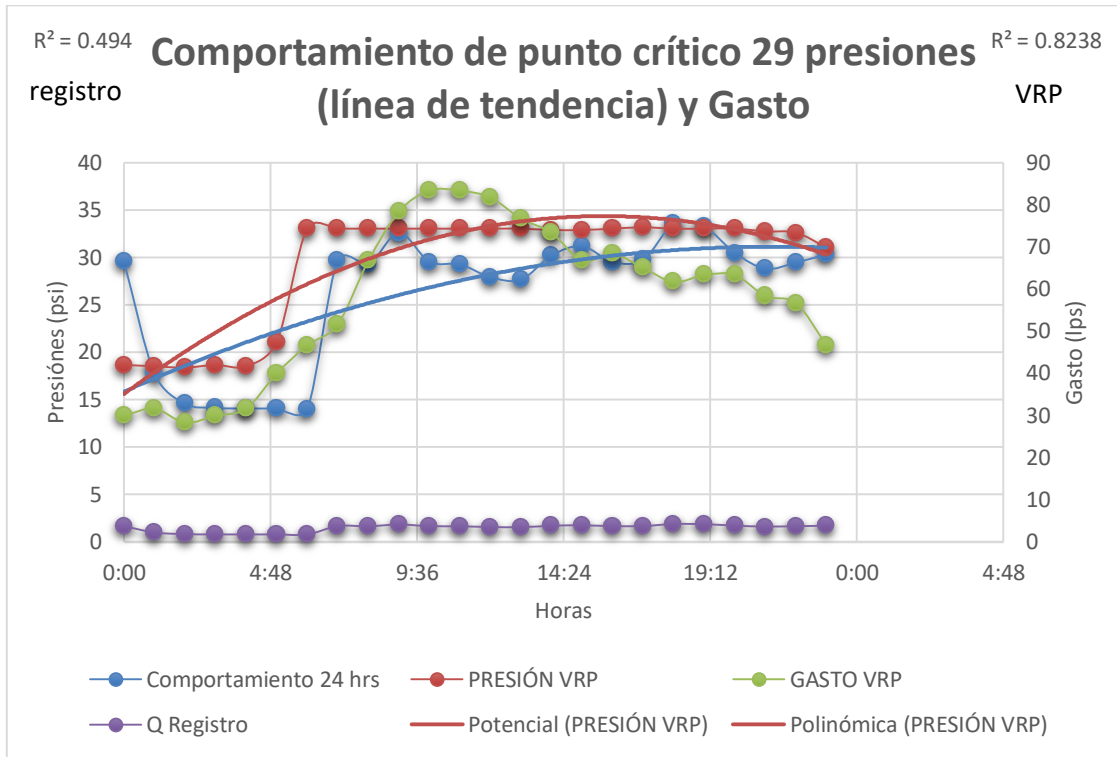
Tabla 37. Resultados de punto crítico 17

REGISTRO		VRP	
Área I	502.16873	Área I	497.6478
Área II	9.8712702	Área II	14.3922
Área III	163.751953	Área III	206.9532
Er=	98.07%	Er=	97.19%
Ea=	75.41%	Ea=	70.63%

11.5 Punto crítico 29

Tabla 38. Registro Vs. VRP (PUNTO CRÍTICO 29, Vía Angélica, 328)

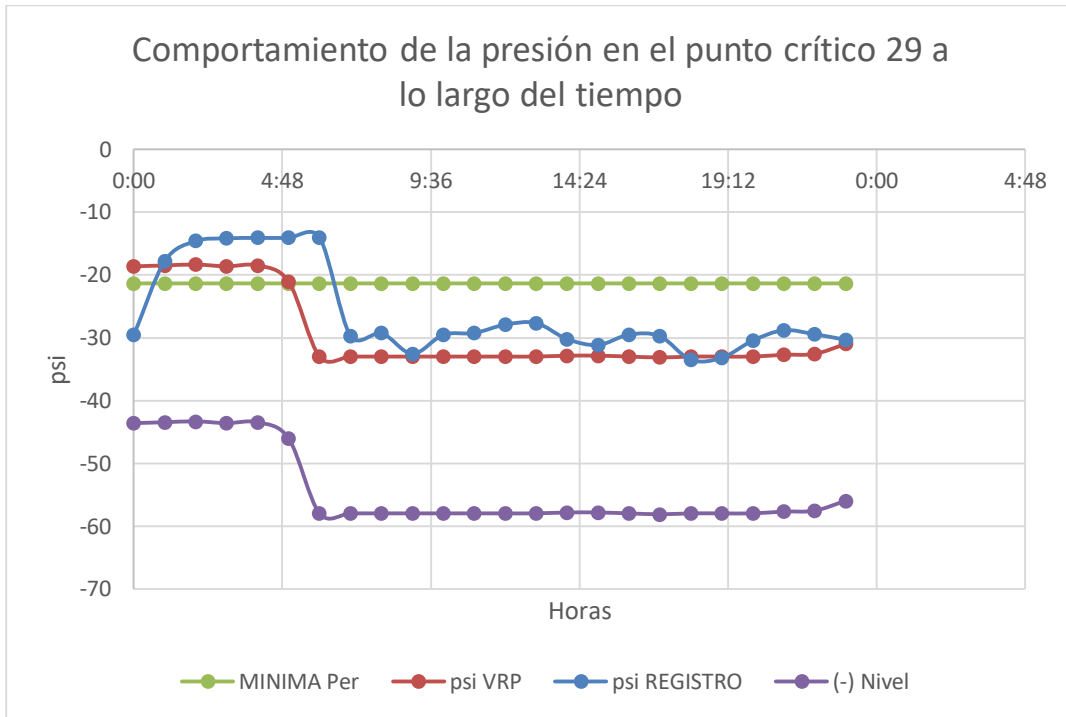
Horario	psi	Q Registro	PSI	Q (lps)
	Registro			
00:00	29.5773524	3.70023934	18.6282	30
01:00	17.7592124	2.22174505	18.486	31.667
02:00	14.5646592	1.82209429	18.3438	28.333
03:00	14.1180476	1.76622148	18.6282	30
04:00	14.0540427	1.75821423	18.486	31.667
05:00	14.0540427	1.75821423	21.0456	40
06:00	13.9900379	1.75020698	32.9904	46.667
07:00	29.7053621	3.71625384	32.9904	51.667
08:00	29.2587504	3.66038103	32.9904	66.667
09:00	32.579891	4.07586835	32.9904	78.333
10:00	29.536412	3.69511755	32.9904	83.333
11:00	29.265487	3.6612238	32.9904	83.333
12:00	27.9160709	3.49240671	32.9904	81.667
13:00	27.6614738	3.46055565	32.9904	76.667
14:00	30.2159785	3.78013391	32.8482	73.333
15:00	31.1746289	3.90006472	32.8482	66.667
16:00	29.5133475	3.69223209	32.9904	68.333
17:00	29.7693669	3.72426109	33.1326	65
18:00	33.5385414	4.19579917	32.9904	61.667
19:00	33.2185172	4.15576291	32.9904	63.333
20:00	30.4719979	3.81216291	32.9904	63.333
21:00	28.8107165	3.60433028	32.706	58.333
22:00	29.4493427	3.68422484	32.5638	56.667
23:00	30.3439882	3.79614841	30.9996	46.667



Grafica 33. Comportamiento de punto crítico 29 presiones (línea de tendencia) y Gasto

Tabla 39. Comportamiento de la presión en el punto crítico 29

Horario	(-) psi Registro	(-) psi VRP	25 m (-) Nivel	Min Per
00:00	-29.5773524	-18.6282	6.3718	-21.335
01:00	-17.7592124	-18.486	6.514	-21.335
02:00	-14.5646592	-18.3438	6.6562	-21.335
03:00	-14.1180476	-18.6282	6.3718	-21.335
04:00	-14.0540427	-18.486	6.514	-21.335
05:00	-14.0540427	-21.0456	3.9544	-21.335
06:00	-13.9900379	-32.9904	-7.9904	-21.335
07:00	-29.7053621	-32.9904	-7.9904	-21.335
08:00	-29.2587504	-32.9904	-7.9904	-21.335
09:00	-32.579891	-32.9904	-7.9904	-21.335
10:00	-29.536412	-32.9904	-7.9904	-21.335
11:00	-29.265487	-32.9904	-7.9904	-21.335
12:00	-27.9160709	-32.9904	-7.9904	-21.335
13:00	-27.6614738	-32.9904	-7.9904	-21.335
14:00	-30.2159785	-32.8482	-7.8482	-21.335
15:00	-31.1746289	-32.8482	-7.8482	-21.335
16:00	-29.5133475	-32.9904	-7.9904	-21.335
17:00	-29.7693669	-33.1326	-8.1326	-21.335
18:00	-33.5385414	-32.9904	-7.9904	-21.335
19:00	-33.2185172	-32.9904	-7.9904	-21.335
20:00	-30.4719979	-32.9904	-7.9904	-21.335
21:00	-28.8107165	-32.706	-7.706	-21.335
22:00	-29.4493427	-32.5638	-7.5638	-21.335
23:00	-30.3439882	-30.9996	-5.9996	-21.335



