

**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. En el macro sector**

**“Niño Artillero”**

**Por:**

**NANCY YECEL VÁSQUEZ LÓPEZ**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Saltillo, Coahuila, México**

**Mayo 2023**

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 en el Macro sector

Niño Artillero

POR: NANCY YECEL VÁSQUEZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el comité de Asesoría.

Aprobada por:

Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna

ASESOR PRINCIPAL

Dr. Santos Sáenz Delgado  
ASESOR EXTERNO

Dra. Rosa Elvira Valdez Ramos  
ASESOR EXTERNO

M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez  
ASESOR

M. C. Sergio Sánchez Martínez  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN  
DE INGENIERÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila México. Mayo 2023

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 en el Macro sector

Niño Artillero

POR:

NANCY YECEL VÁSQUEZ LÓPEZ

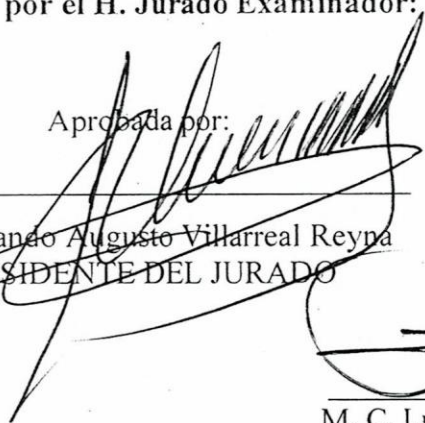
TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

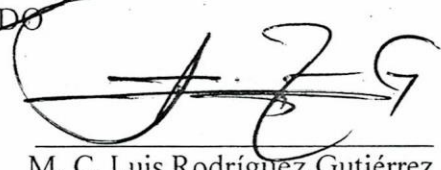
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

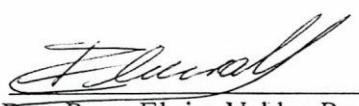
Aprobada por el H. Jurado Examinador:

Aprobada por:

  
Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna  
PRESIDENTE DEL JURADO

  
Dr. Santos Sáenz Delgado  
VOCAL

  
M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez  
VOCAL

  
Dra. Rosa Elvira Valdez Ramos  
VOCAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, mayo del 2023

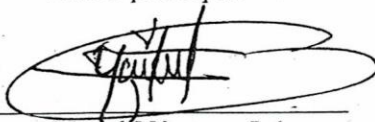
## DECLARACION DE NO PLAGIO

El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta decir la verdad, que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (copiado y pegado); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados datos o la tesis para presentarla como copia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin comillas; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consiente de que, en caso de comprobarse plagio del texto no respetar los derechos de autor, edición o modificación, será sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de la consecuencia generada en caso de existir cualquier tipo de plagio y declaro que este trabajo es original.

Así mismo declaro que mi proyecto es de continuidad, desarrollado en el área metropolitana de Monterrey con el apoyo de **SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY** amparado con el número de clave 38111-425401001-371 registrado en la subdirección de investigación de nuestra institución y cuyo nombre del proyecto es *“Eficiencia Hídrica en la distribución de la red de agua potable a través de modulación de presiones en un sistema automatizado”* siendo mi lote de investigación MACRO SECTOR NIÑO ARTILLERO.

Autor principal



Nancy Yecel Vásquez López

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme llevar a cabo este proceso, por darme la fuerza de seguir, gracias por siempre ponerme a buenas personas en mi camino, gracias por darme una buena familia.

**Todo lo puedo en cristo que me fortalece** (filipenses 4:13)

A mi país quien con sus aportaciones hace posible la educación superior agrícola

A mi ALMA MATER, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme ser miembro de esta noble institución y darme las herramientas necesarias, fue aquí donde viví una etapa muy importante de mi vida, formé gran parte de mi persona, abrí mi visión a nuevos horizontes y conviví con personas maravillosas donde yo aprendí mucho de ellos. Al departamento de RIEGO Y DRENAJE porque aquí tuve la oportunidad de practicar mis habilidades y adquirir nuevos conocimientos, a mis catedráticos por sus enseñanzas, a mis compañeros por su apoyo, las convivencias que ahora pasan a ser un bonito recuerdo.

Al Dr. Fernando Augusto Villareal Reyna, gracias a él fue posible realizar este trabajo, ha sido un profesional que yo he admirado siempre no solo por sus grandes conocimientos sino también por la calidad de persona que es.

A la Dra. Rosa Elvira Valdez Ramos, por su tiempo y apoyo para la mejor presentación de este trabajo.

Al Dr. Santos Sáenz Delgado muchas gracias por su atención y aportación para la mejora de este trabajo, del cual él es un especialista de los mejores en el área hidráulica.

Al M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez gracias por haberme aceptado como su alumna, por aportarme su conocimiento de las ciencias exactas durante mi periodo estudiantil, y sobre todo su aportación y corrección a este trabajo.

A mi familia por apoyarme económica y emocionalmente por hacerme creer en mí, ustedes son mi mayor inspiración y el motivo de mí felicidad me han enseñado lo que es el amor incondicional.

## **DEDICATORIAS**

A mis padres David Vásquez y Felipa López gracias por darme la vida por estar conmigo siempre en cada paso y por querer siempre lo mejor para mí, ustedes son el amor más puro y sincero que puedo sentir.

A mis hermanos que son los amigos que Dios me dio, gracias a ellos he sentido que es familia de verdad, ese amor que solo se quiere lo mejor para el otro.

A mis hermanas que han sido mis amigas de vida.

## RESUMEN

Se pretende realizar un análisis del comportamiento hidráulico en el macro sector automatizado denominado como “*Niño Artillero*”, ubicado en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo León.

Para una mejor comprensión de este comportamiento hidráulico, se relacionan gastos y presiones, este estudio consiste en observar el porcentaje de variación en la distribución de agua potable en el macro sector tomando en cuenta la altimetría, distancia respecto VRP (Válvula reguladora de Presión) y horario crítico de las demandas de agua.

Se evaluaron 30 puntos reconocidos como tomas domiciliarias, en zonas estratégicas dentro del Macro-Sector, partiendo como solo punto de entrada que es la VRP.

Para poder conocer realmente que tan eficiente es la distribución del agua, y si mediante el diseño de macro sectores y accesorios de control en AMM (Área metropolitana de Monterrey) se cumple con el gasto y la presión requerida entregando un rango de presión  $1.5\text{kg/cm}^2 - 3.5\text{kg/cm}^2$  como el organismo operador que es (AYDM) agua y drenaje de Monterrey sustenta dicha Hipótesis.

Se utilizó el CUC (Coeficiente de Uniformidad de Christiansen) para el análisis del comportamiento, porque estadísticamente es la desviación media estándar de los valores con respecto a un requerimiento, es un parámetro que nos sirve para evaluar la relación que existe entre los datos y su desviación.

Por medio del coeficiente de Uniformidad de Christiansen podemos analizar los datos y el porcentaje de uniformidad que opera el sistema, así mismo por medio de los datos obtenidos



nos permite conocer la eficiencia de aplicación, y la eficiencia de requerimiento, esto lo último permite determinar la cantidad de agua que se necesita. Para conocer realmente que tan eficiente se distribuye, se determina por medio de  $E_a$  (eficiencia de aplicación) ya que mientras más sectorizado está el sistema, se tiene mejor control y mayor eficiencia.

Palabras clave:(Presión, Gasto, variación, Puntos Críticos, CUC, VRP, AMM, Desnivel, Topografía, Sectorización, eficiencia).



## **ABSTRACT**

It is intended to perform a hydraulic analysis in the automated macro sector called "Niño Artillery", located in the metropolitan area of the city of Monterrey, Nuevo León.

For a better understanding of the hydraulic behavior relating expenses and pressures, it consists of observing the percentage of variation in the distribution of drinking water in the macro sector taking into account the altimetry, distance from VRP, critical schedules of water demands.

30 points recognized as household outlets were evaluated, in strategic areas within the Macro-Sector, starting as the single-entry point that is the pressure regulating valve (VRP).

In order to really know how efficient the distribution of water is, that if through the design of macro sectors and control accessories in AMM (Metropolitan Area of Monterrey) already established it complies with the expense and pressure required delivering a pressure range  $1.5\text{kg/cm}^2 - 3.5\text{ kg/cm}^2$  as the operator agency water and drainage services of Monterrey supports it. The CUC (Christiansen Uniformity Coefficient) was used for the analysis of behavior, because statistically it is the mean standard deviation of the values with respect to a requirement, it is a parameter that helps us to evaluate the relationship that exists between the data and its deviation

By means of the Christiansen Uniformity coefficient we can analyze the data and the percentage of uniformity that operates the system, likewise through the data obtained allows us to know the efficiency of application, and the efficiency of requirement the latter allows to determine the amount of water that is needed. To really know how efficient, it is distributed, we determine it through  $E_a$  (application efficiency) since the more sectorized the system is, the better control and greater efficiency.

Keywords: (Pressure, Expenditure, variation, Critical Points, CUC, VRP, AMM, Slope, Topography, Sectorization, efficiency).

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	5	
DEDICATORIAS.....	6	
RESUMEN .....	7	
ABSTRACT .....	9	
ÍNDICE GENERAL.....	10	
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	16	
ÍNDICE DE TABLAS.....	19	
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	21	
1	INTRODUCCIÓN .....	22
1.1	El agua en el mundo.....	23
1.2	Problemática del agua en la sociedad.....	24
1.3	Gestión del agua.....	25
1.4	Agua en Monterrey.....	26
1.4.1	Crisis de agua en Monterrey 2022.....	26
1.4.2	Fuentes superficial área metropolitana.....	28
1.4.3	Fuentes Subterráneas Área Metropolitana .....	32
2	OBJETIVO GENERAL .....	35
3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	35
4	HIPÓTESIS .....	36
5	MARCO TEÓRICO.....	36
5.1	Formas de distribuir el agua.....	37

5.1.1	Agua por gravedad .....	37
5.1.2	Agua Por bombeo.....	37
5.2	Sectorización .....	38
5.3	Modulación de presiones.....	39
5.4	Telecontrol y telemetría mediante sensores .....	40
5.5	Línea y red de conducciones .....	41
5.5.1	Conexión en serie:.....	42
5.5.2	Conexión en paralelo.....	43
5.5.3	Conexión combinada.....	43
5.6	Componentes de una red de distribución. ....	44
5.6.1	Estación de bombeo .....	44
5.6.2	Cárcamo de bombeo.....	45
5.6.3	Filtración .....	45
5.6.4	Válvulas.....	45
5.6.5	Solenoides .....	46
5.6.6	Pilotos.....	47
5.6.7	Válvula Reguladora de Presión.....	47
5.6.8	Piezas especiales .....	49

	5.6.9	Caja rompedora de presión.....	49
	5.6.10	Válvula eliminadora de aire .....	50
5.7		Dispositivos para control de transitorios .....	51
	5.7.1	Válvula aliviadora de presión.....	51
	5.7.2	Válvula anticipadora del golpe de ariete .....	51
5.8		Hidráulica de tubos.....	52
	5.8.1	Golpe de ariete .....	52
	5.8.2	Cavitación.....	53
	5.8.3	Topografía .....	55
	5.8.4	Ecuaciones para flujo permanente.....	55
	5.8.5	Presión .....	55
		Presión absoluta .....	56
		Presión relativa .....	56
		Presión atmosférica o presión barométrica .....	56
		Presión negativa.....	57
	5.8.6	Línea piezométrica .....	57
	5.8.7	Altura cinética .....	62

5.8.8	Altura geométrica.....	62
5.8.9	Carga total .....	62
5.8.10	Carga dinámica y estática total en un sistema de bombeo .....	62
5.8.11	Ecuación de Continuidad .....	64
5.8.12	Teorema de Bernoulli.....	65
Perdidas de energía por fricción en la conducción .....		66
5.8.13	Ecuación de Darcy-Weisbach .....	67
5.8.14	Ecuación modificada de Colebrook-White .....	68
5.8.15	Pérdidas locales .....	69
5.8.16	Ecuación de Hazen Williams .....	71
5.8.17	Ecuación de Manning.....	73
5.9	Consideraciones técnicas.....	74
5.9.1	Topografía y cruzamientos.....	74
5.9.2	Válvulas, uso y ubicación.....	74
5.9.3	El gradiente hidráulico .....	76
5.10	Coefficiente de Uniformidad de Christiansen .....	78
5.11	Eficiencia en la red de abastecimiento de agua.....	80
5.11.1	Eficiencia.....	80

	5.11.2	Eficiencia de aplicación .....	81
	5.11.3	Eficiencia de requerimiento .....	81
6		MATERIALES Y MÉTODOS .....	82
6.1		Ubicación del Proyecto .....	82
6.2		Herramienta .....	83
6.3		Materiales .....	83
6.4		Controlador de presión .....	83
	6.4.1	GPRS NEPTUNE II FM .....	84
	6.4.2	PEGASUS+ 3G .....	85
	6.4.3	SEBALOG D-3 .....	87
	6.4.4	TRITON I PF .....	88
6.5		Métodos .....	89
7		RESULTADOS .....	94
7.1		Mallas topográficas del Macro-Sector Niño Artillero.....	94
7.2		Representación del registro por medio de una escala de colores ...	96
7.3		Representación grafica .....	101
	7.3.1	Primer registro toma domiciliaria vs VRP .....	101
	7.3.2	Segundo registro toma domiciliaria vs VRP .....	102
	7.3.3	Tercer registro toma domiciliaria vs VRP.....	103
	7.3.4	Cuarto registro toma domiciliaria vs VRP .....	103

7.3.5	Quinto registro toma domiciliaria vs VRP.....	104
7.3.6	Puntos críticos .....	105
7.4	Comportamiento 2. (Durante 24 Hrs) .....	106
7.5	Cálculo Del Coeficiente De Uniformidad De Christiansen .....	108
7.6	Eficiencia de aplicación (Ea).....	109
7.7	Eficiencia de requerimiento (Er) .....	110
7.8	Puntos críticos respecto a la VRP .....	120
7.9	Monta de mallas .....	130
8	CONCLUSIONES .....	132
9	RECOMENDACIONES .....	134
10	REFERENCIAS.....	135
11	ANEXOS.....	137



## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Crisis de agua en Monterrey 2022.....	27
Imagen 2 Oferta y Demanda del agua en el Área Metropolitana de Monterrey (MONTERREY, 2022).....	28
Imagen 3 Presa la boca.....	29
Imagen 4 Presa cerro prieto.....	29
Imagen 5 Presa cuchillo.....	30
Imagen 6 Sistema de distribución y fuentes de abastecimiento en el AMM (Monterrey, 2021).....	31
Imagen 7 Suministro del agua potable en el área metropolitana de Monterrey (Monterrey, 2021).....	32
Imagen 8 Fuentes de abastecimiento subterráneo (MONTERREY, 2022).....	33
Imagen 9 Sectorización (SAYDM, 2021).....	38
Imagen 10 Modulación de presiones (SAYDM, 2021).....	40
Imagen 11 Telemetría y control en el AMM Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey (AYDM). .....	41
Imagen 12 Tubería en serie (pumpsbombas, 2020).....	42
Imagen 13 Tuberías en paralelo (pumpsbombas, 2020).....	43
Imagen 14 Representación de la distribución del agua (e.mora, 2018).....	44
imagen 15 Solenoides (parker, 2023).....	47
Imagen 16 Válvula hidráulica (BERMAD, 2022).....	49
Imagen 17 Válvula admisión y expulsión de aire (BERMAD, 2022).....	50
Imagen 18 Válvula anticipadora del golpe de ariete (BERMAD, 2022) .....	52