Grafica 34. Comportamiento de la presión del punto crítico 29 a lo largo del tiempo

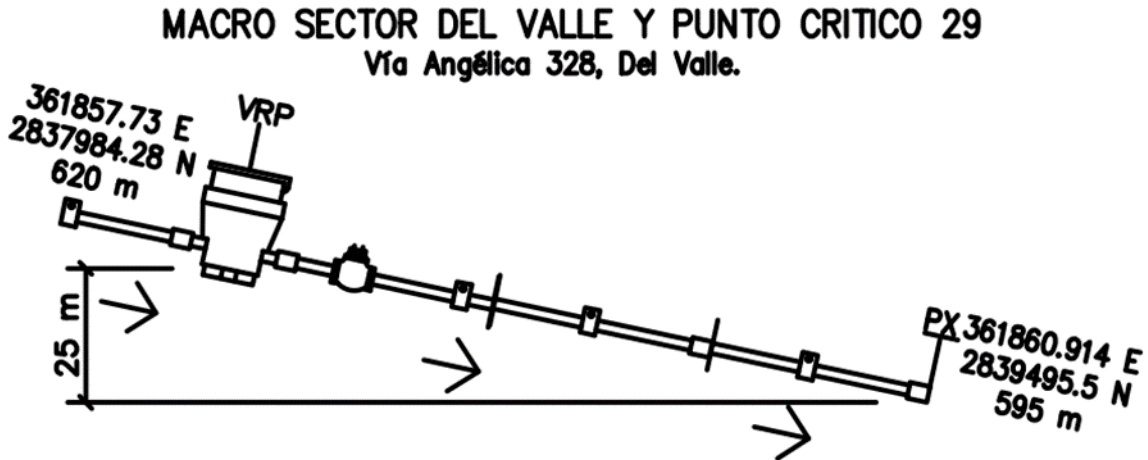


Figura 52. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 29

Tabla 40. CUC Crítico 29

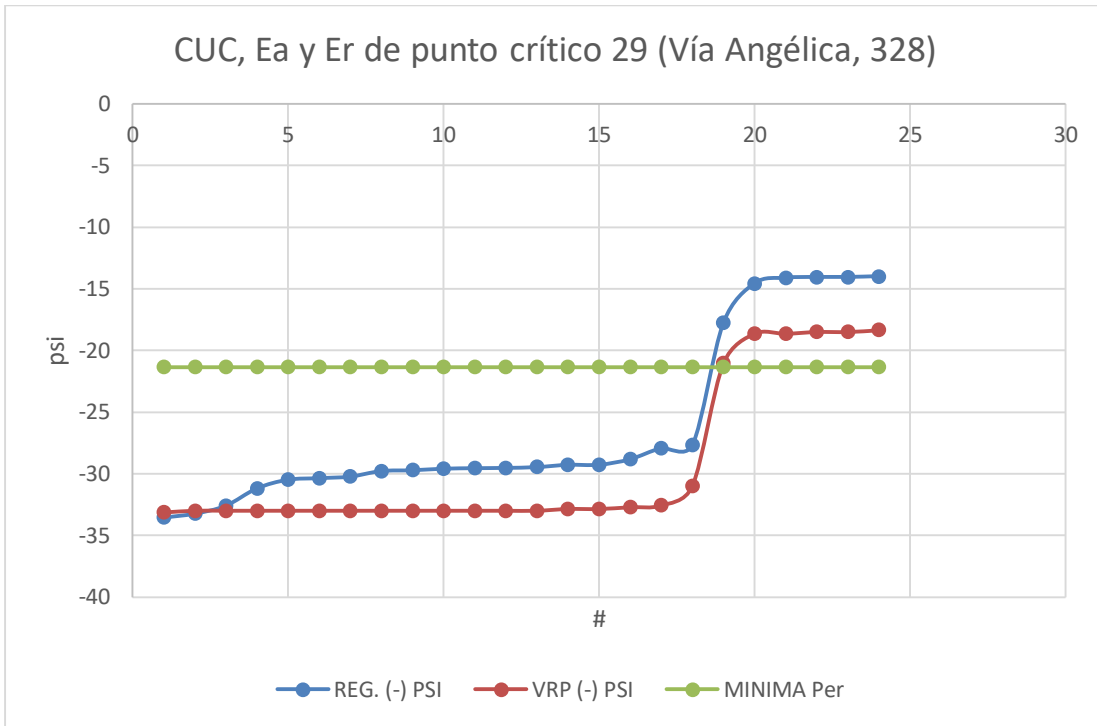
N	xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	29.5773524	26.2728028	3.30454953	630.547268	0.78083554
2	17.7592124		8.51359044		78.08%
3	14.5646592		11.7081436		
4	14.1180476		12.1547552		
5	14.0540427		12.2187601		
6	14.0540427		12.2187601		
7	13.9900379		12.2827649		
8	29.7053621		3.43255923		
9	29.2587504		2.98594761		
10	32.579891		6.30708816		
11	29.536412		3.26360918		
12	29.265487		2.99268418		
13	27.9160709		1.64326809		
14	27.6614738		1.38867102		
15	30.2159785		3.9431757		
16	31.1746289		4.90182612		
17	29.5133475		3.24054468		
18	29.7693669		3.49656408		
19	33.5385414		7.26573858		
20	33.2185172		6.94571433		
21	30.4719979		4.1991951		
22	28.8107165		2.53791366		
23	29.4493427		3.17653983		
24	30.3439882		4.0711854		
Σ	630.547268		138.193549		

Tabla 41. CUC VRP crítico 29

N	Xi	Xm	Xi-Xm	N*xm	CUC
1	-33.1326	29.358375	3.774225	704.601	0.82250252
2	-32.9904		3.632025		82.25%
3	-32.9904		3.632025		
4	-32.9904		3.632025		
5	-32.9904		3.632025		
6	-32.9904		3.632025		
7	-32.9904		3.632025		
8	-32.9904		3.632025		
9	-32.9904		3.632025		
10	-32.9904		3.632025		
11	-32.9904		3.632025		
12	-32.9904		3.632025		
13	-32.9904		3.632025		
14	-32.8482		3.489825		
15	-32.8482		3.489825		
16	-32.706		3.347625		
17	-32.5638		3.205425		
18	-30.9996		1.641225		
19	-21.0456		8.312775		
20	-18.6282		10.730175		
21	-18.6282		10.730175		
22	-18.486		10.872375		
23	-18.486		10.872375		
24	-18.3438		11.014575		
	704.601		125.0649		

Tabla 42. Valores para diseño de grafica CUC del punto crítico 29

#	REG.	VRP	Min Per
	(-) PSI	(-) PSI	
1	-33.5385414	-33.1326	-21.335
2	-33.2185172	-32.9904	-21.335
3	-32.579891	-32.9904	-21.335
4	-31.1746289	-32.9904	-21.335
5	-30.4719979	-32.9904	-21.335
6	-30.3439882	-32.9904	-21.335
7	-30.2159785	-32.9904	-21.335
8	-29.7693669	-32.9904	-21.335
9	-29.7053621	-32.9904	-21.335
10	-29.5773524	-32.9904	-21.335
11	-29.536412	-32.9904	-21.335
12	-29.5133475	-32.9904	-21.335
13	-29.4493427	-32.9904	-21.335
14	-29.265487	-32.8482	-21.335
15	-29.2587504	-32.8482	-21.335
16	-28.8107165	-32.706	-21.335
17	-27.9160709	-32.5638	-21.335
18	-27.6614738	-30.9996	-21.335
19	-17.7592124	-21.0456	-21.335
20	-14.5646592	-18.6282	-21.335
21	-14.1180476	-18.6282	-21.335
22	-14.0540427	-18.486	-21.335
23	-14.0540427	-18.486	-21.335
24	-13.9900379	-18.3438	-21.335



Grafica 35. CUC, Ea y Er de punto crítico 29 (Vía Angélica, 328)

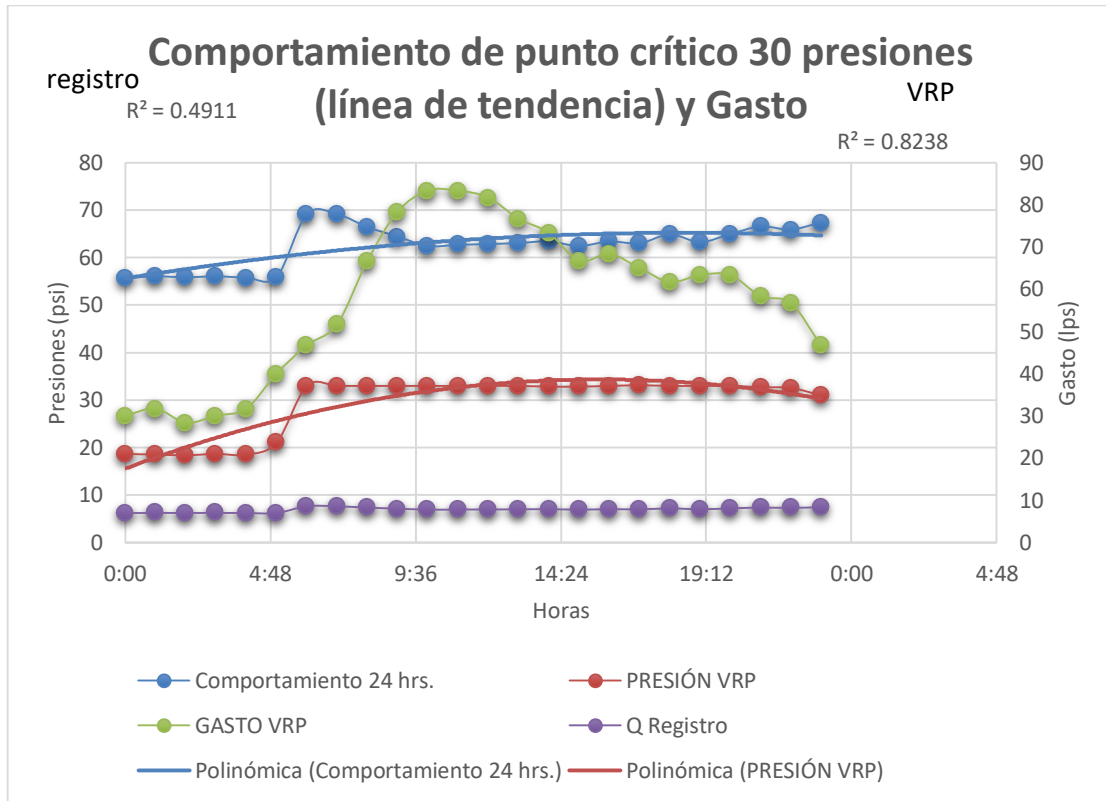
Tabla 43. Resultados de punto crítico 29

REGISTRO		VRP	
Área I	472.569953	Área I	497.6478
Área II	39.4699575	Área II	14.3922
Área III	157.977315	Área III	206.9532
Er=	92.29%	Er=	97.19%
Ea=	74.95%	Ea=	70.63%

11.6 Punto crítico 30.

Tabla 44. Registro Vs. VRP (Punto crítico 30, Vía Angélica, 328)

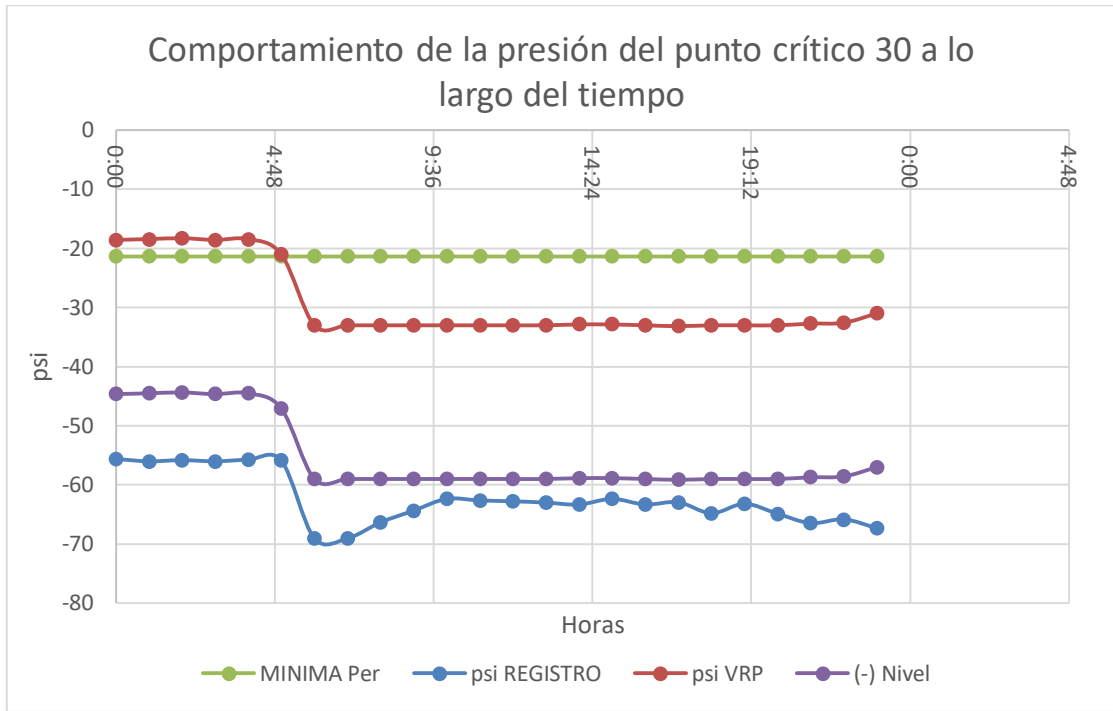
Horario	psi Registro	Q Registro	psi VRP	Q (lps)
00:00	55.6415496	6.96096961	18.6282	30
01:00	56.027001	7.00919105	18.486	31.667
02:00	55.8335642	6.98499136	18.3438	28.333
03:00	56.027001	7.00919105	18.6282	30
04:00	55.7695593	6.97698411	18.486	31.667
05:00	55.897569	6.99299861	21.0456	40
06:00	69.0697671	8.64089073	32.9904	46.667
07:00	69.0697671	8.64089073	32.9904	51.667
08:00	66.3701848	8.3031627	32.9904	66.667
09:00	64.3789228	8.05404825	32.9904	78.333
10:00	62.3876608	7.80493379	32.9904	83.333
11:00	62.658746	7.83884758	32.9904	83.333
12:00	62.798522	7.85633409	32.9904	81.667
13:00	63.021547	7.88423537	32.9904	76.667
14:00	63.3505782	7.92539843	32.8482	73.333
15:00	62.3876608	7.80493379	32.8482	66.667
16:00	63.3505782	7.92539843	32.9904	68.333
17:00	62.9651268	7.87717698	33.1326	65
18:00	64.8283791	8.11027694	32.9904	61.667
19:00	63.2225685	7.90938392	32.9904	63.333
20:00	64.8923839	8.11828419	32.9904	63.333
21:00	66.4996168	8.31935514	32.706	58.333
22:00	65.8567237	8.23892676	32.5638	56.667
23:00	67.3345245	8.42380527	30.9996	46.667



Grafica 36. Comportamiento de punto crítico 30 presiones (línea de tendencia) y Gasto

Tabla 45. Comportamiento de la presión en el punto crítico 30

Horario	(-) PSI	(-) PSI	26 m (-) Nivel	Min Per
00:00	-55.6415496	-18.6282	7.3718	-21.335
01:00	-56.027001	-18.486	7.514	-21.335
02:00	-55.8335642	-18.3438	7.6562	-21.335
03:00	-56.027001	-18.6282	7.3718	-21.335
04:00	-55.7695593	-18.486	7.514	-21.335
05:00	-55.897569	-21.0456	4.9544	-21.335
06:00	-69.0697671	-32.9904	-6.9904	-21.335
07:00	-69.0697671	-32.9904	-6.9904	-21.335
08:00	-66.3701848	-32.9904	-6.9904	-21.335
09:00	-64.3789228	-32.9904	-6.9904	-21.335
10:00	-62.3876608	-32.9904	-6.9904	-21.335
11:00	-62.658746	-32.9904	-6.9904	-21.335
12:00	-62.798522	-32.9904	-6.9904	-21.335
13:00	-63.021547	-32.9904	-6.9904	-21.335
14:00	-63.3505782	-32.8482	-6.8482	-21.335
15:00	-62.3876608	-32.8482	-6.8482	-21.335
16:00	-63.3505782	-32.9904	-6.9904	-21.335
17:00	-62.9651268	-33.1326	-7.1326	-21.335
18:00	-64.8283791	-32.9904	-6.9904	-21.335
19:00	-63.2225685	-32.9904	-6.9904	-21.335
20:00	-64.8923839	-32.9904	-6.9904	-21.335
21:00	-66.4996168	-32.706	-6.706	-21.335
22:00	-65.8567237	-32.5638	-6.5638	-21.335
23:00	-67.3345245	-30.9996	-4.9996	-21.335