Imagen 19 Cavitación cambio de estado del agua.....	53
Imagen 20 Curva de presión de vapor del agua (I) (ms-ingenieria, 2017).....	54
Imagen 21 Curva de presión de vapor de agua (II) (ms-ingenieria, 2017).....	54
Imagen 22 Altura piezométrica (ingenieria, 2022).....	58
Imagen 23 Energía contenida de un fluido (ingenieria, 2022) .....	58
Imagen 24 Evolución de los tipos de energía (ingenieria, 2022) .....	59
Imagen 25 Evolución de los tipos de energía en el punto de regulación (I) (ingenieria, 2022) .....	60
Imagen 26 Evolución de los tipos de energía en el punto de regulación (II) (ingenieria, 2022) .....	61
Imagen 27 Carga estática de la bomba (succión negativa).....	63
Imagen 28 Carga dinámica.....	64
Imagen 29 Teorema de Bernoulli para fluidos perfectos (sin roce) Como los líquidos no son perfectos, la presión o la carga en un punto determinado no se mantiene constante, si no que una parte se consume en vencer las resistencias que se oponen al movimiento del líquido (CONSTRUMATICA, 2011). .....	66
Imagen 30 Ubicación VRP Macro sector Niño Artillero .....	82
Imagen 31 Ficha técnica GPRS NEPTUNE II FM-controlador de presión .....	85
Imagen 32 Ficha técnica PEGASUS+ 3G controlador de válvulas reguladoras de presión	86
Imagen 33 Ficha técnica SEBALOG D-3, Registrador de datos de presión y caudal con GPRS .....	87
Imagen 34 Ficha técnica TRITON I PF registrador de datos .....	88
Imagen 35 Macrosector con curvas de nivel georreferenciado elaborado en ArcGis .....	91

Imagen 36 Ubicación de los 30 puntos desde google Earth.....	92
Imagen 37 Ubicación de los puntos criticos en google Earth.....	93
Imagen 38 Malla topografica del macrosector elaborado en surfer .....	94
Imagen 39 Elaboración propia en surfer.....	95
Imagen 40 Elaboración en surfer.....	95
Imagen 41 Macrosector malla Topográfico elaborado en surfer.....	95
Imagen 42 Primer registro de presiones elaborado en surfer .....	96
Imagen 43 Segundo registro de presiones elaborado en surfer .....	97
Imagen 44 Tercer registro de presiones elaborado en surfer .....	98
Imagen 45 Cuarto registro de presiones elaborado en surfer .....	99
Imagen 46 Quinto registro de presiones elaborado en surfer .....	100
Imagen 47 Punto critico 1.....	122
Imagen 48 Ubicación del punto critico 1.....	122
Imagen 49 Segundo punto critico .....	123
Imagen 50 Ubicación Punto Critico # 2 .....	123
Imagen 51 Tercer punto critico .....	124
Imagen 52 Ubicación punto critico #3. ....	124
Imagen 53 Punto critico 4.....	125
Imagen 54 Ubicación del punto critico #4.....	125
Imagen 55 Punto critico 5.....	126
Imagen 56 Ubicación del punto critico # 5.....	126
Imagen 57 Punto crítico 6.....	127
Imagen 58 Ubicación punto crítico # 6 .....	127

Imagen 59.Punto crítico.....	128
Imagen 60.Ubicación del punto critico # 7.....	128
Imagen 61.Punto critico 8.....	129
Imagen 62.Ubicación del punto critico # 8.....	129
Imagen 63. Monta de mallas topográfica vs de presiones .....	130
Imagen 64. Visualización de las montas de mallas .....	131

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2 Datos presa la boca (MONTERREY, 2022) .....	29
Tabla 3. Datos de la presa Cerro Prieto (MONTERREY, 2022) .....	29
Tabla 4 Datos presa el Cuchillo (MONTERREY, 2022) .....	30
Tabla 5 Datos de presas fuentes superficiales (MONTERREY, 2022).....	30
Tabla 7 Valores de k para la ecuación de perdidas de carga local .....	70
Tabla 8 Valores de kc para una contracción brusca .....	71
Tabla 9 Coeficiente de Hazen-Williams.....	72
Tabla 10 Coordenadas de la VRP.....	82
Tabla 11 Zonas de registro vs VRP.....	111
Tabla 12 Zonas de registro 2 vs VRP.....	112
Tabla 13 Zonas de registro 3 vs VRP.....	114
Tabla 14 Zonas del registro 4 vs VRP.....	116

Tabla 15 Zonas del registro 5 vs VRP.....	118
Tabla 16 Zonas de los puntos críticos. ....	121
Tabla 17.Coordenadas de los 30 puntos medidos.....	138
Tabla 18 Resultados de las 5 mediciones. ....	139
Tabla 19 Datos registrados CUC primera medición.....	141
Tabla 20 Datos registrados CUC segunda medición.....	142
Tabla 21 Datos registrados CUC tercera medición. ....	143
Tabla 22 Datos registrados CUC cuarta medición. ....	144
Tabla 23 Datos registrados CUC quinta medición. ....	145
Tabla 24.Datos registrados CUC medición puntos críticos.....	146
Tabla 25 Ea y Er primer registro. ....	146
Tabla 26 Áreas CUC primer registro. ....	147
Tabla 27 Ea y Er segundo registro. ....	148
Tabla 28 Áreas CUC segundo registro.....	148
Tabla 29 Ea y Er tercer registro.....	149
Tabla 30 Áreas CUC tercer registro.....	150
Tabla 31 Ea y Er cuarto registro.....	150
Tabla 32 Áreas CUC cuarto registro. ....	151
Tabla 33.Ea y Er quinto registro.....	152
Tabla 34 Áreas CUC quinto registro. ....	153
Tabla 35 Ea y Er puntos criticos.....	153
Tabla 36 Áreas CUC puntos críticos. ....	153

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1 Zonas .....	79
Grafica 2 Primer registro toma domiciliaria vs VRP .....	101
Grafica 3 Segundo registro toma domiciliaria vs VRP .....	102
Grafica 4 Tercer registro toma domiciliaria vs VRP .....	103
Grafica 5 Cuarto registro toma domiciliaria vs VRP .....	103
Grafica 6 Quinto registro toma domiciliaria vs VRP .....	104
Grafica 7 Puntos criticos respecto a VRP.....	105
Grafica 8 Comportamiento del punto 4 en el domicilio 2042 de J. Martínez Campos en la cota 540 .....	106
Grafica 9 Presión en el punto 12 en el domicilio Miguel Valentín cota:537 .....	107
Grafica 10 Presión en el punto 26 en domicilio S. Islas cota:533 .....	107
Grafica 11 CUC Distribución de datos del registro 1.....	111
Grafica 12 CUC distribución de datos del registro 2 .....	112
Grafica 13 CUC distribucion de datos del registro 3.....	114
Grafica 14 CUC distribución de datos del registro 4.....	116
Grafica 15 CUC distribución de datos del registro 4.....	118
Grafica 16 Distribución de datos de los puntos críticos CUC (elaboración propia) .....	120

## 1 INTRODUCCIÓN

La escasez de agua junto con el deterioro creciente de la misma, y la dificultad de los sectores públicos para las inversiones en infraestructura destinadas a aumentar la disponibilidad del recurso, provoca una deficiencia en su distribución.

La competencia por su uso entre la agricultura, la industria y el abastecimiento en la sociedad, está limitando el crecimiento económico de muchos países en desarrollo donde las necesidades de agua superan ya a las disponibilidades. Conforme la población aumente y la economía crezca, la oferta limitada de agua se intensificará y los conflictos entre los distintos usuarios de agua estarán en problemas. A nivel mundial se estima la disponibilidad de agua promedio anual en 1386 billones de hectómetros cúbicos (Hm<sup>3</sup>). De esta cantidad, 35 billones de Hm<sup>3</sup> son agua dulce que equivale (2.5%). Del agua dulce el 70% no están disponible por encontrarse en glaciares, nieve, hielo, el 30% del agua dulce se encuentra en la humedad del suelo y en los acuíferos profundos de ese 30% un 1% escurre por las cuencas hidrológicas en forma de arroyos y ríos y se depositan en lagos, lagunas y en otros cuerpos superficiales el cual se repone a través del ciclo hidrológico (CONAGUA, 2019).

Las aguas dulces constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro debido a su indispensable uso para la vida de los seres vivos agricultura, ganadería, industria, uso doméstico. Además, impulsa el desarrollo económico de una sociedad por tal motivo las primeras civilizaciones se establecían cerca de un cuerpo hídrico como soporte de supervivencia.



Para usar lo más eficiente este recurso es necesario optimizar su uso a través de mejoras en material de planificación e instrumentación en infraestructura, tecnificar su distribución agregando accesorios de control para una mejor distribución, esperando la menor pérdida posible es aquí la gran importancia de la irrigación en la agricultura y su buen suministro público e industrial a nivel mundial.

### **1.1 El agua en el mundo**

En el siglo XX la población mundial se multiplicó tres veces, en tanto que las extracciones de agua crecieron seis veces, lo que se ha traducido en el incremento en el grado de presión sobre los recursos hídricos del mundo (SEMARNAT, 2018).

El principal uso del recurso hídrico a nivel mundial, conforme a estimaciones de la FAO (2011), es el agrícola con el 70% de la extracción total.

Este análisis revela países que destacan por su elevado consumo diario de agua por habitante.

El análisis revela que EU (575 litros), Australia (493 litros), Italia (386 litros), Japón (374 litros), México (366 litros), España (366 litros) y Noruega (301 litros) (Valdelamar, 2017).

Países del mundo con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola, industrial y abastecimiento público (CONAGUA, 2022)

## **1.2 Problemática del agua en la sociedad**

- 3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros, y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura.
- Alrededor de 10 mil niños mueren diariamente debido a enfermedades diarreicas asociadas a la falta de higiene.
- La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se prevé que este porcentaje aumente.
- 4 billones de personas carecen de acceso a servicios básicos de saneamiento, como retretes o letrinas.
- Cuando menos 892 millones de personas practican la defecación al aire libre.
- Las mujeres y las niñas son las encargadas de recolectar agua en el 80% de los hogares sin acceso a agua corriente.
- Más de 1700 millones de personas viven actualmente en cuencas fluviales, en las que el consumo de agua supera la recarga.

- Más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en los ríos o el mar sin ningún tratamiento, contaminándolos.
- Alrededor del 70% de todas las aguas extraídas de los ríos, lagos y acuíferos se utilizan para el riego.

### **1.3 Gestión del agua**

El interés por comprender las razones por las cuales el deterioro del medio ambiente ha llegado a alcanzar dimensiones a nivel planeta ha sido una preocupación para la comunidad mundial desde los últimos años debido a la mala gestión y distribución del recurso hídrico. Para la gestión del agua en el mundo se han propuesto diversos modelos tanto de gestión pública como de gestión privada, como alternativas para la provisión de los servicios de agua surgidos a partir del siglo XVIII y hasta el siglo XXI, cuyos resultados han sido bastante desafortunados en términos del detrimento de ecosistemas acuáticos y demás (Declaración Europea de la Nueva Cultura del Agua, por abreviación DENCA, 2005). La gestión del agua se refiere a un conjunto de decisiones técnicas, relativas a cantidad y calidad del recurso; operación y mantenimiento; distribución del recurso en función de criterios establecidos; resolución de conflictos; penalización de acciones de usuarios que afecten el normal proceso de asignación, y otros asuntos. Estas decisiones son adoptadas por una autoridad, la cual dispone de un sistema de control y distribución del agua. Para el ejercicio de las funciones y la toma de decisiones se requiere contar con recursos específicos y capacidades técnicas, de organización y de coordinación. De acuerdo con Garcés (2011) el deterioro del agua en el mundo podría ser considerado como una consecuencia derivada de los enfoques de administración fundamentados en el paradigma de la simplicidad y el reduccionismo. A partir

de la década de los años ochenta, en casi todo el mundo el interés ha estado centrado en políticas que proponen la expansión de la participación privada en la gestión de los recursos hídricos y el privilegio de la intervención de grandes monopolios del agua privados, nacionales e internacionales. En la provisión de agua tanto los modelos descentralizado-privado y centralizado-público fracasaron, sus resultados fueron paradójicamente análogos: deficiencias en la provisión (en cobertura y calidad), ineficiencia, discontinuidad en la inversión, falta de mantenimiento, corrupción, etc. Al finalizar la década de los ochenta con la adopción del modelo centralizado-público, se generó una situación de distanciamiento entre los usuarios y la gestión de los servicios y sus resultados (PARSONS, 2007).

## **1.4 Agua en Monterrey**

El Área Metropolitana de Monterrey, una de las tres principales metrópolis de México.

Ubicada en una región semidesértica con poca disponibilidad natural de agua, al acceso a este recurso ha sido un tema de vital importancia para la urbe a lo largo de su historia. Ante la relevancia económica del AMM, la adecuada y oportuna atención a su suministro de agua resulta de interés regional y nacional.

### **1.4.1 Crisis de agua en Monterrey 2022**

Monterrey se encuentra en el norte de México, la región más árida del país, que ha visto crecer su población en los últimos años gracias al auge de su economía. Pero su clima,

típicamente árido, tiene dificultades para mantener a la población a medida que el cambio climático reduce las escasas precipitaciones de la región. Las reservas de las presas Cerro Prieto y La Boca descendieron a niveles inferiores al 5%. Así las cosas, la ciudad solo disponía de 13.500 litros de agua por segundo, en vez de los 16.500 que necesita. En La Huasteca creemos que entender las causas relacionadas con la escasez de agua en Monterrey y aportar soluciones a dicha crisis, desde el sector inmobiliario es fundamental. La zona Metropolitana de Monterrey es de las más industrializadas de México, José Antonio Ordoñez Díaz, dijo que la causa raíz del problema se originó de la escasez de agua fue la concesión de agua otorgada por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) a empresas de capital privado que extraen 1.600 Litros por segundo además del agotamiento de fuentes de agua disponible superficial en alcalde medida en las presas, el fenómeno de la crisis del agua que registro también se refleja en la escasez de fuentes de agua subterránea con la sobreexplotación de acuíferos de las. (ambiental, 2022)



Imagen 1 Crisis de agua en Monterrey 2022 (ambiental, 2022)

El agua que se suministra al Área Metropolitana se extrae de dos fuentes:

Superficiales: 60% del abasto

Subterráneas: 40% del abasto



Imagen 2 Oferta y Demanda del agua en el Área Metropolitana de Monterrey (MONTERREY, 2022)

### 1.4.2 Fuentes superficial área metropolitana

Tabla 1 Datos presa la boca (*MONTERREY, 2022*)

La Boca

Capacidad NAMO: 39.5 Mm<sup>3</sup>

Construida en 1968 inicio de operación 1961

Volumen: 20.9 Mm<sup>3</sup>

% de llenado 52.94%



Imagen 3 Presa la boca

Tabla 2. Datos de la presa Cerro Prieto (*MONTERREY, 2022*)

Cerro Prieto

Capacidad NAMO: 300.0 Mm<sup>3</sup>

Construida en 1981, inicio de operación 1983

Volumen: 42.6 Mm<sup>3</sup>

% de llenado 14.19%



Imagen 4 Presa cerro prieto



Tabla 3 Datos presa el Cuchillo (*MONTERREY, 2022*)

Cuchillo

Capacidad NAMO: 1,123.0 Mm<sup>3</sup>

Volumen: 605.4 Mm<sup>3</sup>

Construido en 1981, fin de llenado en 1997

% llenado 53.91%



Imagen 5 Presa cuchillo

Tabla 4 Datos de presas fuentes superficiales (*MONTERREY, 2022*)

Capacidad total presas: 1,462.50 Mm<sup>3</sup>

Volumen almacenado: 668.9 Mm<sup>3</sup>

% de llenado actual 45.74 %

(MONTERREY, 2022)

## SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Y FUENTES DE ABASTECIMIENTO EN EL AMM



45

Imagen 6 Sistema de distribución y fuentes de abastecimiento en el AMM (monterrey, 2021)

### POBLACIÓN Y SUMINISTRO DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

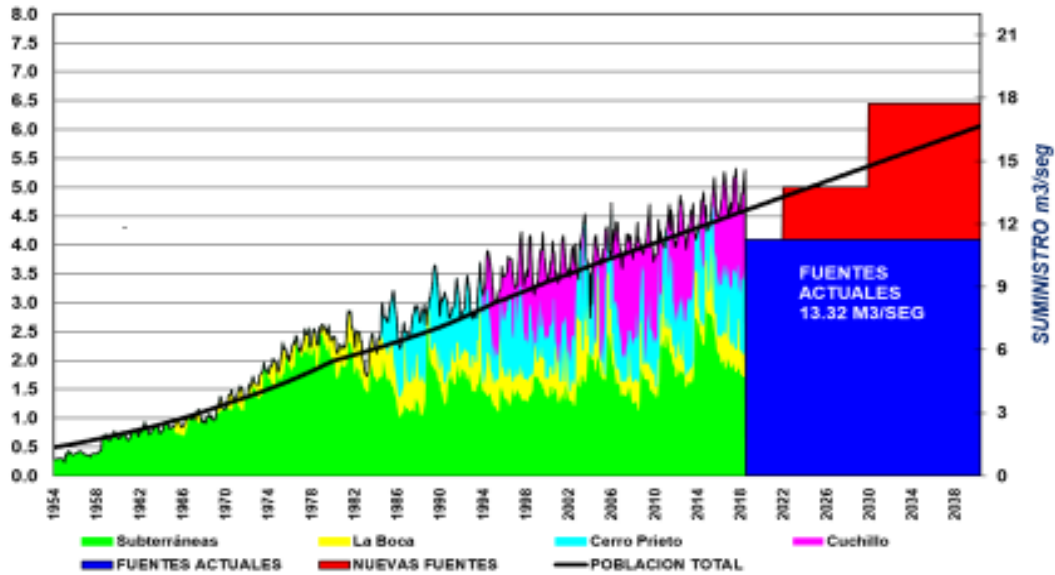


Imagen 7 Suministro del agua potable en el área metropolitana de Monterrey (monterrey, 2021)

#### 1.4.3 Fuentes Subterráneas Área Metropolitana

52 pozos profundos de entre 700 y 1000 mts. (Mina 16, Buenos Aires 17 y AMM 6.

59 pozos someros de no más de 100 mts. (AMM 7 profundos operando).

1 manantial (La Estanzuela).

3 túneles (Cola de Caballo I y II, y San Francisco).

1 galería filtrante (La Huasteca).

## FUENTES DE ABASTECIMIENTO SUBTERRÁNEA



SISTEMA BUENOS AIRES



POZOS MONTERREY

<p>Fuentes Subterráneas:-</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 52 pozos profundos de entre 700 y 1000 mts. (Sistemas Mina, Buenos Aires y AMM).</li><li>• 59 pozos someros de no más de 100 mts. (AMM).</li><li>• 1 manantial (La Estanzuela).</li><li>• 3 túneles (Cola de Caballo I y II, y San Francisco).</li><li>• 1 galería filtrante (La Huasteca).</li></ul>
---



TUNEL SAN FRANCISCO

35

Imagen 8 Fuentes de abastecimiento subterráneo (MONTERREY, 2022)

Desde 1956, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey —institución pública descentralizada del gobierno del Estado de Nuevo León— ha estado a cargo de los servicios de agua en el AMM. Hoy en día esta empresa pública es uno de los organismos prestadores de servicios de agua más grandes de México y de América Latina. Además de atender a la metrópoli, desde 1995 SADM también presta sus servicios al resto del estado de Nuevo León. Esta

responsabilidad constituye un reto significativo para la institución, ya que fuera del AMM, la población se encuentra geográficamente dispersa y fragmentada.

El 30 de abril de 1956, se crea a Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), con el carácter de Institución Pública Descentralizada (I.P.D.), con personalidad jurídica propia y patrimonio propio, cuyo objetivo es prestar el servicio público municipal de agua y drenaje a los habitantes de la ciudad de Monterrey, operando y administrando los mismos servicios, apoyando incluso a otros municipios circunvecinos

El caso Monterrey y de su organismo operador SADM, es referido nacional e internacionalmente como exitoso en materia de servicios de agua. Sin embargo, es necesario subrayar que los altos estándares observados hoy son una realidad un tanto reciente.

## **2 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de distribución del agua en el macro-sector Niño Artillero, utilizando válvulas reguladoras de presión, que si mediante el diseño de macro sectores en AMM ya establecido cumple con el gasto y la presión de requerimiento a lo largo de un horario donde la demanda es des uniforme.

## **3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Calcular coeficiente de uniformidad de las cinco tomas registradas vs válvula reguladora

Calcular eficiencia de aplicación vs válvula reguladora

Calcular coeficiente de requerimiento vs válvula reguladora

Crear malla topográfica de comportamiento piezométrico

Crear una malla de presiones de comportamiento hidráulico

Realizar monta de mallas

#### **4 HIPÓTESIS**

Dado el gran desnivel que presenta 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 por el desnivel que se presenta en el macro-sector.

El organismo operador (SAYDM) sustenta dentro de su hipótesis de calidad que, a cualquier hora, día o punto, les cumple a todos los usuarios en presión, teniendo un rango de 1.5 kg/cm<sup>2</sup> a 3.5 kg/cm<sup>2</sup> y en consecuencia cumple con el gasto de demanda.

#### **5 MARCO TEÓRICO**

El agua es indispensable tanto para la subsistencia como para la higiene y salubridad poblacional. Asimismo, es necesaria en aplicaciones comerciales, agronómicas, para generación sustentable de energía, y hasta para fines recreativos. Debido a su gran potencial, a lo largo de la historia, el ser humano evolucionó para optimizar su extracción, almacenamiento y transporte a tal grado que ya no resulta necesario establecer una población a lo largo de una fuente de agua como lo es un río o cualquier cuerpo hídrico.

En la actualidad, los métodos para abastecer de agua a una población incluyen factores como lo son su extracción, almacenamiento, distribución, y tratamiento. La infraestructura de extracción o captación y almacenamiento, como lo son las presas, sean estos someros o



subterráneos. La conducción del agua se realiza la mayoría en tuberías y canales como transporte para hacerlo llegar a su destino. Por otro lado, el tratamiento es aquella disciplina en la cual se realizan procesos y operaciones para otorgarle al agua propiedades aceptables, y así poder liberarla a cuerpos de agua naturales y reutilizarlos.

## **5.1 Formas de distribuir el agua**

### **5.1.1 Agua por gravedad**

El sistema de agua por gravedad se lleva a cabo con un conjunto de estructuras en la que el agua cae por su propio peso, a través de una red de conexiones, pasando por la captación del agua, el sistema de tratamiento, el almacenaje, hasta las conexiones públicas y/o domiciliarias.

### **5.1.2 Agua Por bombeo**

El bombeo del agua se hace generalmente de un pozo o un cárcamo. El equipo de bombeo produce un incremento brusco en el gradiente hidráulico para vencer todas las pérdidas de energía en la tubería de conducción. Se deben analizar los fenómenos transitorios en la línea de conducción, con el objeto de revisar si los tipos y las clases de la tubería seleccionada son los adecuados, y si se requieren estructuras de protección, como son: tanques unidireccionales, válvulas aliviadoras de presión, torres de oscilación y cámaras de aire. Para el caso de las líneas de bombeo que se tienen que proyectar en los desarrollos, se tendrá que considerar válvula contra el fenómeno llamado comúnmente "golpe de ariete".

## 5.2 Sectorización

El propósito de sectorizar la red de distribución de agua potable es para incrementar su eficiencia hidráulica y energética para ejercer un mayor control operativo de parámetros como la presión, la cantidad de agua, detección de fugas, así también tener un control de pérdidas con base a un análisis hidráulico de alto nivel, por medio de controladores sistemas de control automático y medición. 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.

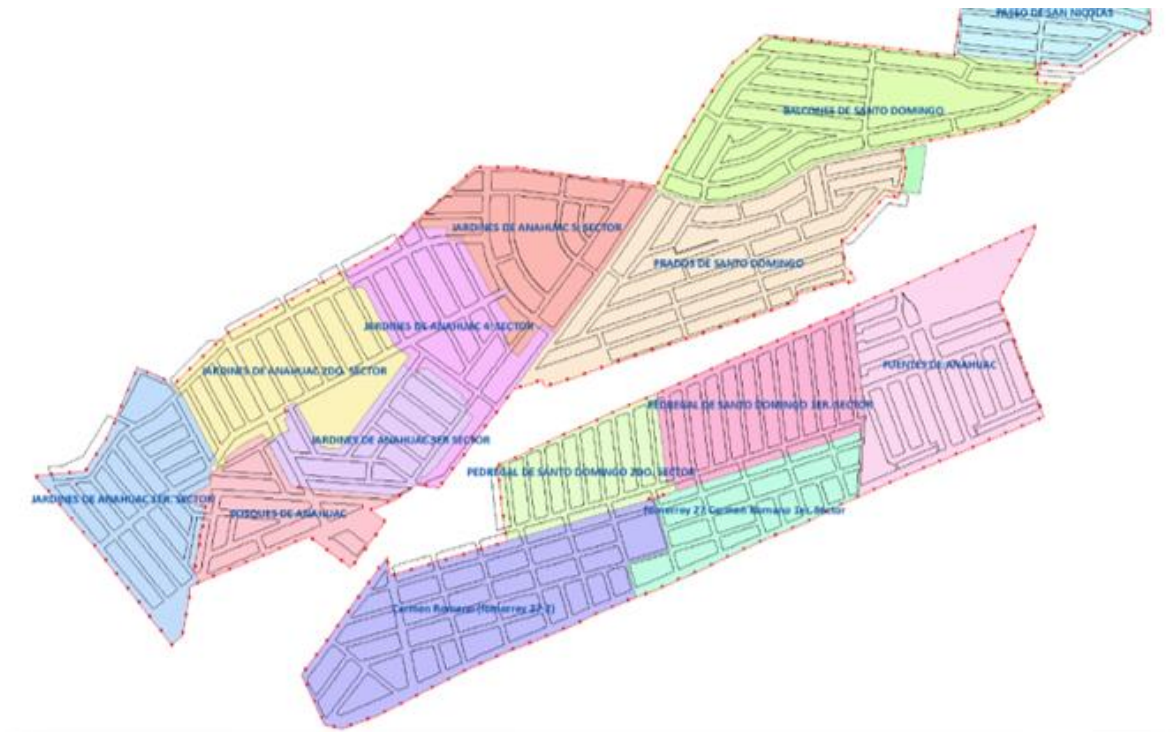


Imagen 9 Sectorización (SAYDM, 2021)

### 5.3 Modulación de presiones

Consiste en instalar equipos de medición de presión y gasto, registro, transmisión de parámetros hidráulicos, así como una plataforma de monitoreo de los datos medidos, para obtener una mejor eficiencia en la red de abastecimiento.

La modulación de presiones reducirá las pérdidas reales, teniendo un control de presiones altas y bajas, disminuyendo fugas y fallas.

Fue en el año 2015 cuando se realizó el programa de modulación de presiones de la red de agua potable, el propósito consistió en entregar al usuario una presión que vaya de 1.5 kg/cm<sup>2</sup> a 3.5 kg/cm<sup>2</sup>.

En cualquier red si no se tiene control en la modulación de presiones, aumenta las roturas de tuberías y alimenta a fugas en la red de abastecimiento, disminuyendo drásticamente la calidad del servicio.

Beneficios de la modulación de presiones:

- Protección continua de las tuberías.
- Reducción de fugas.
- Reducción del índice de quejas (mejor servicio al usuario)
- Protección continua de las tuberías.
- 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).

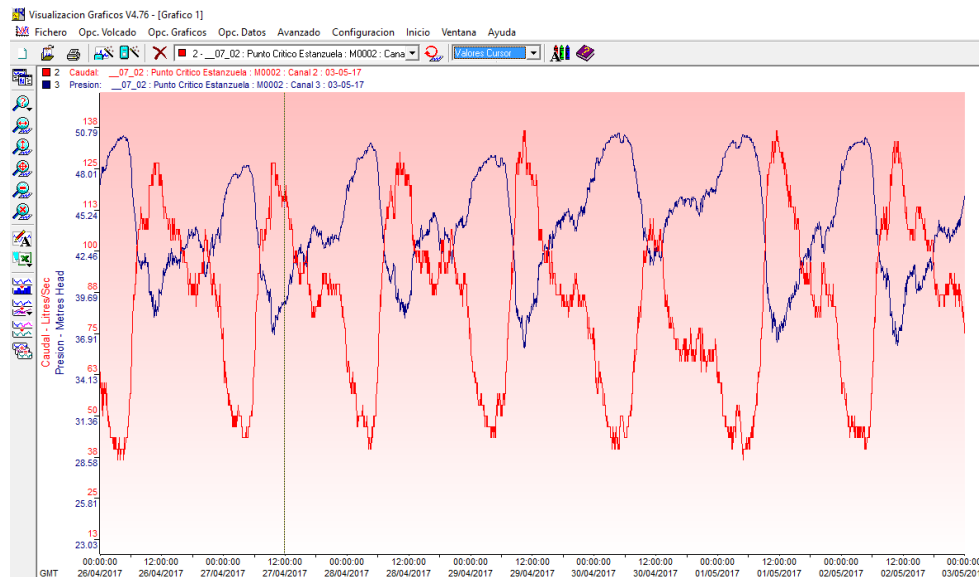


Imagen 10 Modulación de presiones (SAYDM, 2021)

## 5.4 Telecontrol y telemetría mediante sensores

El telecontrol es un sistema de envío o intercambio de información remota, consiste en el envío de indicaciones a distancia mediante un enlace de transmisión, proporciona información del estado de funcionamiento del sistema de agua, optimiza los recursos hídricos y un mayor aprovechamiento del agua disponible al tener un control total sobre el agua distribuida y las pérdidas de agua en red.