Grafica 37. Comportamiento de la presión del punto crítico 30 a lo largo del tiempo

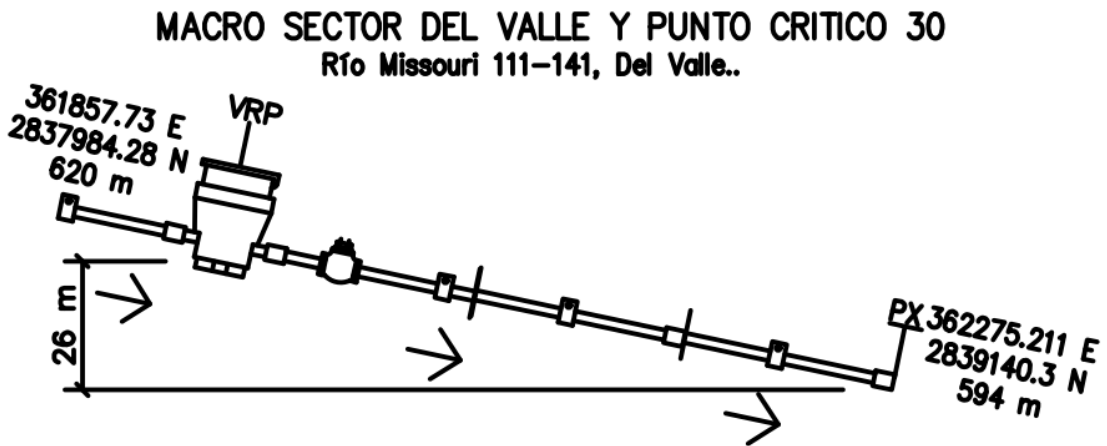


Figura 53. Posicionamiento de la VP, respecto al punto crítico 30

Tabla 46. CUC crítico 30

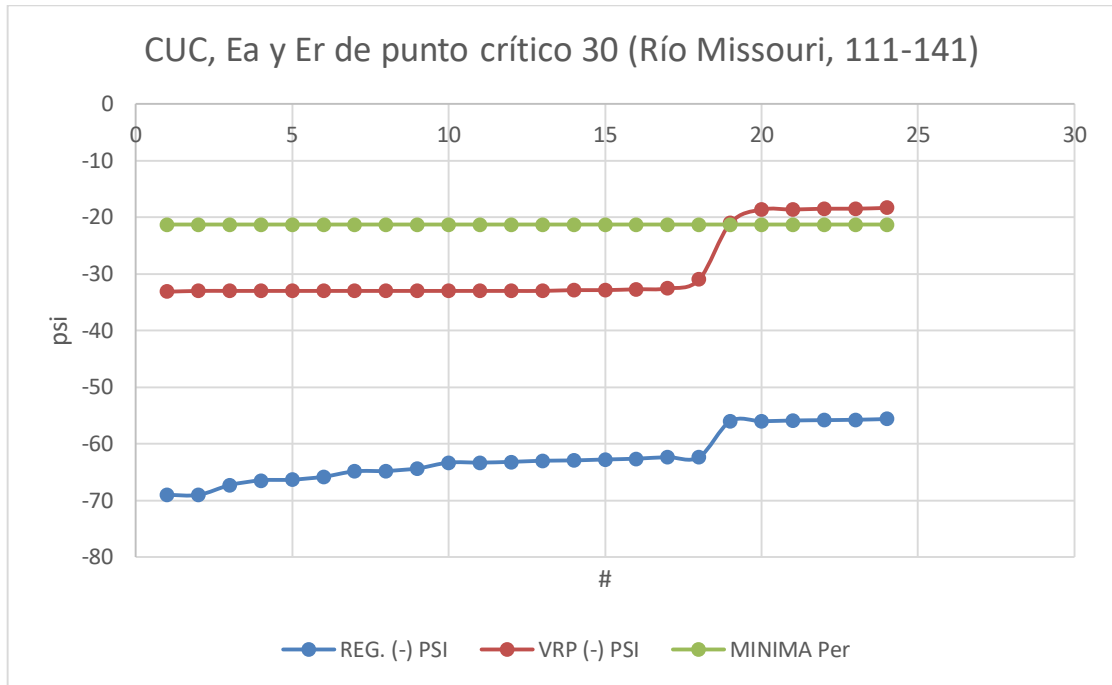
N	xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	55.6415496	62.4849793	6.84342966	1499.6395	0.94677618
2	56.027001		6.45797823		94.68%
3	55.8335642		6.65141511		
4	56.027001		6.45797823		
5	55.7695593		6.71541996		
6	55.897569		6.58741026		
7	69.0697671		6.58478787		
8	69.0697671		6.58478787		
9	66.3701848		3.88520553		
10	64.3789228		1.89394353		
11	62.3876608		0.09731847		
12	62.658746		0.17376674		
13	62.798522		0.31354274		
14	63.021547		0.53656774		
15	63.3505782		0.86559894		
16	62.3876608		0.09731847		
17	63.3505782		0.86559894		
18	62.9651268		0.48014751		
19	64.8283791		2.34339981		
20	63.2225685		0.73758924		
21	64.8923839		2.40740466		
22	66.4996168		4.01463756		
23	65.8567237		3.3717444		
24	67.3345245		4.84954527		
Σ	1499.6395		79.8165368		

Tabla 47. CUC VRP critico 30

N	Valv	Xm	Xi-Xm	N*xm	CUC
1	-33.1326	29.358375	3.774225	704.601	0.82250252
2	-32.9904		3.632025		82.25%
3	-32.9904		3.632025		
4	-32.9904		3.632025		
5	-32.9904		3.632025		
6	-32.9904		3.632025		
7	-32.9904		3.632025		
8	-32.9904		3.632025		
9	-32.9904		3.632025		
10	-32.9904		3.632025		
11	-32.9904		3.632025		
12	-32.9904		3.632025		
13	-32.9904		3.632025		
14	-32.8482		3.489825		
15	-32.8482		3.489825		
16	-32.706		3.347625		
17	-32.5638		3.205425		
18	-30.9996		1.641225		
19	-21.0456		8.312775		
20	-18.6282		10.730175		
21	-18.6282		10.730175		
22	-18.486		10.872375		
23	-18.486		10.872375		
24	-18.3438		11.014575		
Σ	704.601		125.0649		

Tabla 48. Valores para diseño de gráfica CUC del punto crítico 30

#	REG. (-) PSI	VRP (-) PSI	MINIMA Per
1	-69.0697671	-33.1326	-21.335
2	-69.0697671	-32.9904	-21.335
3	-67.3345245	-32.9904	-21.335
4	-66.4996168	-32.9904	-21.335
5	-66.3701848	-32.9904	-21.335
6	-65.8567237	-32.9904	-21.335
7	-64.8923839	-32.9904	-21.335
8	-64.8283791	-32.9904	-21.335
9	-64.3789228	-32.9904	-21.335
10	-63.3505782	-32.9904	-21.335
11	-63.3505782	-32.9904	-21.335
12	-63.2225685	-32.9904	-21.335
13	-63.021547	-32.9904	-21.335
14	-62.9651268	-32.8482	-21.335
15	-62.798522	-32.8482	-21.335
16	-62.658746	-32.706	-21.335
17	-62.3876608	-32.5638	-21.335
18	-62.3876608	-30.9996	-21.335
19	-56.027001	-21.0456	-21.335
20	-56.027001	-18.6282	-21.335
21	-55.897569	-18.6282	-21.335
22	-55.8335642	-18.486	-21.335
23	-55.7695593	-18.486	-21.335
24	-55.6415496	-18.3438	-21.335



Grafica 38. CUC, Ea y Er de punto crítico 30 (Río Missouri, 111-141)

Tabla 49, Resultado de punto crítico 30

REGISTRO		VRP	
Área I		Área I	497.6478
Área II		Área II	14.3922
Área III		Área III	206.9532
Er=	100%	Er=	97.19%
Ea=	34.14%	Ea=	70.63%

A continuación se presentan mallas de presión de cada registro, esto para poder comparar con la malla topográfica y poder comprender bien la causa de estas variaciones.