La telemetría es un sistema que manda el dato fechado, en un tiempo casi real, se encarga de mostrar la información de uno o varios lugares, para llevarlo a un centro de control o computadora donde se procesa la información.

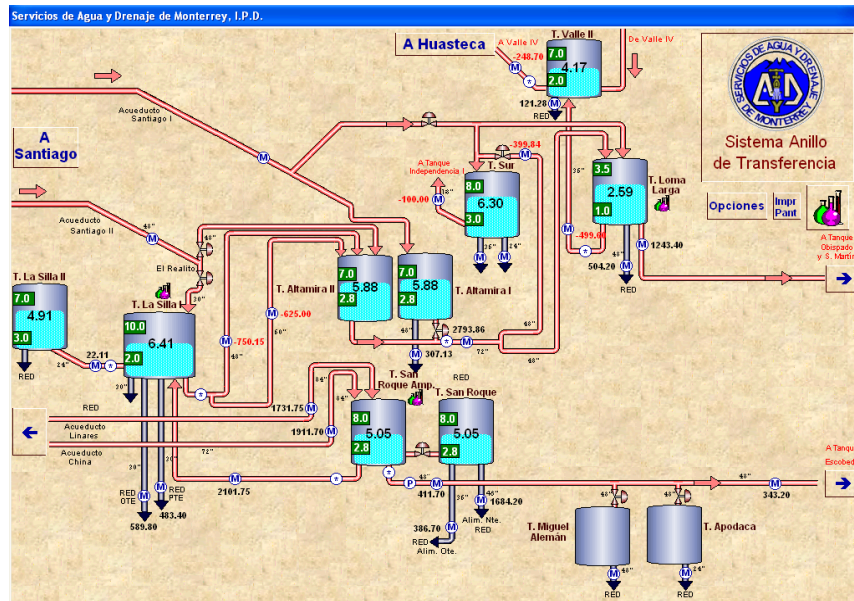


Imagen 11 Telemetría y control en el AMM Fuente: Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey (AYDM).

## 5.5 Línea y red de conducciones

Todo aquel componente, incluyendo bombas, tanques reguladores, plantas potabilizadoras, tubería y accesorios, abarca un sistema de transporte de agua.

El resultado de la necesidad de conectar usuarios de dispersas ubicaciones, por medio de una línea de conducción. Una colección que incluye el sitio de captación, la tubería necesaria, y los elementos hidráulicos como lo son las válvulas, las bombas, para abastecer a la población usuario como destino final de una línea/red de distribución, que se puede encontrar al exterior de una casa o edificio, y está compuesto por accesorios y componentes hidráulicos que permiten que los sistemas de agua y drenaje del municipio instalen medidores.

### 5.5.1 Conexión en serie:

La mayoría de las redes divididas en zonas de presión no cuentan con su propia fuente de abastecimiento. Debido a esto, la zona de presión que recibe el agua deberá abastecer a las colindantes por medio de la descarga directa a tanques, cajas rompedoras de presión o válvulas reductoras de presión, en un terreno descendente; o por rebombes en el caso de un terreno ascendente. En casos excepcionales puede emplearse el bombeo directo a las zonas altas. Si así sucede, las bombas y tuberías de alimentación de la zona se diseñarán para el gasto máximo horario en el día de máxima demanda, Cuando se configuran las bombas centrífugas en serie, se conectan a lo largo de una sola línea, se puede agregar la altura de cada bomba para cumplir con los requisitos de alta presión y bajo flujo de su aplicación. (AIGUAPRES, 2021). La tubería en serie los gastos son iguales mientras la carga total es igual a la suma de carga a +b+c como se muestra en la ecuación 2 de la figura 7)

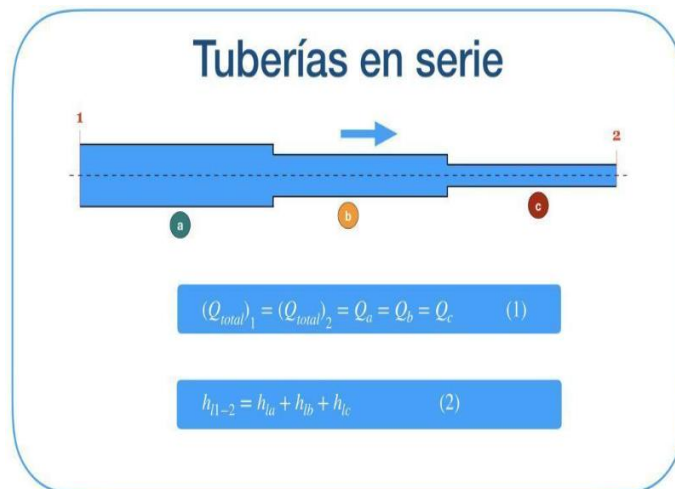


Imagen 12 Tubería en serie (pumpsbomas, 2020)

### 5.5.2 Conexión en paralelo

Se le llama así cuando cada zona de presión se abastece mediante líneas de conducción independientes y que tienen su propio tanque de regulación. Las tuberías en paralelo el gasto total es igual a la suma de los gastos totales mientras tanto la pérdida de carga total es igual a  $H_1$ ,  $H_2$  Y  $H_3$  como se muestra la ecuación 2 de (figura 8)

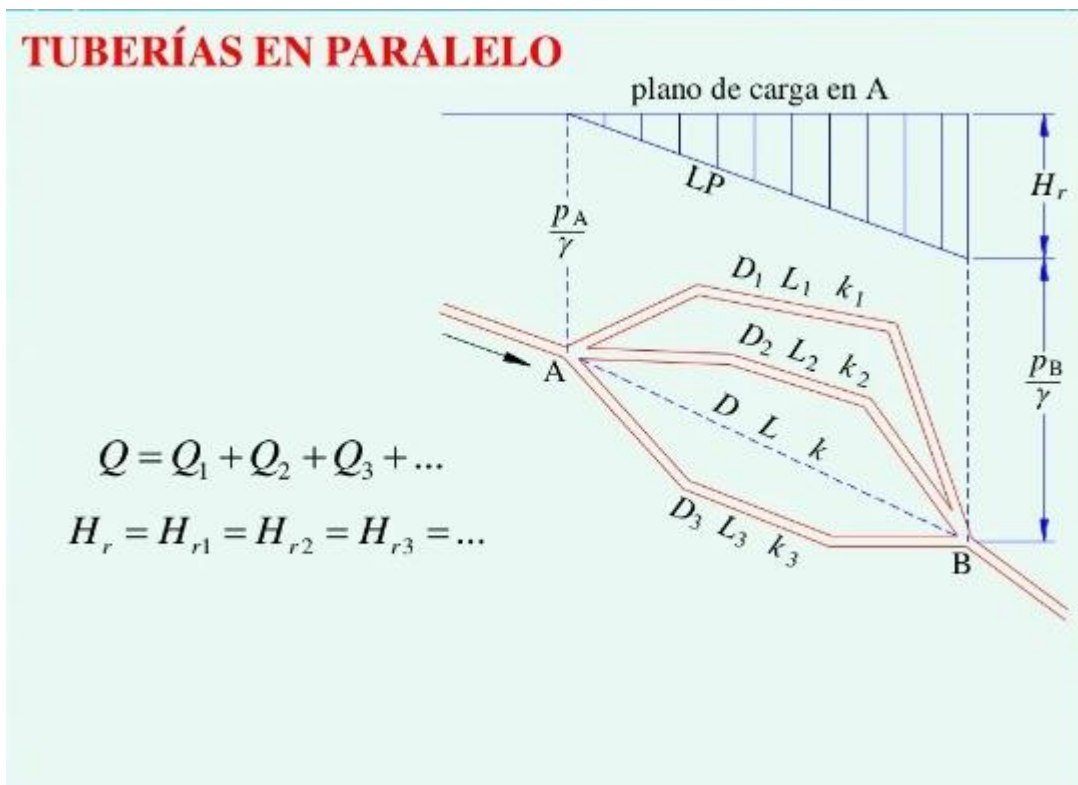


Imagen 13 Tuberías en paralelo (pumpsbombas, 2020)

### 5.5.3 Conexión combinada

Se utiliza cuando la red de distribución se abastece a través varias fuentes. Cada una de ellas lo hace a una parte de la red, y esas partes se unen entre sí tanto en paralelo como en serie.

## 5.6 Componentes de una red de distribución.

Una red de distribución se compone de tuberías, piezas especiales, válvulas de diversos tipos, hidrantes contra incendio y públicos, tanques de regulación, rebombes y accesorios complementarios que permiten su operación y mantenimiento.

De donde se toma en agua hablando subterráneamente ya sea de un pozo profundo, o cualquier fuente subterránea, por medio de fuente superficial puede ser un río un lago.



Imagen 14 Representación de la distribución del agua (*E.mora, 2018*)

### 5.6.1 Estación de bombeo

Es una obra electromecánica, hidráulica y civil, constituida por una subestación eléctrica, cárcamo de bombeo, rejillas, bombas, equipo eléctrico, tuberías, válvulas y accesorios



requeridos para la operación. Esta estación proporciona las condiciones energéticas de diseño para que la conducción transporte el agua.

### **5.6.2 Cárcamo de bombeo**

Estructura diseñada para recibir y contener la cantidad de agua requerida por el equipo de bombeo. Para realizar esto se considera la velocidad de aproximación del agua, la sumergencia mínima y su geometría en relación con la localización del equipo para que permita el bombeo adecuado del gasto de diseño.

### **5.6.3 Filtración**

Los sistemas de riego requieren de una filtración adecuada para funcionar de manera óptima y fiable. En función de la calidad o problemática que presente el agua deberemos optar por un sistema de filtrado diferente.

### **5.6.4 Válvulas**

Las válvulas son dispositivos mecánicos que son empleados para detener, iniciar o controlar las características del flujo en conductos a presión. Pueden ser accionadas manualmente o por medios automáticos o semiautomáticos.

En redes de distribución son más usuales las válvulas que se operan manualmente mediante palancas, volantes y engranes, debido a que los cierres y aperturas son ocasionales.

Las válvulas permiten drenar o vaciar una línea, controlar el gasto, regular los niveles en los tanques de almacenamiento, evitar o disminuir los efectos del golpe de ariete (cambios de

presión que pueden colapsar la tubería), la salida o entrada de aire, así como evitar contraflujos.

Las válvulas se dividen en dos clases según su función:

**Válvulas Manuales:** dejan el paso directo o interrumpen el paso del líquido se regula por medio de la palanca o el volante, válvula bola, de compuerta, mariposa, check.

**Válvulas Hidráulicas:** Son equipos muy útiles en diferentes industrias; Sin embargo, de manera general podemos decir que una válvula inicia su funcionamiento cuando la cámara (elemento que está en la parte superior de una membrana) está conectada al exterior, entonces el agua, al llevar presión dentro de una tubería, empuja dicha membrana hacia arriba.

Después de estos pasos, la válvula se abre y el agua comienza a pasar. A partir de este punto intervienen accesorios o componentes específicos, por ejemplo, los pilotos.

Las válvulas hidráulicas se pueden definir, según su funcionamiento, en válvulas hidráulicas direccionales, válvulas hidráulicas de control de presión y válvulas hidráulicas control de flujo.

### **5.6.5 Solenoides**

Son válvulas hidráulicas, las cuales son accionadas mediante una señal eléctrica, permite el control del flujo en varios sentidos, y pueden ser de tipo ON / OFF, es decir nos referimos a un elemento que convierte una señal eléctrica en una hidráulica, que cuenta con la presión necesaria para poder abrir o cerrar una válvula. Podemos describir a este accesorio como una bobina hecha de cobre que adentro tiene un núcleo ferromagnético que recibe tensión cuando

la bobina se abre y cambia de posición, momento en que se realiza el cambio de señales que mencionamos antes (de eléctrica a hidráulica).



imagen 15 Solenoides (*parker, 2023*)

### **5.6.6 Pilotos**

Se trata de unos dispositivos hidráulicos que trabajan a partir de la señal que emite un sensor para modificar el comportamiento que tienen las válvulas en una instalación determinada. Además, los pilotos sirven como reguladores, porque con ellos se puede modular el caudal de un fluido, es decir, cerrar su paso, abrirlo o controlarlo.

### **5.6.7 Válvula Reguladora de Presión.**

Existe una gran variedad de válvulas controladoras de presión. Así se tienen válvulas: reductoras de presión, sostenedoras de presión o aliviadoras de presión (según su colocación), anticipadoras de onda, y para el control de bombas. Algunas de estas funciones pueden combinarse entre sí y además puede añadirles la función de válvula de retención (unidireccional).

La válvula reductora de presión reduce la presión aguas arriba a una presión prefijada aguas abajo. Esta herramienta se emplea generalmente para abastecer a zonas bajas de servicio. La válvula sostenedora de presión mantiene una presión fija aguas abajo y se cierra gradualmente si la presión aguas arriba desciende de una determinada.

Las válvulas reductoras de presión tienen la ventaja de ajustarse a las condiciones de la tubería. Esto las hace más aptas para instalarse en las tuberías dentro de la red de distribución, donde las presiones varían con la demanda.

Las válvulas más modernas poseen un diseño hidrodinámico que disminuye las pérdidas de carga y la cavitación. Tienen como característica un cuerpo básico al cual se le pueden agregar los controles necesarios para controlar y regular el flujo o la presión. Existen además válvulas de admisión y expulsión de aire que no se corroen y que son muy ligeras.