11.7 Malla De Presiones

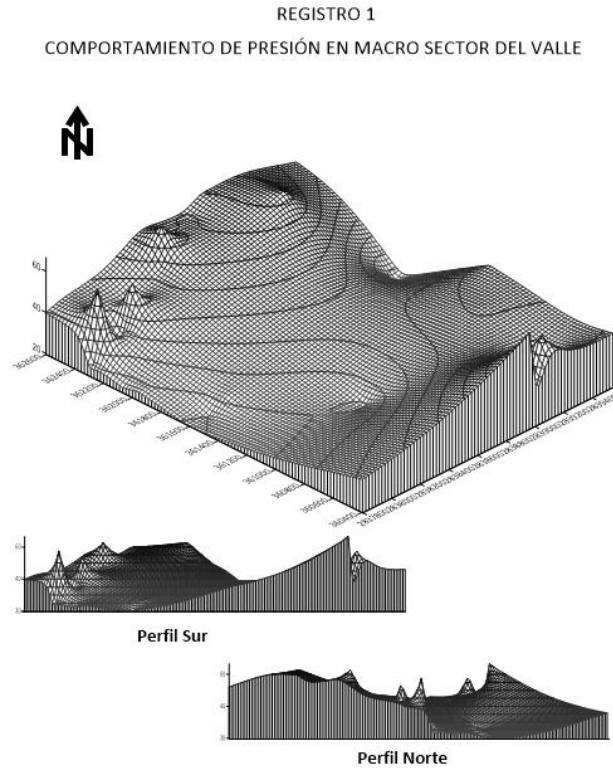


Figura 54. Malla de presiones del registro 1 (Elaboración propia)

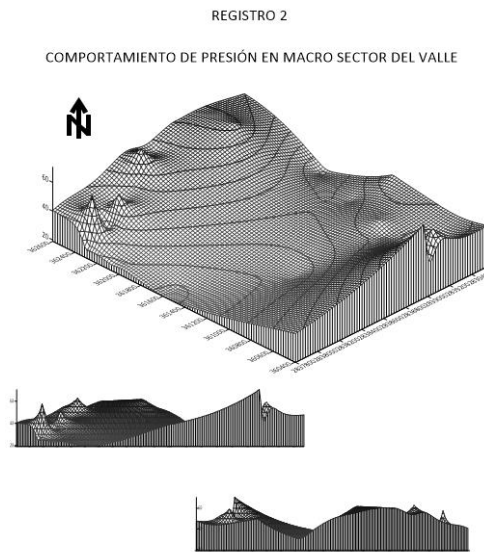


Figura 55. Malla de presiones del registro 2 (Elaboración propia)

REGISTRO 3
COMPORTAMIENTO DE PRESIÓN EN MACRO SECTOR DEL VALLE

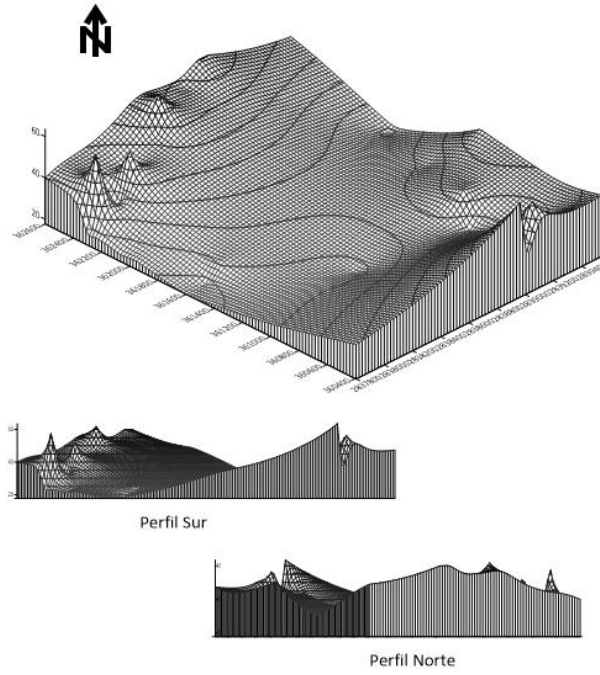


Figura 56. Malla de presiones del registro 3 (Elaboración propia)

REGISTRO 4
COMPORTAMIENTO DE PRESIÓN EN MACRO SECTOR DEL VALLE

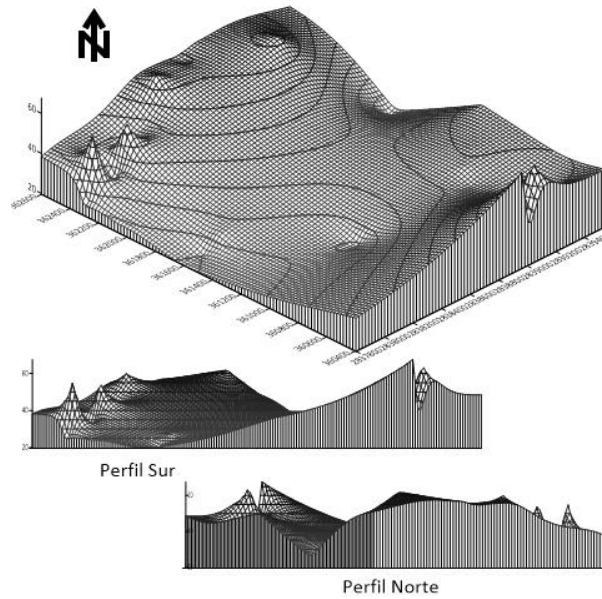


Figura 57. Malla de presiones del registro 4 (Elaboración propia)

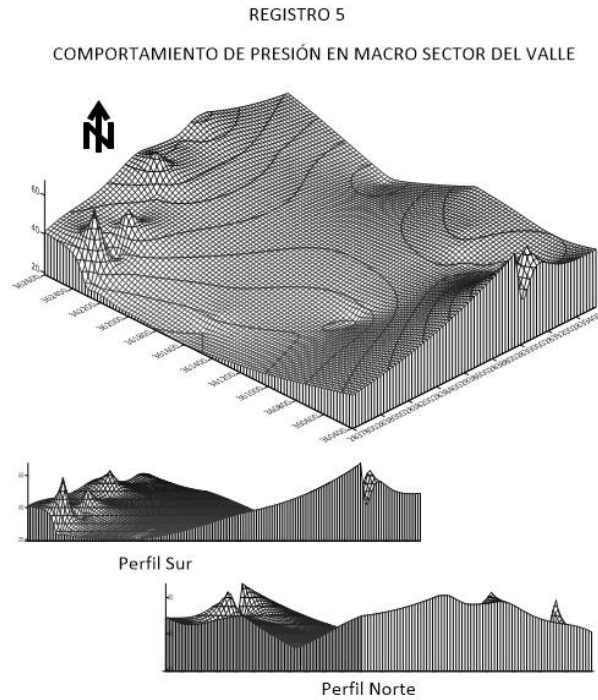


Figura 58. Malla de presiones del registro 5 (Elaboración propia)

Se puede observar que los mayores picos de presión (en cada uno de los registros) se encuentran hacia las cotas inferiores, es decir donde la topografía favorece en el recorrido del agua.

Como se dijo en capítulos pasado, esto se debe a que la actividad dentro del macro sector no contiene accesorios de control que puedan hacer más uniforme la distribución del agua.

12 Monta

A continuación se muestra la monta de la malla de presiones sobre la malla topográfica del registro 5.

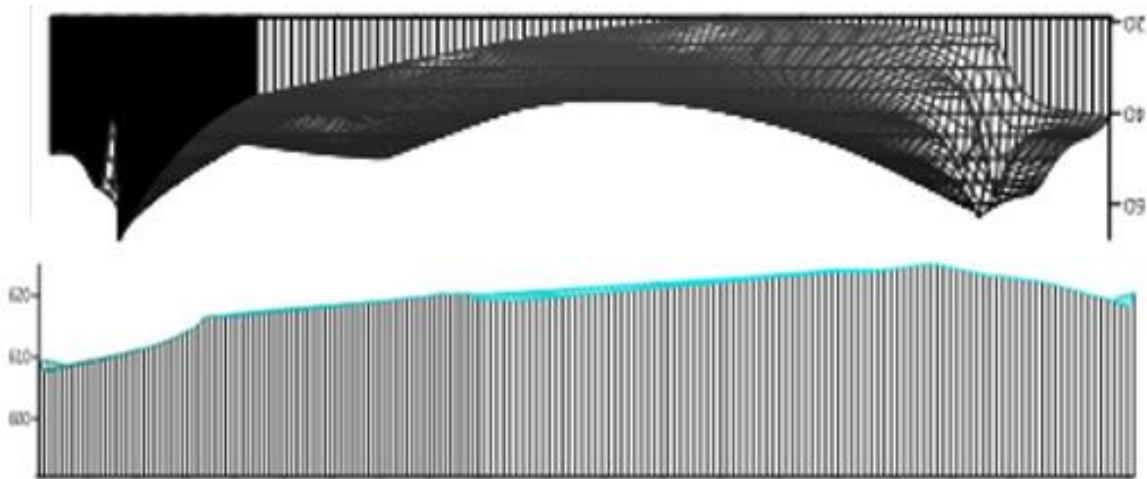


Figura 59. Monta perfil de presiones sobre el perfil topográfico. (Elaboración propia)

El comportamiento es notorio, las presiones máximas se encuentran en las partes bajas del perfil topográfico y las presiones mínimas se encuentran en las partes altas del perfil topográfico.