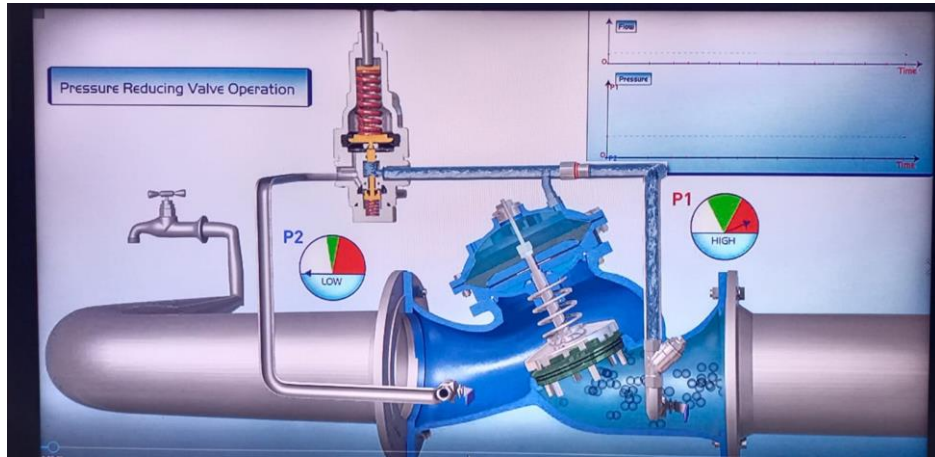


Imagen 16 Válvula hidráulica (BERMAD, 2022)

### 5.6.8 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 con válvulas y equipos de bombeo, etc. Conjunto formado por válvulas, carretes, tes, y demás accesorios, ubicados en el recorrido según el diseño de la conducción. Este conjunto permite conectar adecuadamente los equipos de bombeo con la tubería.

### 5.6.9 Caja rompedora de presión

Estructura contenedora, es utilizada en sistemas por gravedad para comunicar a la conducción con la atmósfera, se encarga de disminuir las cargas piezométricas ejercidas sobre la tubería.

### 5.6.10 Válvula eliminadora de aire

La válvula eliminadora de aire cumple la función de expulsar el aire de la tubería que se acumula en las partes altas del perfil de la conducción

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 flotador 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, con ello evitar que se presenten presiones negativas.



Imagen 17 Válvula admisión y expulsión de aire (BERMAD, 2022)

## **5.7 Dispositivos para control de transitorios**

### **5.7.1 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 para abrir una compuerta cuando la presión pasa un valor determinado.

Se recomienda colocar este tipo de elemento, en conducciones con diámetros pequeños.

### **5.7.2 Válvula anticipadora del golpe de ariete**

La válvula anticipadora del golpe de ariete protege al equipo de bombeo de la onda de sobrepresión causada por el paro de la bomba o falla de la energía.

Esta válvula opera con la presión de la línea de conducción, y el nombre de anticipadora se debe a que entra en funcionamiento antes de la llegada de la onda de sobrepresión.

Este tipo de válvula realiza la apertura mediante la activación del solenoide al ocurrir la falla de energía del motor o cuando baja la presión hasta un valor preestablecido y desaloja a la atmósfera el exceso de presión que provoca la onda de sobrepresión.



Imagen 18 Válvula anticipadora del golpe de ariete (BERMAD, 2022)

## **5.8 Hidráulica de tubos**

### **5.8.1 Golpe de ariete**

Se denomina Golpe de Ariete al fenómeno hidráulico transitorio producido por variaciones de velocidad en el fluido transportado. Este fenómeno consiste en la propagación de ondas de presión y depresión a lo largo de las conducciones, debido a la transformación de energía cinética en energía de presión y elástica.

Un golpe de ariete es un aumento repentino de la presión causado por un cambio rápido en la velocidad de caudal de la tubería. Este fenómeno se denomina "golpe de ariete" porque los aumentos repentinos de la presión suelen ir acompañados de un ruido semejante al que haría la tubería si se golpease con un martillo.



## 5.8.2 Cavitación

Es un fenómeno físico, mediante el cual un líquido, en determinadas condiciones, pasa a estado gaseoso y unos instantes determinados a estado líquido sucede en cambios bruscos de la velocidad del líquido. Los efectos que produce son ruidos y golpes, vibraciones, erosiones del material.

Fase1: Cambio de estado líquido a estado gaseoso

Fase 2: Cambio de estado gaseoso a estado líquido

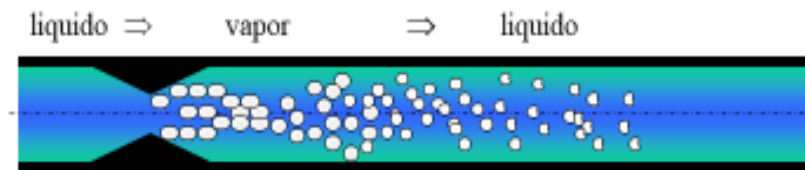


Imagen 19 Cavitación cambio de estado del agua

La cavitación es un fenómeno muy frecuente en sistemas hidráulicos donde dan cambios bruscos de la velocidad del líquido.

Ejemplos en partes móviles: alabes de turbinas, rodetes de bombas, hélices de barcos.

Ejemplos en partes no móviles: estrangulamientos bruscos, regulación mediante orificios, en válvulas reguladoras.

## ¿Cuándo se evapora el agua (I)?

La condición de paso de líquido a vapor depende de dos parámetros:

- **temperatura**
- **presión**

La correlación es lo que se conoce como **curva característica de la presión de vapor**.

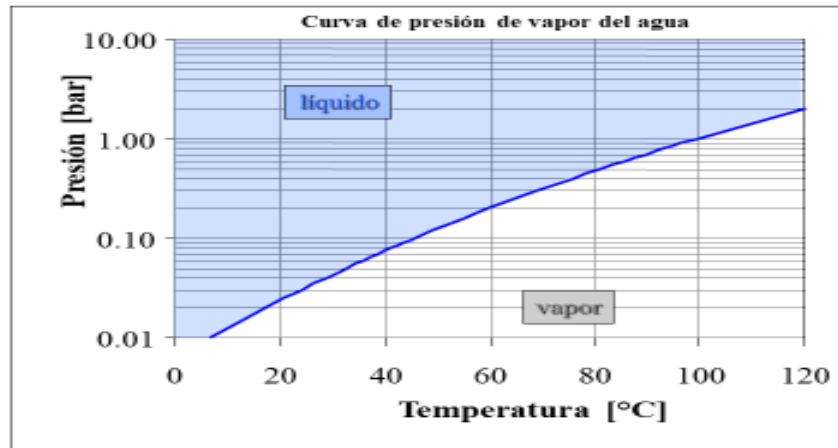


Imagen 20 Curva de presión de vapor del agua (I) (ms-ingenieria, 2017)

## ¿Cuándo se evapora el agua (II) ?

A presión atmosférica (1 bar) el agua se evapora a 100°C.

Cuando la presión decrece, el proceso de evaporación comienza a una temperatura menor.

Ejemplo:

A una presión de 0.02 bares el agua se evapora a una temperatura aproximada de 18°C.

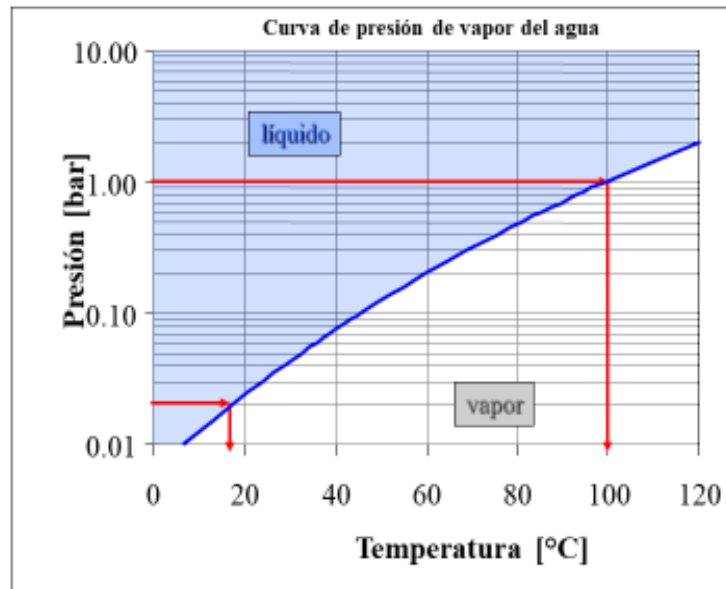


Imagen 21 Curva de presión de vapor de agua (II) (ms-ingenieria, 2017)

### 5.8.3 Topografía

Se ocupa de la medición y el registro de contornos de elevación, produciendo una representación tridimensional de la superficie de la tierra.

Cuando se necesita hacer un trabajo topográfico de cierto terreno, se eligen una serie de puntos y se miden con relación a sus coordenadas horizontales, como latitud y longitud, y su posición vertical, en términos de altitud. Al registrarse en una serie, estos puntos producen líneas de contorno que muestran cambios graduales en el terreno.

### 5.8.4 Ecuaciones para flujo permanente

Las ecuaciones fundamentales de la hidráulica que aquí se aplican son dos, la de continuidad y la de energía, las cuales en este capítulo se presentan para el caso de un flujo permanente.

**Nodo:** Es el punto donde se unen dos o más elementos.

**Recorrido:** Es una trayectoria a través de los elementos del sistema de tubos con un sentido arbitrario, pasando por un punto sólo una vez. Los puntos inicial y final pueden ser uno mismo, o diferentes si en los dos puntos se conecta un elemento frontero.

La ecuación de continuidad se aplica en los nodos y la de energía en los recorridos.

### 5.8.5 Presión

La presión es la fuerza que se transmite en un área dada es considerada como un fenómeno físico y se mide  $N/m^2$ .

Los fluidos y gases también ejercen presión sobre los objetos, imagina un objeto dentro de un recipiente de agua, los pesos que influirán sobre él, serán el peso del aire de la atmósfera y la presión que ejerce el peso del agua sobre el cuerpo.

### **Presión absoluta**

Es la presión total que existe en un punto, debido a todas las causas que están influyendo para producirla, siempre y cuando se mida en un vacío perfecto.

$$\textit{Presión absoluta} = \textit{Presión atmosférica} + \textit{Presión relativa}$$

### **Presión relativa**

Es el valor de la sobrepresión que existe sobre el valor de la presión atmosférica, correspondiendo la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica, que es la presión por la cual se mide el manómetro.

### **Presión atmosférica o presión barométrica**

Es la presión en el aire circundante, esta presión varía con la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar.

Es la fuerza que ejerce la columna de aire de la atmósfera sobre la superficie terrestre, siendo proporcional a la altitud, es decir cuanto mayor es la altitud, menor será la presión atmosférica.

$$P_a = \rho \cdot g \cdot h$$

- $P_a$  = es la presión ejercida en un punto del fluido.
- $\rho$  = es la densidad del fluido.
- $g$  = es la aceleración de gravedad.
- $h$  = es la profundidad.

### **Presión negativa**

Es una presión de vacío, la presión atmosférica es de 1 kg/cm<sup>2</sup> cuando en una tubería comienza a tener una presión por debajo de la presión atmosférica comienza a realizarse el vacío, significan que la presión es inferior a los 10.33 mca, pero no significa que el agua no siga fluyendo.

#### **5.8.6 Línea piezométrica**

Altura piezométrica: Se llama a la altura alcanzada en un piezómetro abierto dispuesto en la tubería, es decir, representa la suma de la energía de posición y de presión. Altura total: Se llama a la resultante de sumar a la altura piezométrica la altura equivalente a la energía de velocidad. Si en una conducción se unen los puntos alcanzados por la altura piezométrica, se obtiene la “línea de alturas piezométrica” y si se unen los puntos alcanzados por la altura total, se obtiene la “línea de alturas totales”.

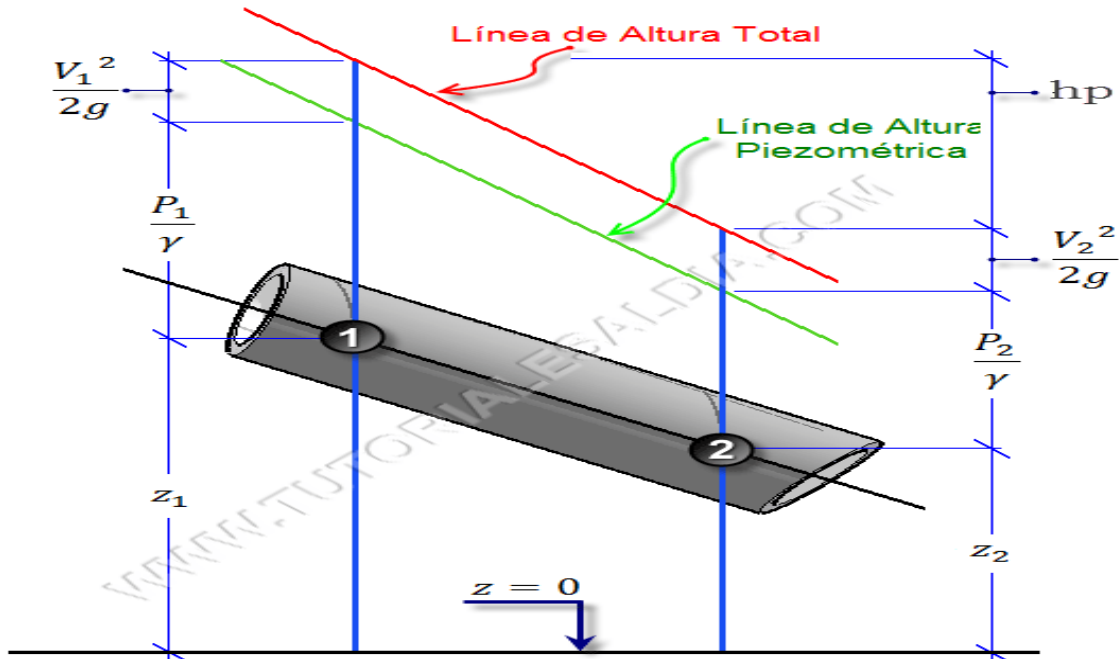
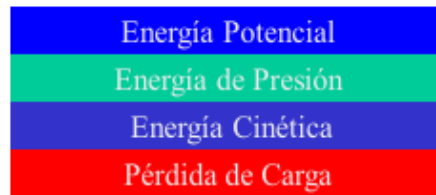


Imagen 22 Altura piezométrica (ingeniería, 2022)

### Energía contenida en un fluido

La **energía total** de un fluido está compuesta de los siguientes tipos de energías:



+

¡La suma de todas estas energías es constante!

$$\Sigma \text{ constante}$$

**Teorema de Bernoulli**

Imagen 23 Energía contenida de un fluido (ingeniería, 2022)

## Evolución de los tipos de energías

La **energía total** almacenada en el depósito debido a la carga estática acumulada en el mismo es la **energía potencial** del sistema.

Cuando circula un caudal por la tubería horizontal la **energía potencial** disponible se convierte en:

Energía cinética

Energía de presión

Pérdida de carga

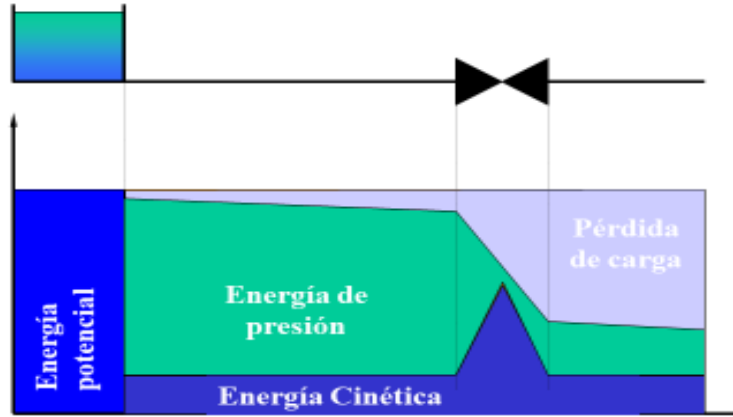


Imagen 24 Evolución de los tipos de energía (ingeniería, 2022)

## *Evolución de los tipos de energía en el punto de regulación (I)*

Debido al estrechamiento de la sección de paso en punto de regulación, la velocidad del fluido y por tanto su energía cinética aumentan considerablemente.

Debido, también, al estrechamiento las pérdidas también aumentan de forma apreciable.

En la “vena contracta” la energía de presión restante, y por tanto la presión local, decrece considerablemente ya que la energía total debe permanecer constante.

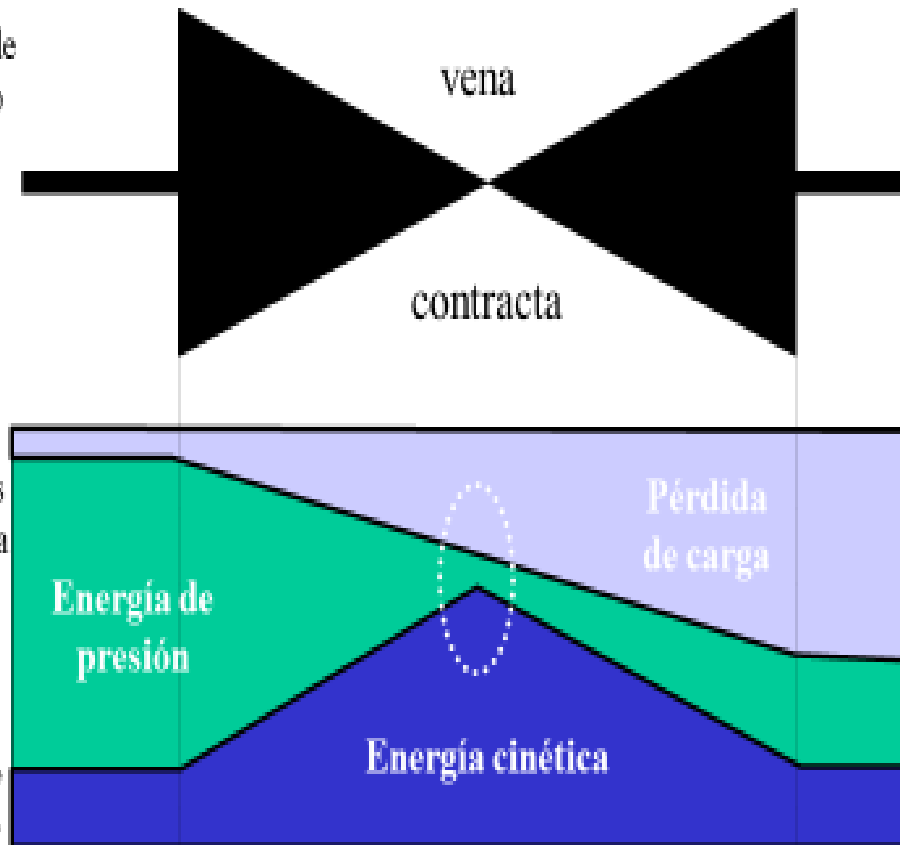


Imagen 25 Evolución de los tipos de energía en el punto de regulación (I) (*ingeniería, 2022*)



## Evolución de los tipos de energía en el punto de regulación (II)

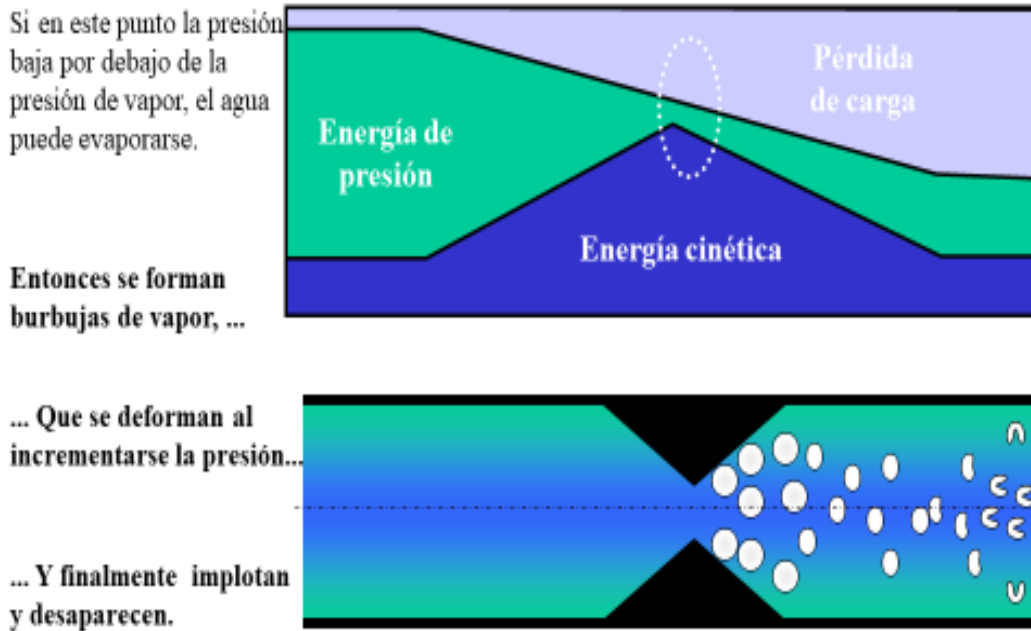


Imagen 26 Evolución de los tipos de energía en el punto de regulación (II) (ingenieria, 2022)

$$H_i = \frac{P_i}{\gamma} + Z_i$$

Donde,

$H_i$ : Altura piezométrica [mca]

$P_i$ : Presión en la tubería (N/m<sup>2</sup>)

$\gamma$ : Peso específico ( $\gamma = \rho \cdot g$ ) (N/m<sup>3</sup>)

$Z_i$ : Cota (m)

### **5.8.7 Altura cinética**

Es la altura existente entre el nivel máximo del agua que ha subido por la derivación vertical hasta el final de dicha derivación. Depende de la velocidad y aceleración que adquiera el agua desde la conducción principal.

$$\frac{V^2}{2g}$$

### **5.8.8 Altura geométrica**

Es la altura en metros del punto considerado del agua medida desde una cota de referencia, siendo el valor de Z.

### **5.8.9 Carga total**

Es la suma de la altura geométrica (Z), la altura de presión (P/Y) y la altura de velocidad

$$(v^2/2g).$$

### **5.8.10 Carga dinámica y estática total en un sistema de bombeo**

Es la suma de la carga estática y la carga dinámica.

## La carga estática

Es la que representa la resistencia en un sistema de bombeo, el principal componente de ella es la diferencia entre la elevación y entre la superficie del líquido en la succión y la superficie del líquido en la descarga.

*Carga estática de la bomba.*

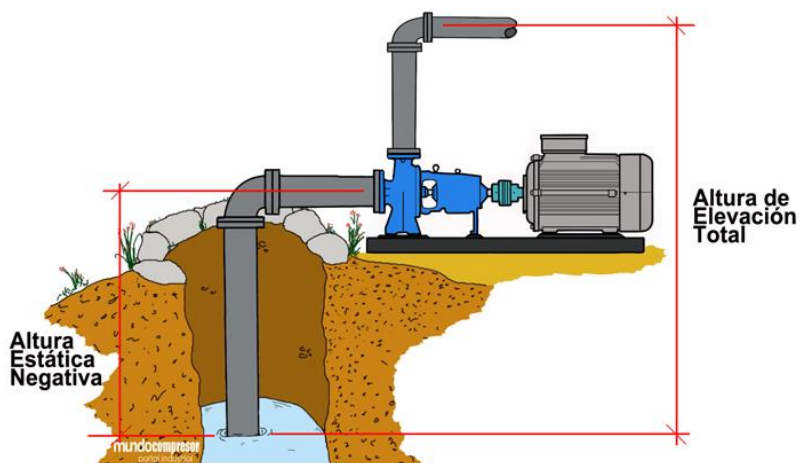


Imagen 27 Carga estática de la bomba (succión negativa)

## La carga dinámica

Representa la resistencia de un sistema de bombeo mientras el fluido bombeado está en movimiento. Por lo que, las pérdidas en la carga dinámica son aquellas que se crean una vez

que el fluido empieza a desplazarse a través del sistema. Estas pérdidas son debido a la fricción; comúnmente llamadas Pérdidas de Fricción. (FESMEX, s.f.)

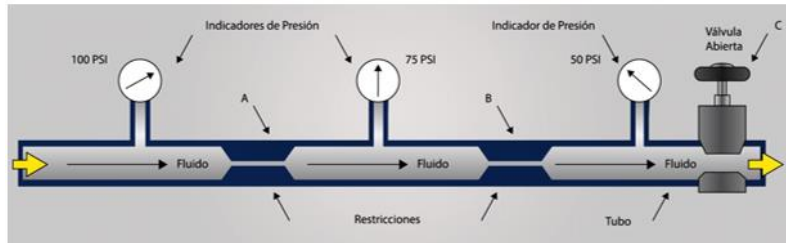


Imagen 28 Carga dinámica

### 5.8.11 Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad establece que la suma de gastos en un nodo es igual a cero, observando si entran o salen del nodo. En forma matemática se tiene:

$$\Sigma Q = 0$$

El sistema de ecuaciones que se forma con la ecuación de continuidad puede prescindir de las ecuaciones en los nodos donde se une un elemento frontero.

En la figura 09 se muestran varios casos de nodos donde se unen elementos frontera y que no es necesario plantear la ecuación de continuidad.

La ecuación de energía aplicada en los recorridos se expresa:

$$E_1 + \sum H = E_2 + \sum h_{f,1-2} + \sum h$$

donde  $E_1$  y  $E_2$  son, respectivamente, la energía total  $Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g}$  en el punto donde inicia y termina el recorrido,  $\sum h_{f,1-2}$  es la suma de pérdidas de energía que existen en el recorrido,  $\sum H$

la suma de cargas de las bombas, y  $\Sigma h$  la suma de pérdidas locales de energía provocadas por dispositivos como válvulas, codos, reducciones, etc.

### 5.8.12 Teorema de Bernoulli

la resolución de un problema de cálculo de una red implica el cumplimiento del balance de energía entre dos puntos (1,2) cualquiera, según:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + z_1 + h_b = \left( \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + z_2 \right) + h_f + h_m$$

Donde,

$P$ : Presión [mca]

$\gamma$ : Peso específico ( $\gamma = \rho \cdot g$ )

$Z_i$ : Cota (m)

$V^2/2g$ : Altura cinética [mca]

$H_b$ : Altura manométrica que proporciona la bomba [mca]

$H_f$ : Pérdidas de carga por fricción de las tuberías [mca]

$h_m$ : Pérdidas localizadas (accesorios) [mca]

relaciona la presión, la velocidad y la altura de dos puntos cualesquiera (1 y 2) en un fluido con flujo laminar constante de densidad.

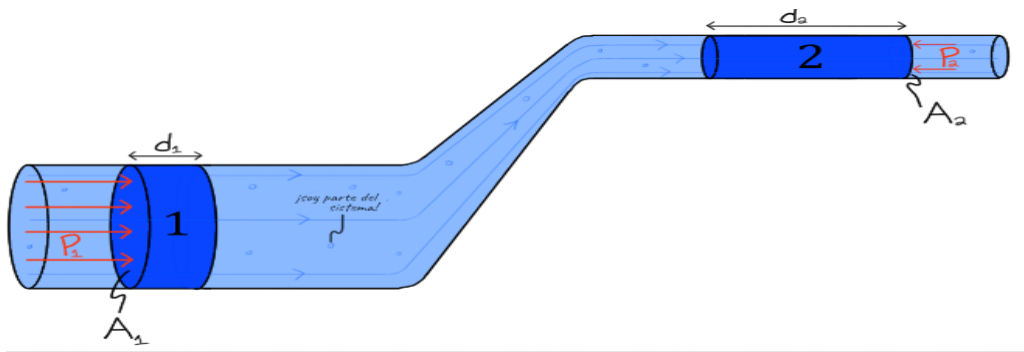


Imagen 29 Teorema de Bernoulli para fluidos perfectos (sin roce)

Como los líquidos no son perfectos, la presión o la carga en un punto determinado no se mantiene constante, si no que una parte se consume en vencer las resistencias que se oponen al movimiento del líquido (CONSTRUMATICA, 2011).

### **Perdidas de energía por fricción en la conducción**

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.

### 5.8.13 Ecuación de Darcy-Weisbach

Es una ecuación teórica utilizada para el cálculo de Pérdidas por Fricción en sistemas operando a Presión. Aun cuando es una ecuación completamente desarrollada en fundamentos de la física clásica, haciéndola aplicable para prácticamente cualquier tipo de fluido y en diversas aplicaciones, su uso no se ha extendido (al menos en la parte práctica) debido a lo complejo que es el cálculo del Factor de Fricción (la expresión de este factor es una ecuación implícita), siendo necesario generalmente la realización de iteraciones o el uso de métodos numéricos para lograr la resolución.

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

donde  $f$  es un coeficiente de pérdidas por fricción,  $L$  y  $D$  son la longitud y el diámetro interior del tubo,  $v$  es la velocidad media del flujo y  $h_f$  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  $\epsilon/D$ ; sus valores se obtienen aplicando la siguiente ecuación de Colebrook-White.

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

donde:

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

donde  $\epsilon$  es la rugosidad absoluta de la pared interior del tubo expresado en mm, y  $\nu$  es la viscosidad cinemática del fluido en m<sup>2</sup>/s.

#### 5.8.14 Ecuación modificada de Colebrook-White

Se han efectuado varios estudios para obtener expresiones explícitas para el cálculo del coeficiente de pérdidas  $f$  ajustado a los resultados de la ecuación de Colebrook-White y poder así aprovechar las ventajas que tiene esta ecuación.

$$f = \frac{0.25}{\log\left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)^2}$$

tiene ventajas sobre otras presentaciones explícitas para calcular el valor de  $f$ , donde:

$$G = 4.555 \text{ y } T = 0.8764 \text{ para } 4000 \leq Re \leq 10^5$$

$$G = 6.732 \text{ y } T = 0.9104 \text{ para } 10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$$

$$G = 8.982 \text{ y } T = 0.93 \text{ para } 3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$$



Sustituyendo la ecuación en la de Darcy-Weisbach, se tiene que:

$$hf = \frac{0.203 L}{g * Q^5 * \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)^2} * Q^2$$

con la cual se calculan las pérdidas de energía por fricción en una conducción con los mismos resultados de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook-White.