13 Conclusiones

1.- Como se puede observar en el comportamiento de las curvas tanto de la válvula general o principal **VP** que es la reguladora de presión contra la presión unitaria en el punto de evaluación, obedecen a un mismo patrón y manifiestan una dependencia en paralelo, al ajustarlas bajo una ecuación indicando que la presión resultante es directamente dependiente de la energía inyectada en el origen **VP**.

2.- Se puede observar en todas las evaluaciones que la presión de **VP** es continua y uniforme que no presenta alteraciones distorsionadas dentro de sus rangos de operación que la haga suponer

un consumo o flujo discordante con respecto al tiempo, es decir no manifiesta picos excesivos de su promedio.

3.- En las 5 evaluaciones generales del macro sector donde las variables fueron presión en los “Y” (31) puntos del polígono a “X” tiempo de evaluación las curvas de presión VP y Ph también fueron dependientes y presentan una uniformidad en paralelo no discordante por lo que se concluye que la presión h es igual a la presión de VP \pm altimetría del lugar más las pérdidas de carga en salidas múltiples y perdidas de carga locales por cambios de dirección y accesorios.

4.- Así mismo se puede observar en las gráficas 28, 31, 34 y 37 que todos los puntos que se encontraron con altimetrías por debajo de la VP presentan una eficiencia de requerimiento del 97.59% y eficiencias de aplicación del 61.26 % con promedios de CUC del 87.023 %

Los puntos que se presentan por encima de la altimetría de la válvula de presión VP manifiestan una eficiencia de aplicación del 96.97 % y una Eficiencia de requerimiento del 84.05 % con promedios de CUC de 76.32%.

5.- Que los gastos en los puntos coinciden con la ecuación de presión unitaria

$$H = \frac{Q^{1.852}}{D^{4.87}} \times \frac{1782.8}{C^{1.852}}$$

DONDE H = es la presión de campo medida directamente en psi o MCA y que al despejar coincide con la ecuación:

Q=AREA x VELOCIDAD

Donde el área es = 0.7854 d²

Y la carga por velocidad $\frac{v^2}{2g} = H$

Por lo tanto $V = \sqrt{2gH}$

Entonces $Q = 0.7854 (\text{pulgadas} \times 0.0254)^2 \sqrt{2gH} 1000$

Coincide el gasto medido en campo con el gasto calculado por cualquiera de estas ecuaciones como se puede comprobar en el comportamiento del gasto en los puntos críticos en las gráficas expuestas.

Que tanto la CUC general como específica de esta evaluación obedece a una diferencia en su altimetría con respecto a la válvula principal en donde es obvio observar que existen puntos que cumplen con presión pero no la requerida.

Esto es consecuencia de que no se puede controlar la manifestación del fluido por su efecto gravitacional hacia las partes más bajas. **Ya que este lote tiene un diferencial de 31 mts.**

6.- Por último y más importante se puede observar en todas las gráficas que la válvula reguladora de presión del macro sector funciona adecuadamente en base al diferencial de presión de la demanda. Que la des uniformidad de los datos de la evaluación del CUC lo genera la topografía muestra de ello es que la malla topográfica ensambla con la malla de presión es en forma inversa como si fuera un espejo vectorial.

Es importante resaltar que estos parámetros de uniformidad y eficiencia son clasificados como de **aceptables a altos**, ya que los mejores sistemas de abastecimiento de agua urbano en el mundo en topografías des uniformes manifiestan estos valores.

Su solución puede ser la sectorización o automatización de los lotes o la vía de la automatización con la inversión de grandes cantidades de capital para accesorios de control de presión dentro de los macro sectores que tiendan a tener menor pendiente de inclinación la CUC.

7.- La manifestación del comportamiento hidráulico de las evaluaciones de los puntos críticos ajustan el comportamiento de la evaluación general, ya que estos condicionan el comportamiento de un universo de datos aleatorios del cual están inmersos los datos de los críticos.

Tabla 50. Comportamiento general

Var.	Comportamiento p. Críticos	Comportamiento General	Comportamiento ajustado
CUC	83.46%	70.012%	76.74%
Er	93.07%	99.72%	96.395%
Ea	72.33%	50.22%	61.275%

Esto nos indica que el sistema **si le cumple a la hipótesis** de abastecimiento de Agua y Drenaje de Monterrey a los usuarios con unas eficiencias de 96.395% con un costo de eficiencia de aplicación del 61.275 %.

Con estos resultados, observamos que a pesar de la topografía el sistema que está implementando Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey logra mejorar ampliamente la eficiencia en el uso del agua y brinda al usuario con un 96.3% la presión mínima requerida del servicio por 24 hrs los 365 días del año, disminuyendo también las horas de bombeo (Ahorro energético).

13.1 Recomendaciones

De acuerdo a las problemáticas que se están viviendo en relación a la escases y al difícil acceso de este vital liquido en todo el mundo, es sumamente importante generar nuevos proyectos donde se busque eficientar el uso del agua en todas las áreas, para retroceder esta escases.

La empresa agua y drenaje de Monterrey ha realizado labores y proyectos titánicos para poder hacer un uso eficiente del agua en el sistema de distribución frente a estos grandes retos, sin embargo:

En este macro sector es recomendable hacer una inversión para instalar accesorios de control en puntos estratégicos, esto con el fin de tener una distribución más uniforme y lograr tener una Eficiencia de aplicación aceptable. Ya que tiene una eficiencia de aplicación baja y esto repercute en cientos de metros cúbicos perdidos.

Las zonas críticas del macro sector del Valle son las cotas más bajas, ya que en estos puntos las presiones son mayores y dispara mucho el valor de la Ea, así que también se recomienda poner mayor atención a estas zonas.

14 Referencias Bibliográficas Citadas

- Agua, C. N. (2007). *Manual de Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México.
- Auge, M. (2007). *AGUA FUENTE DE VIDA*. Buenos Aires: La Plata.
- Ayala, F. (2019). *Modulación de presiones*. Monterrey.
- Blanca Jiménez Cisneros, A. A. (2010). *El agua en México*. México: CNA.
- Casillas, S. (2015). *Sistemas de riego por aspersión y goteo*. México: Trillas.
- CNA. (2018). *Estadísticas Del Agua En México*. México.
- CNA. (2020). *Manual de Agua Potable*. México.
- Esparza. (2017). *GESTIÓN HÍDRICA SOSTENIBLE DE UNA RED DE AGUA POTABLE SECTORIZADA*,. Monterrey.
- García, B. G. (2013). *Proyecto Integral de Infraestructura de Agua Potable y Saneamiento*. Monterrey.
- Guerra, T. (2019). *Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento*. Perú.
- Hernández, G. (2014). *DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE*. Valencia.
- Jaimes, C. C. (10 de Febrero de 2020). *Los Retos Del Agua En México*. Obtenido de <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1952/1711>
- Llanos, T. B. (2015). *The Nature Conservancy*. Monterrey.
- Monterrey, S. d. (2019). *Agua potable*. Monterrey.