#### 5.8.15 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

$$h = k \frac{V^2}{2g}$$

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.

En la tabla 01 se muestran algunos valores de  $k$  en función del tipo de accesorio.

En el caso de un ensanchamiento brusco el valor de  $k$  es igual a 1.0 y el valor de  $V$  de la ecuación se sustituye por la diferencia de velocidades existente en los tubos aguas arriba y aguas abajo del ensanchamiento.

Tabla 5 Valores de  $k$  para la ecuación de pérdidas de carga local

ACCESORIO	COEFICIENTE $k$
1. De depósito a tubería (pérdida a la entrada)	
- Conexión a ras de la pared	0.50
- Tubería entrante	1.00
- Conexión abocinada	0.05
2. De tubería a depósito (pérdida a la salida)	1.00
3. Contracción brusca (véase tabla I.3.2)	$k_c$
4. Codos y tes	
Algunos valores de $k$ son:	
- Codo de 45°	0.35 a 0.45
- Codo de 90°	0.50 a 0.75
- tees	1.50 a 2.00

Tabla 6 Valores de  $k_c$  para una contracción brusca

$D_1/D_2$	$k_c$
1.20	0.08
1.40	0.17
1.60	0.26
1.80	0.34
2.00	0.37
2.50	0.41
3.00	0.43
4.00	0.45
5.00	0.46

#### 5.8.16 Ecuación de Hazen Williams

Esta es una ecuación empírica de extendido uso en el Campo de la Ingeniería Civil para el cálculo de las Pérdidas por Fricción en Conducciones a presión. Surge, a principios del siglo XX, como una tendencia de, precisamente, solventar lo complejo que resultaba el cálculo de estas pérdidas con la Ecuación de Darcy-Weisbach referida anteriormente.

Siendo la Ecuación de Hazen-Williams una de las de uso más extendido, desarrollaremos aquí lo relacionado con su utilización en sistemas de Tuberías operando a presión. La Ecuación de Manning, la desarrollaremos en otro artículo, cuando tratemos conducciones operando a superficie libre.

$$hf_{[m]} = 10,67 \cdot \left( \frac{Q_{[m^3/s]}}{C} \right)^{1,852} \frac{L_{[m]}}{D_{[m]}^{4,87}}$$

Tabla 7 Coeficiente de Hazen-Williams

Material	Coeficiente de fricción de Hazen-Williams C
Hierro fundido sin recubrimiento interno	80
Acero sin recubrimiento interno	120
PVC	140
Acero galvanizado	100
Concreto (superficie rugosa)	120
Concreto centrifugada	130

Dado su carácter empírico, hay que decir que la Ecuación de Hazen-Williams tiene sus limitaciones, resultantes por supuesto, de los ensayos y pruebas realizados por sus creadores allá por los años 1.930. Entre otras destacan:

Sólo puede ser utilizada para el cálculo de las Pérdidas por Fricción en sistemas que conducen agua a temperaturas “normales” (entre 18°C y 30°C, por ejemplo) y bajo condiciones de flujo turbulento (El caso típico en las aplicaciones para sistemas de Abastecimiento de Agua).

No es aplicable para Tuberías extremadamente rugosas, es decir, no debería utilizarse para coeficientes de fricción muy bajos (menos a 60).

No debería utilizarse para diámetros inferiores a los 50 mm (2”), aun cuando su uso es aceptado para el diseño de Instalaciones Sanitarias en edificaciones, donde predominan diámetros inferiores a dicho valor.

### **5.8.17 Ecuación de Manning**

Es la ecuación utilizada por excelencia en el estudio del Flujo a Superficie Libre (aquél en donde el flujo está abierto a la atmósfera, como en el caso de canales y ríos).

Para calcular el gasto medio se hace con la siguiente formula

$$Q=AV$$

Donde:

A=área del conducto en m

V=velocidad de escurrimiento en m/seg

Q= gasto medio  $m^3/seg$

Expresión algebraica.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

V=velocidad del escurrimiento en m/seg

n=coeficiente de rugosidad

R=radio hidráulico en m

S=pendiente hidráulica del conducto expresada en la forma decimal

## **5.9 Consideraciones técnicas**

### **5.9.1 Topografía y cruzamientos**

Ubicación del polígono georreferenciado incluyendo su altimetría o curvas de nivel

Para llevar a cabo el proyecto de una conducción resulta útil apoyarse sobre cartas topográficas del INEGI para estudiar los posibles trazos. Diagramas de Flujo. Tipo de sistema de abastecimiento (redes Abiertas o redes Cerradas)

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.

### **5.9.2 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.

El diámetro necesario de la válvula de admisión y expulsión de aire se obtiene con base en las curvas de funcionamiento de las válvulas.

El diámetro de expulsión se obtiene con el gasto de llenado de la tubería y una presión máxima de aire en la válvula de  $0.14 \text{ kg/cm}^2$  ( $2 \text{ lb/pulg}^2$ ).

El diámetro de admisión se obtiene con base al gasto máximo de vaciado considerando una depresión máxima admisible de 0.35 kg/cm<sup>2</sup>(5 lb/pulg<sup>2</sup>) y un adecuado tiempo de vaciado. Además, debe tomarse en cuenta la presión mínima permitida por el material del tubo donde se coloca la válvula.

### 5.9.3 El gradiente hidráulico

Como el gradiente hidráulico es la manifestación total de la energía entre 2 puntos, el gradiente hidráulico  $S_f$ , con el cual se empieza a desaguar la tubería, se obtiene de:

$$S_f = \frac{E_v - D_m - E_d}{L}$$

donde:

- **Ev:** Diferentes elevaciones que puede tomar la superficie del agua en el tubo.
- **Dm:** Depresión máxima admisible en la tubería, en m.c.a.
- **Ed:** Elevación a la que se encuentra la válvula de desagüe.
- **L:** Longitud del tubo de conducción, medida desde el punto donde se encuentra la superficie del agua en el tubo hasta la válvula de desagüe.

Cabe señalar que para el cálculo de  $S_f$ , se han considerado despreciables las pérdidas menores por accesorios, los cambios de diámetro y de rugosidad de los tubos.

Cuando sea importante el número de accesorios y las pérdidas se consideren significativas, se deberán contemplar en una longitud equivalente al tubo de la línea de conducción, sumando este valor a la longitud  $L$  ya definida.



En general, el gradiente hidráulico puede variar en cada momento al ir vaciándose la tubería, por ello, es importante contemplar las situaciones de máximo gradiente hidráulico.

Una vez definido el gradiente hidráulico máximo que se presenta en el tramo que existe entre la válvula de admisión y la de desagüe, con la ecuación de la Hydraulics Research Station, (que se obtiene combinando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook-White) se calcula el gasto máximo de vaciado.

$$Q = -\frac{\pi * D^{5/2}}{2} * \sqrt{2g * S_f} * \log\left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51 * v}{D^{5/2} * \sqrt{2g * S_f}}\right)$$

Con este gasto máximo de vaciado, se podrá revisar el tiempo de vaciado. Luego se puede examinar la opción de colocar una válvula de desagüe con un diámetro tal que produzca la pérdida suficiente para incrementar el tiempo de vaciado que se crea conveniente y reducir al mismo tiempo el diámetro de la válvula de admisión.

En el caso de que las válvulas de desagüe operen todas al mismo tiempo, el gasto de aire que admite una válvula de admisión se obtiene sumando los gastos máximos de vaciado de los tramos que parten aguas abajo y aguas arriba de la válvula de admisión que se analiza.

Una vez que se calculan los diámetros necesarios tanto para expulsión como para admisión, se escoge el mayor diámetro de los dos.

Las válvulas eliminadoras de aire se pueden instalar sobre la válvula de admisión y expulsión, en cuyo caso el conjunto se llama válvula combinada.

## 5.10 Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

Los accesorios de control por medio de sistemas automatizados es actualmente la mejor herramienta para eficiente el abastecimiento del agua urbana. No lo soluciona linealmente, pero si cumple un requerimiento mínimo de abastecimiento, sin castigar ni el gasto de la demanda ni la presión de operación.

Como un principio hidráulico, el Ing. Jerald Emmett Christiansen (1942) propuso el siguiente sistema de evaluación: a mayor sectorización, mayor control, mayor eficiencia, menor fugas. Es decir, en terrenos planos o a nivel, la sectorización es muy grande, a mayor pendiente del terreno, mayor sectorización.

Inicialmente, se utilizó este método estadístico en la determinación de qué tan uniforme se distribuía el agua, al momento de irrigar un terreno agrícola. Su gran ventaja consiste en involucrar operaciones aritméticas simples, en las cuales se introducen los datos obtenidos en campo: para el caso de este proyecto, se utilizarán las mediciones de presión en el macro sector.

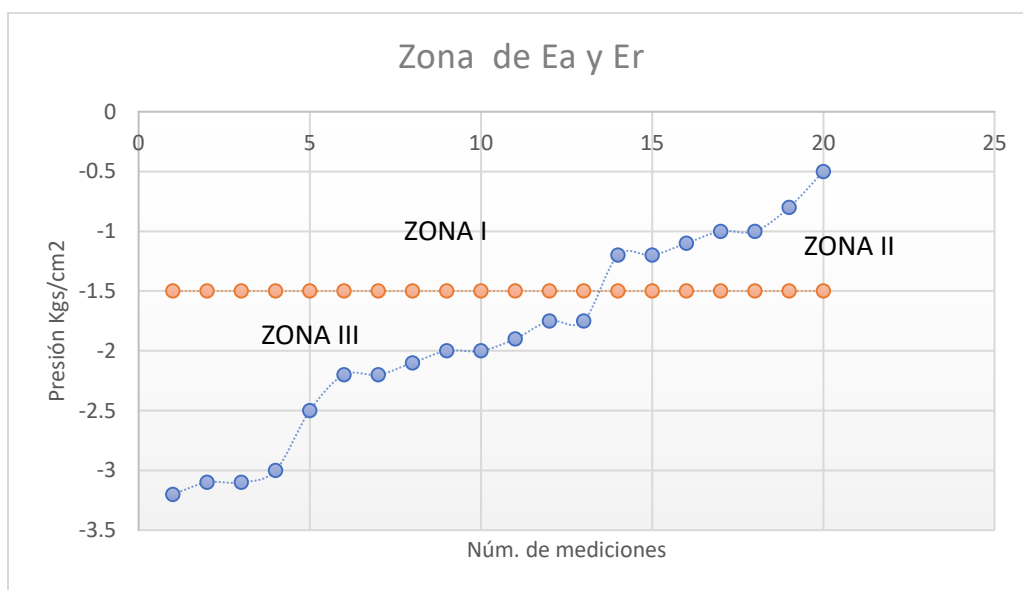
$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - \bar{y}|}{N * \bar{y}}$$

donde:

- $y_i$ : presión de cada punto
- $\bar{y}$ : promedio de presiones
- $N$ : número total de datos obtenidos en campo

Esto es una solución hidráulica en donde las dimensiones de un sector dependen del gasto de la demanda en horas pico y de la pendiente o accidente del terreno.

Involucra dos eficiencias que son la Ea (Eficiencia de aplicación) y la Er (Eficiencia de requerimiento), para la obtención de estas eficiencias se requiere realizar un gráfico que se basa en tres áreas, área I (Zona aprovechable), área II (Zona de la variable faltante) y el área III (Excedente de la variable), para realizar la gráfica se requieren de los datos de medición, presión mínima y número de mediciones.



Grafica 1 Zonas

- La Zona I o Área I corresponde a la variable aprovechada, en nuestro caso es el agua aprovechada del total de agua que se manda al Macro-Sector.
- La Zona II o Área II es la variable faltante, o falta de agua que puede perderse durante el trayecto por algunas pérdidas.
- La Zona III o Área III es el excedente de la variable, es decir el excedente de agua que se le aplico al Macro-Sector para que cumpliera con la presión y gasto necesario.

## **5.11 Eficiencia en la red de abastecimiento de agua**

El abastecimiento del agua potable debe ser sustentable, se debe tener en cuenta diferentes acciones, entre ellas:

1. Suministro de agua: Incorporándose fuentes de abastecimiento superficiales y subterráneas.
2. Descarga de agua: La descarga de agua tratada a ríos y cuerpos de agua que cumplan con las normas de calidad.

### **5.11.1 Eficiencia**

Debe de cumplir como especial requisito ser eficiente en la distribución y calidad, evitando la máxima de perdidas locales y perdidas por carga, no dejando atrás la eficiencia en el momento de que le llega al usuario, cumpliendo con la presión y gasto requerido, contemplándose la calidad del agua, hablando de características físicas y químicas para el uso humano.

La eficiencia de agua potable se involucra temas que van desde captar, conducir, regular, potabilizar y distribuir el agua desde la fuente natural hasta los consumidores.

Una alta eficiencia significa que hay pocas pérdidas de agua en la distribución de este elemento, en otras palabras, de tal manera que un sistema bien diseñado y operado tendrá una alta eficiencia.

### 5.11.2 Eficiencia de aplicación

Es el total de agua que se manda y cuando agua resulta aprovechable para el abastecimiento.

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

Como su ecuación lo ilustra es la variable aprovechada (agua aprovechada), sobre la faltante más la variable aprovechable.

### 5.11.3 Eficiencia de requerimiento

Es la cantidad total requerida de la variable, para satisfacer al abastecimiento en gasto y presión a cualquier hora y día.

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

La ecuación de Er es la variable aprovechable, sobre la variable aprovechable más el excedente de la variable.

## 6 MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Ubicación del Proyecto

Macro sector Hidráulico en el “Fraccionamiento Niño Artillero”

Coordenadas válvula reguladora de presión

Tabla 8 Coordenadas de la VRP.

PUNTO	COORDENADAS		ZONA	COTA
VALVULA REGULADORA DE PRESIÓN	366896.09 m E	2845770.73 m N	14 R	530



Imagen 30 Ubicación VRP Macro sector Niño Artillero

## **6.2 Herramienta**

Programas:

Surfer, ArcGIS, Excel, Google Earth, registrador de presión,

## **6.3 Materiales**

- Computadora: Para descargar los datos del software.
- Controlador de VPR en comunicaciones para puntos crítico.
- Manómetro con glicerina
- Llave Steel son
- Perica
- Reducción campana roscada de hierro

## **6.4 Controlador de presión**

Es un equipo electrónico que genera una presión determinada, en base a una presión de alimentación, tienen un papel muy importante en redes de abastecimiento automatizados ya que permiten el control de presión de un sistema de forma constante. Garantiza una presión mínima en el punto crítico de la red, durante condiciones de flujo máximo, tiene una elevada exactitud y estabilidad de control para las presiones sobre la red de bastecimiento de agua.