Citas Vistas En Páginas Web

H. M latinoamerica, Multilog. Consultado en: <https://hwm-latinoamerica.com/producto/multilog-2-registrador-de-datos-multifuncion/> Consultado (13/05/2021)

Catalogo GOCRA, México. Consultado en: <https://www.gocra.com.mx/quienes-somos-principal> Consultado (13/05/2021)

ANEXOS:

Tabla 51. Puntos de observación con presión y cota. (3/05/2021)

ID	X	Y	Z
1	361958.52	2837805.9	24
2	362066.27	2837798.7	22
3	361599.9	2837934.1	20
4	362300.182	2837816.9	24
5	361586.118	2838031.2	27
6	362328.804	2837893.8	60
7	361071.495	2838482.4	24
8	362327.888	2837953.3	32
9	361086.059	2838546.6	29
10	362298.667	2838024.4	32
11	360394.197	2838966.1	67
12	362313.139	2838101.7	55
13	360410.434	2839008.1	30
14	362359.589	2838144.9	38
15	360460.827	2839106	59
16	360565.795	2839206.7	36
17	362383.577	2838309	44
18	360872.092	2839077.3	43
19	362404.563	2838399.4	48
20	360965.798	2839134.4	44
21	362465.63	2838467.5	63
22	361029.79	2839260.6	46
23	362495.216	2838568.8	55
24	361385.823	2839305.4	42
25	362524.146	2838658.8	55
26	361255.813	2839542	49
27	362547.546	2838748.3	54
28	362583.722	2838880.5	60
29	361860.914	2839495.5	22

30	362275.211	2839140.3	63
31	362600.084	2838959.7	60

Tabla 52. Comportamiento de Válvula (14-15)

Date	P entrada	Caudal	P salida	psi
14/10/2020 00:00	30.1	33.333	13.1	18.6282
14/10/2020 01:00	30.5	31.667	13.1	18.6282
14/10/2020 02:00	30.6	26.667	13.1	18.6282
14/10/2020 03:00	30.7	30	13	18.486
14/10/2020 04:00	30.4	28.333	13	18.486
14/10/2020 05:00	30.4	28.333	13.1	18.6282
14/10/2020 06:00	30.1	40	22.5	31.995
14/10/2020 07:00	30.4	41.667	22.5	31.995
14/10/2020 08:00	29.8	58.333	22.4	31.8528
14/10/2020 09:00	28.8	76.667	22.5	31.995
14/10/2020 10:00	28.1	83.333	22.5	31.995
14/10/2020 11:00	27.4	83.333	22.5	31.995
14/10/2020 12:00	27.2	80	22.5	31.995
14/10/2020 13:00	27.7	73.333	22.5	31.995
14/10/2020 14:00	27.5	66.667	22.4	31.8528
14/10/2020 15:00	27	66.667	22.3	31.7106
14/10/2020 16:00	27.5	63.333	22.5	31.995
14/10/2020 17:00	27.5	60	22.3	31.7106
14/10/2020 18:00	28.5	55	22.4	31.8528
14/10/2020 19:00	27.9	61.667	22.3	31.7106
14/10/2020 20:00	27.9	65	22.4	31.8528
14/10/2020 21:00	28.2	61.667	22.4	31.8528
14/10/2020 22:00	28.2	53.333	22.3	31.7106
14/10/2020 23:00	28.7	48.333	22.3	31.7106

Tabla 53. Registro 14/09/2020

<i>Reg. I</i>		psi
Punto	14/09/2020 Toma Dom.	Válvula
1	24	33.2748
2	22	33.2748
3	20	33.2748
4	24	33.417
5	27	33.417
6	60	33.417
7	24	33.2748
8	32	33.417
9	29	33.2748
10	32	33.2748
11	67	33.2748
12	55	33.417
13	30	33.417
14	38	33.2748
15	59	33.417
16	36	33.2748
17	44	33.417
18	43	33.2748
19	48	33.2748
20	44	33.2748
21	63	33.417
22	46	33.2748
23	55	33.2748
24	42	33.2748
25	55	33.2748
26	49	33.2748
27	54	33.417
28	60	33.417
29	22	33.417
30	63	33.2748
31	60	33.2748

Tabla 54. Registro en campo (15/09/2020)

Reg. 2	psi	
Punto	15/09/2020 Toma Dom.	Válvula
1	24	32.4216
2	23	32.4216
3	19	32.5638
4	25	32.4216
5	22	32.4216
6	60	32.4216
7	26	32.4216
8	32	32.4216
9	27	32.4216
10	32	32.4216
11	71	32.4216
12	53	32.4216
13	34	32.5638
14	37	32.4216
15	61	32.706
16	35	32.4216
17	44	32.4216
18	40	32.4216
19	49	33.417
20	45	32.5638
21	63	32.4216
22	44	32.4216
23	53	32.4216
24	36	32.4216
25	51	32.4216
26	50	32.4216
27	56	32.4216
28	60	32.4216
29	29	32.5638
30	62	32.5638
31	60	32.4216

Tabla 55. Registro en campo (17/09/2020)

Reg. 3	psi	
Punto	17/09/2020 Toma Dom.	Válvula
1	22	32.2794
2	21	32.2794
3	18	32.2794
4	23	32.2794
5	26	32.2794
6	60	32.2794
7	23	32.2794
8	31	32.1372
9	25	32.2794
10	31	32.4216
11	64	32.4216
12	54	32.2794
13	29	32.4216
14	37	32.1372
15	58	32.4216
16	35	32.5638
17	44	32.1372
18	30	32.2794
19	47	32.2794
20	44	32.5638
21	62	32.1372
22	43	32.2794
23	54	32.2794
24	36	32.2794
25	54	32.2794
26	50	32.4216
27	53	32.2794
28	60	32.4216
29	29	32.4216
30	44	32.4216
31	60	32.2794

Tabla 56. Registro en campo (18/09/2020)

Reg. 4		
	psi	
Punto	18/09/2020 Toma Dom.	Válvula
1	24	33.417
2	24	33.1326
3	20	33.417
4	25	33.2748
5	28	33.1326
6	57	33.1326
7	24	33.1326
8	31	33.2748
9	30	32.9904
10	31	33.1326
11	68	33.2748
12	56	33.1326
13	31	33.2748
14	37	33.2748
15	65	32.9904
16	37	32.9904
17	43	33.1326
18	40	32.9904
19	50	33.1326
20	44	32.9904
21	60	33.2748
22	46	32.9904
23	56	33.1326
24	42	32.9904
25	56	33.1326
26	50	33.1326
27	54	33.1326
28	57	33.1326
29	25	33.2748
30	62	33.2748
31	57	33.1326

Tabla 57. Registro en campo (21/09/2020)

Reg. 5		
	psi	
Punto	21/09/2020 Toma Dom.	Válvula
1	21	32.5638
2	21	32.4216
3	20	32.5638
4	23	32.5638
5	27	32.5638
6	61	32.5638
7	24	32.5638
8	32	32.5638
9	30	32.5638
10	31	32.4216
11	68	32.706
12	54	32.5638
13	33	32.4216
14	39	32.5638
15	65	32.4216
16	36	32.5638
17	44	32.5638
18	39	32.5638
19	46	32.5638
20	44	32.5638
21	63	32.5638
22	47	32.5638
23	54	32.5638
24	42	32.5638
25	55	32.2794
26	50	32.5638
27	54	32.5638
28	61	32.5638
29	31	32.4216
30	45	32.5638
31	61	32.5638

Tabla 58. Reg de punto crítico 2 (24 hrs)

PUNTO CRITICO 2: Río Pilón 608	
Horario	Presiones (psi)
00:00	11.4070866
01:00	11.8622322
02:00	10.951941
03:00	10.7243682
04:00	10.8381546
05:00	19.3863579
06:00	24.5209692
07:00	24.2933964
08:00	23.1555324
09:00	20.7517947
10:00	20.9793675
11:00	21.2069403
12:00	21.0931539
13:00	22.5866004
14:00	22.8141732
15:00	21.7758723
16:00	22.8141732
17:00	23.4968916
18:00	23.7244644
19:00	24.6347556
20:00	23.9520372
21:00	24.5209692
22:00	24.0658236
23:00	13.4552418

Tabla 59. Reg de punto crítico 3 (24 hrs)

PUNTO CRITICO 3: José Vasconcelos 240 pte.	
Horario	Presiones (psi)
00:00	8.267166
01:00	8.7312876
02:00	8.1511356
03:00	8.3831964
04:00	7.9190748
05:00	7.8030444
06:00	21.2915784
07:00	21.0208408
08:00	20.3633352
09:00	18.85494
10:00	18.6228792
11:00	17.4480714
12:00	19.0870008
13:00	20.3633352
14:00	19.6671528
15:00	19.8992136
16:00	19.3190616
17:00	20.3633352
18:00	20.9434872
19:00	20.3633352
20:00	20.8274568
21:00	21.2915784
22:00	21.175548
23:00	20.595396

Tabla 60. Reg de punto crítico 17 (24 hrs)

PUNTO CRITICO 17: Calz. San Pedro 48.	
Horario	Presiones (psi)
00:00	19.5143676
01:00	20.4388821
02:00	19.059222
03:00	19.1730084
04:00	19.059222
05:00	20.8940277
06:00	32.4149007
07:00	32.8700463
08:00	27.735435
09:00	26.9389302
10:00	27.3940758
11:00	28.5319398
12:00	28.5319398
13:00	30.3667455
14:00	31.0494639
15:00	29.1150951
16:00	30.1391727
17:00	29.4564543
18:00	31.8459687
19:00	32.0735415
20:00	31.9597551
21:00	32.3011143
22:00	32.6424735
23:00	32.4149007

Tabla 61. Reg de punto crítico 29 (24 hrs)

PUNTO CRITICO 29: Vía Angélica 328.	
Horario	Presiones (psi)
00:00	29.5773524
01:00	17.7592124
02:00	14.5646592
03:00	14.1180476
04:00	14.0540427
05:00	14.0540427
06:00	13.9900379
07:00	29.7053621
08:00	29.2587504
09:00	32.579891
10:00	29.536412
11:00	29.265487
12:00	27.9160709
13:00	27.6614738
14:00	30.2159785
15:00	31.1746289
16:00	29.5133475
17:00	29.7693669
18:00	33.5385414
19:00	33.2185172
20:00	30.4719979
21:00	28.8107165
22:00	29.4493427
23:00	30.3439882

Tabla 62. Reg de punto crítico 30 (24 hrs)

PUNTO CRITICO 30: Rio Missouri 111-141.	
Horario	Presiones (psi)
00:00	55.6415496
01:00	56.027001
02:00	55.8335642
03:00	56.027001
04:00	55.7695593
05:00	55.897569
06:00	69.0697671
07:00	69.0697671
08:00	66.3701848
09:00	64.3789228
10:00	62.3876608
11:00	62.658746
12:00	62.798522
13:00	63.021547
14:00	63.3505782
15:00	62.3876608
16:00	63.3505782
17:00	62.9651268
18:00	64.8283791
19:00	63.2225685
20:00	64.8923839
21:00	66.4996168
22:00	65.8567237
23:00	67.3345245

Tabla 63. Reg de punto crítico 16 (24 hrs)

PUNTO CRITICO 16: Callejón de los Ayala 110.	
Horario	Presiones (psi)
00:00	30.6796581
01:00	30.7934445
02:00	30.9072309
03:00	29.8831533
04:00	30.4520853
05:00	39.0002886
06:00	43.2246087
07:00	43.3383951
08:00	41.9729583
09:00	41.5178127
10:00	40.4795118
11:00	36.4568
12:00	38.3695444
13:00	39.2569841
14:00	40.2658741
15:00	42.0867447
16:00	41.0484438
17:00	40.3657254
18:00	40.251939
19:00	40.0243662
20:00	41.6315991
21:00	42.8832495
22:00	42.3143175
23:00	34.6621821

Tabla 64. CUC registro I

Elaboración (01/05/2021)

Nº. De Obs	Reg. en camp	Promedio	Punto crítico		
N	xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	24	42.81	18.81	1327.00	0.7027
2	22		20.81		70.27%
3	20		22.81		
4	24		18.81		
5	27		15.81		
6	60		17.19		
7	24		18.81		
8	32		10.81		
9	29		13.81		
10	32		10.81		
11	67		24.19		
12	55		12.19		
13	30		12.81		
14	38		4.81		
15	59		16.19		
16	36		6.81		
17	44		1.19		
18	43		0.19		
19	48		5.19		
20	44		1.19		
21	63		20.19		
22	46		3.19		
23	55		12.19		
24	42		0.81		
25	55		12.19		
26	49		6.19		
27	54		11.19		
28	60		17.19		
29	22.00		20.81		
30	63		20.19		
31	60		17.19		
Σ	1327		394.58		

Tabla 65. CUC Registro 2

Elaboración 01/05/2021

N0. De Obs	Reg. en camp	Promedio	Punto critico		
N	xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	24	42.68	18.68	1323.00	0.6989
2	23		19.68		68.96%
3	19		23.68		
4	25		17.68		
5	22		20.68		
6	60		17.32		
7	26		16.68		
8	32		10.68		
9	27		15.68		
10	32		10.68		
11	71		28.32		
12	53		10.32		
13	34		8.68		
14	37		5.68		
15	61		18.32		
16	35		7.68		
17	44		1.32		
18	40		2.68		
19	49		6.32		
20	45		2.32		
21	63		20.32		
22	44		1.32		
23	53		10.32		
24	36		6.68		
25	51		8.32		
26	50		7.32		
27	56		13.32		
28	60		17.32		
29	29		13.68		
30	62		19.32		
31	60		17.32		
Σ	1323		398.32		

Tabla 66. CUC Registro 3

Elaboración 01/05/2020

Nº. De Obs	Reg. en camp	Promedio xm	Punto critico xi - xm	N* xm	CUC
1	22	40.87	18.87	1267.00	0.6889
2	21		19.87		68.89%
3	18		22.87		
4	23		17.87		
5	26		14.87		
6	60		19.13		
7	23		17.87		
8	31		9.87		
9	25		15.87		
10	31		9.87		
11	64		23.13		
12	54		13.13		
13	29		11.87		
14	37		3.87		
15	58		17.13		
16	35		5.87		
17	44		3.13		
18	30		10.87		
19	47		6.13		
20	44		3.13		
21	62		21.13		
22	43		2.13		
23	54		13.13		
24	36		4.87		
25	54		13.13		
26	50		9.13		
27	53		12.13		
28	60		19.13		
29	29		11.87		
30	44		3.13		
31	60		19.13		
Σ	1267		394.13		

Tabla 67. CUC Registro 4

Elaboración 01/05/2021

Nº. De Obs	Reg. en camp	Promedio xm	Punto critico xi - xm	N* xm	CUC
1	24	42.90	18.90	1330.00	0.7074
2	24		18.90		70.74%
3	20		22.90		
4	25		17.90		
5	28		14.90		
6	57		14.10		
7	24		18.90		
8	31		11.90		
9	30		12.90		
10	31		11.90		
11	68		25.10		
12	56		13.10		
13	31		11.90		
14	37		5.90		
15	65		22.10		
16	37		5.90		
17	43		0.10		
18	40		2.90		
19	50		7.10		
20	44		1.10		
21	60		17.10		
22	46		3.10		
23	56		13.10		
24	42		0.90		
25	56		13.10		
26	50		7.10		
27	54		11.10		
28	57		14.10		
29	25		17.90		
30	62		19.10		
31	57		14.10		
Σ	1330		389.10		

Tabla 68. CUC Registro 5

Elaboración 01/05/2021

Nº. De Obs	Reg. en camp	Promedio x_m	Punto critico $x_i - x_m$	$N^* x_m$	CUC
1	21	42.61	21.61	1321.00	0.7120
2	21		21.61		71.20%
3	20		22.61		
4	23		19.61		
5	27		15.61		
6	61		18.39		
7	24		18.61		
8	32		10.61		
9	30		12.61		
10	31		11.61		
11	68		25.39		
12	54		11.39		
13	33		9.61		
14	39		3.61		
15	65		22.39		
16	36		6.61		
17	44		1.39		
18	39		3.61		
19	46		3.39		
20	44		1.39		
21	63		20.39		
22	47		4.39		
23	54		11.39		
24	42		0.61		
25	55		12.39		
26	50		7.39		
27	54		11.39		
28	61		18.39		
29	31		11.61		
30	45		2.39		
31	61		18.39		
Σ	1321		380.39		

Tabla 69. Registro de válvula 18/09/2020

Fecha	P Entrad	Caudal	P Salida
18/09/2020 00:10	30	88.333	13.4
18/09/2020 01:10	26.667	55	13.5
18/09/2020 02:10	26.667	73.333	13.7
18/09/2020 03:10	26.667	55	13.4
18/09/2020 04:10	26.667	83.333	13.7
18/09/2020 05:10	33.333	81.667	15.2
18/09/2020 06:10	35	66.667	23.2
18/09/2020 07:10	41.667	76.667	23.1
18/09/2020 08:10	55	55	23.2
18/09/2020 09:10	65	53.333	23.2
18/09/2020 10:10	70	71.667	23.2
18/09/2020 11:10	71.667	55	23.4
18/09/2020 12:10	68.333	200	23.4
18/09/2020 13:10	65	58.333	23.4
18/09/2020 14:10	60	66.667	25.1
18/09/2020 15:10	60	73.333	23.9
18/09/2020 16:10	58.333	48.333	23.9
18/09/2020 17:10	55	46.667	23.8
18/09/2020 18:10	50	46.667	23.9
18/09/2020 19:10	46.667	105	23.9
18/09/2020 20:10	45	108.333	23.8
18/09/2020 21:10	46.667	115	23.8
18/09/2020 22:10	46.667	95	23.9
18/09/2020 23:10	36.667	91.667	21.2
19/09/2020 00:10	28.333	96.667	13.7