Los controladores con los que cuenta el Macro-Sector son los siguientes:

- GPRS NEPTUNE II FM
- PEGASUS+ 3G

- SEBALOG D-3
- TRITON I PF

#### **6.4.1 GPRS NEPTUNE II FM**

El control de presión en los sistemas de distribución de agua es una técnica comprobada para reducir las fugas y la frecuencia de los estallidos. Normalmente, una PRV (válvula reductora de presión) se ajusta a una presión de salida fija para garantizar una presión mínima garantizada en el punto crítico de la red durante las condiciones de caudal máximo. La gestión de la presión mediante controladores PRV permite optimizar la presión con la demanda cambiante.

NEPTUNE II FM PPF es un controlador electrónico de modulación completa que permite controlar la presión en una zona entre dos valores preestablecidos ("bajo" y "alto") según la demanda (caudal) o la hora del día. Esto puede lograr ahorros de agua inmediatos y permite controlar la PRV de manera confiable y segura.

Alimentado internamente con una duración típica de la batería de > 5 años

Comunicaciones GPRS e IrDA locales a USB

Nueva arquitectura flexible de registro de datos.

Memoria flash no volátil (retención de datos durante 10 años si falla la alimentación)



Software actualizable en el campo o por aire



Imagen 31 Ficha técnica GPRS NEPTUNE II FM-controlador de presión

#### **6.4.2 PEGASUS+ 3G**

Controlador de Válvulas Hidráulicas Reguladoras de Presión, con presión de salida modulada, en función de tiempo y/o de caudal.

Aplicaciones

Control modulado de la presión de salida de la válvula reductora: las presiones máxima y mínima se predeterminan mecánicamente. Dentro de estos límites, el controlador electrónico Pegasus ajusta proporcionalmente la salida para crear los perfiles de presión deseados

Los perfiles de presión de salida pueden definirse en función del tiempo y/o del caudal. Se pueden establecer perfiles de presión diferenciados para cada día o para diario/fin de semana

Registro de datos de caudal y presiones aguas arriba y aguas abajo de la válvula

Transmisión de datos por 3G



Imagen 32 Ficha técnica PEGASUS+ 3G controlador de válvulas reguladoras de presión

### 6.4.3 SEBALOG D-3

Informa constantemente los estados del caudal y de presión en la red. Debido su forma constructiva compacta y robusta y la carcasa completamente impermeable al agua, el registrador de datos Sebalog D-3 es extremadamente resistente. Informa de forma fiable a través de hasta 4 canales de la presión y caudal de su red de alimentación. Con Sebalog D-3 se ha dado mucha importancia a la sencillez de uso. Es compatible con mediciones en línea en todos los canales. Esto le permite, como usuario, acceder en todo momento cómodamente desde su smartphone a los datos de medición guardados, así como a las mediciones más actuales.



Imagen 33 Ficha técnica SEBALOG D-3, Registrador de datos de presión y caudal con GPRS

#### 6.4.4 TRITON I PF

La gama de registradores TRITON almacena datos en una memoria no volátil organizada en archivos de datos. Cada

El archivo de datos es un registrador de datos independiente con su propia hora de inicio/parada, frecuencia de muestreo y registro.

Velocidad. Más de un archivo de datos puede registrar diferentes tipos de datos para el mismo canal de entrada.

Los diferentes tipos de datos incluyen Promedio, Instantáneo, Mínimo, Máximo,



Imagen 34 Ficha técnica TRITON I PF registrador de datos

## 6.5 Métodos

La evaluación de este método consiste en observar la variación que hay en el Macro- sector niño artillero. Bajo el siguiente diagrama y escenarios.

Se utilizó la ecuación de CUC (Coeficiente de Uniformidad de Christiansen), para evaluar el comportamiento hidráulico y uniformidad de la distribución del agua del Macro-Sector niño Artillero, que es el encargado de calcular la desviación estándar de los valores de presiones.

Evaluación de la topográfico con respecto a las presiones, si el comportamiento es inversamente proporcional, el mallado se montará perfectamente, coincidiendo puntos bajos de cotas con las presiones altas y presiones bajas con cotas altas.

Se utilizó la  $E_r$  (Eficiencia de requerimiento) y  $E_a$  (Eficiencia de aplicación) para el análisis del comportamiento en la distribución del agua en base a un testigo de presión que va de 1.5 kgs/cm<sup>2</sup> a 3.5 kgs/cm<sup>2</sup>, donde este rango de presión se debe de cumplir en cualquier día y hora. Metodología

El presente estudio es analizar comportamiento hidráulico del macro sector previamente mencionado, esta alimentado por un sistema de abastecimiento perimetral, en el cual, en un punto de entrada tiene una válvula reguladora de presión (VRP).

La hipótesis del funcionamiento por parte del cliente es que, en base a la demanda, se articula u opera la válvula VRP suministrando más gasto a la misma presión, condición de operación para evitar las sobrepresiones y así mismo evitar el incremento en pérdidas de gasto por fugas. Además, el cliente quien así mismo toma el rol de organismo operador, manifiesta que cumple con un rango mínimo de operación de 20 psi cumpliéndole así a todos los usuarios en cualquier hora del día, tomando en cuenta los incremento en horarios de alta demanda.

La metodología planteada para llevar a cabo cada requisito de la investigación consistió en:

1. Se ubicó el polígono en coordenadas UTM WGS 84 delimitando sus límites.
2. Se transfirió a un paquete computacional (*ArcGIS*) donde se interpoló con las curvas de nivel del área las cuales se encuentran disponibles en la carta topográfica de Monterrey en el sitio web de INEGI.
3. Así mismo, de la carta también se extrajeron todas las propiedades que conciernen al polígono de referencia del macro sector.
4. Se elaboró una malla topográfica en el paquete computacional *Surfer* donde se ubicó el punto de suministro de la VRP.
5. En base a la altimétrica, en el tema ArcGIS se ubicaron 30 puntos en el macro sector los cuales son puntos críticos que representan adecuadamente el comportamiento del macro sector.

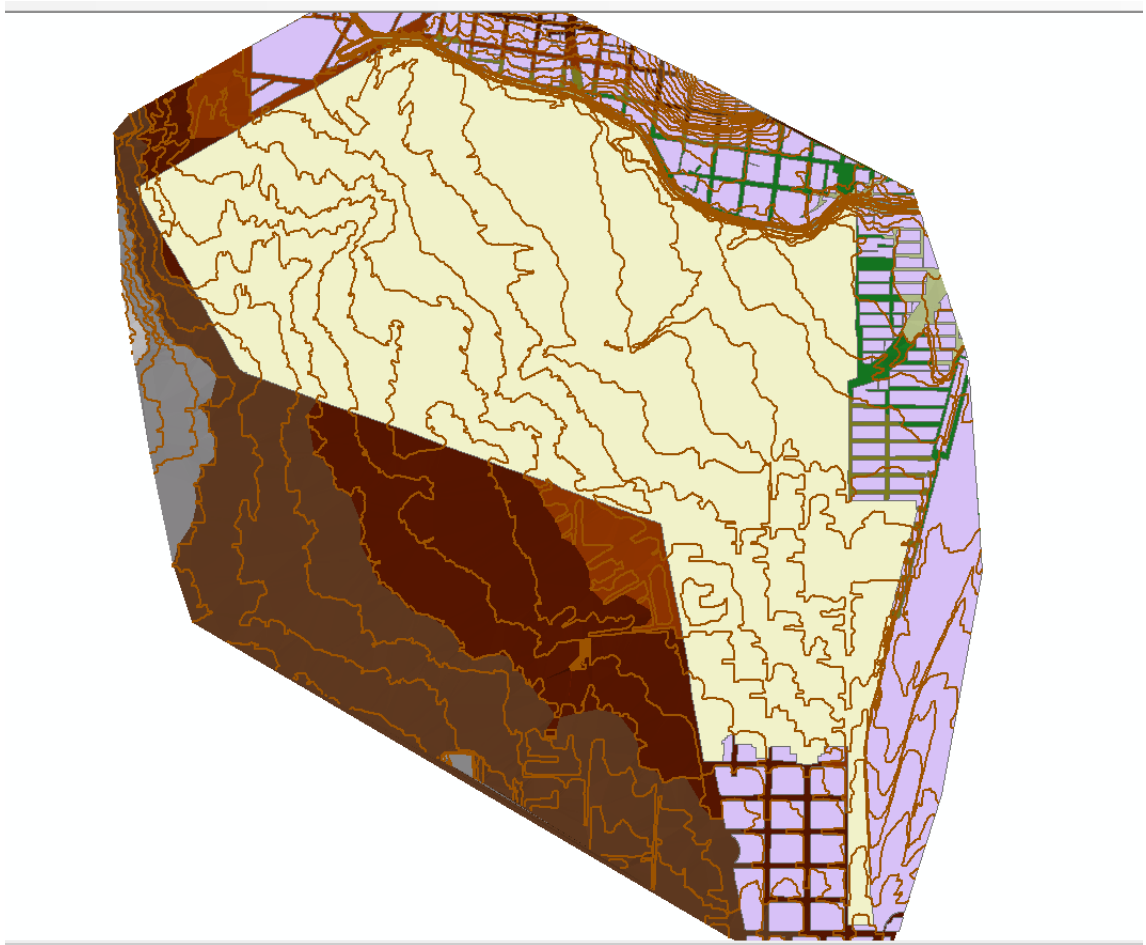


Imagen 35 Macrosector con curvas de nivel georreferenciado elaborado en ArcGis

6. Una vez se obtuvieron las coordenadas de los 30 puntos, se ubicó en campo el lugar exacto y más inmediato al punto seleccionado el lugar físico donde se debía obtener el registro de la presión de suministro al usuario.





Imagen 36 Ubicación de los 30 puntos desde google Earth.

Ubicación exacta de los puntos de medición. Se utilizó Google Earth como herramienta para conocer la dirección de los puntos.

7. Trabajo de campo con herramientas de contadores de flujo, presión y cronometro se mide la presión en cada vértice del enmallado del polígono.
8. Se determinan los puntos de mayor y menor presión y se evalúan con respecto a 24 horas.





Imagen 37 Ubicación de los puntos criticos en google Earth.

La base de datos obtenida de los registros en campo se elaboró a partir de 5 tomas de presión en mismos horarios en los 30 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 con la finalidad de registrar la presión a las 10 pm siendo este el horario de mayor demanda.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Mallas topográficas del Macro-Sector Niño Artillero

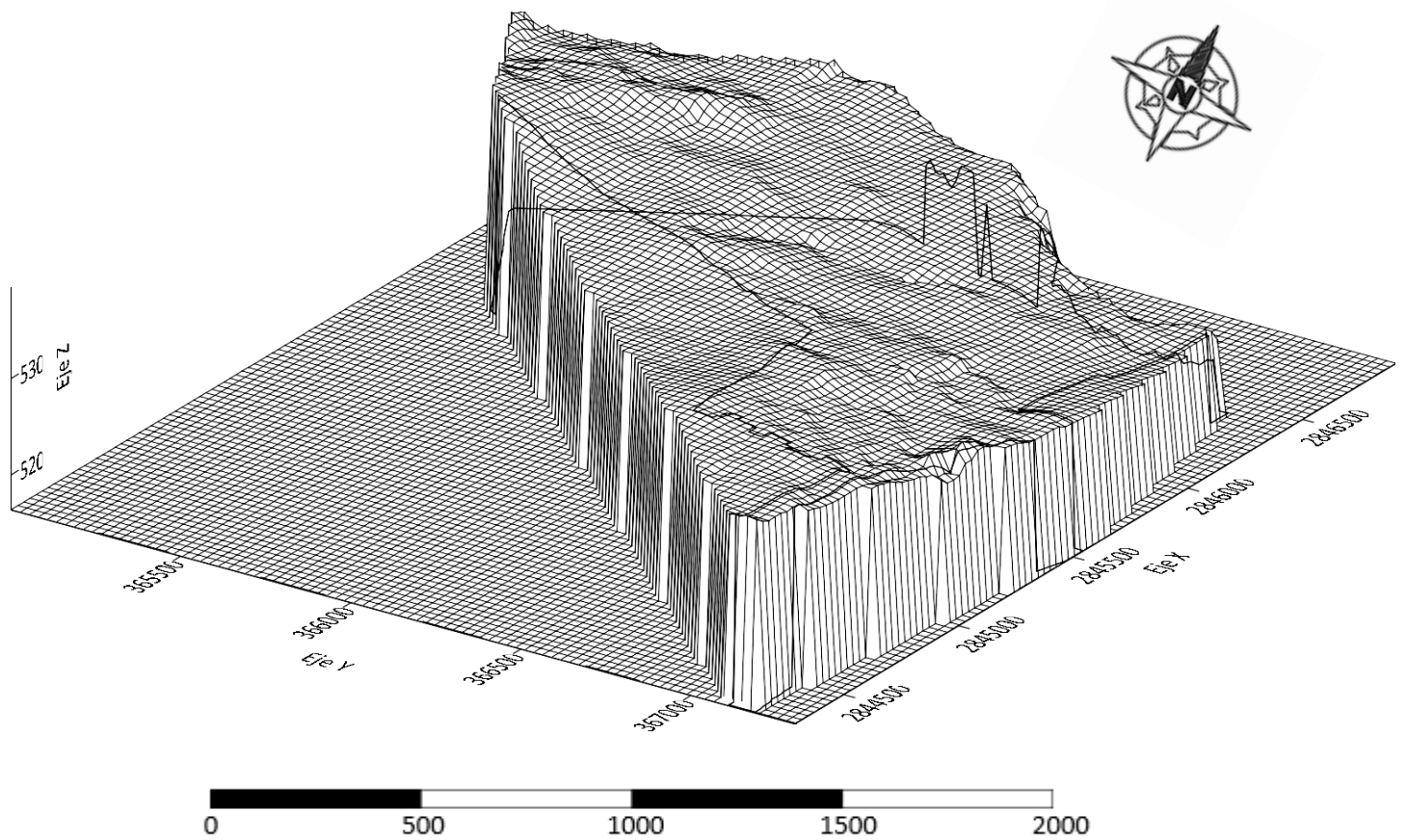


Imagen 38 Malla topografica del macrosector elaborado en surfer

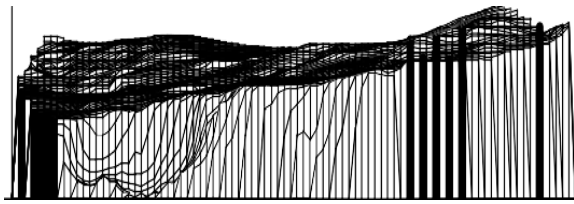


Imagen 40 Elaboración en surfer

PERFIL NORTE

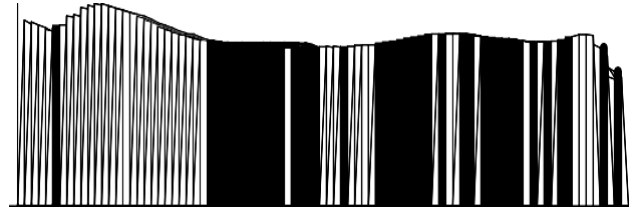


Imagen 39 Elaboración propia en surfer

PERFIL SUR

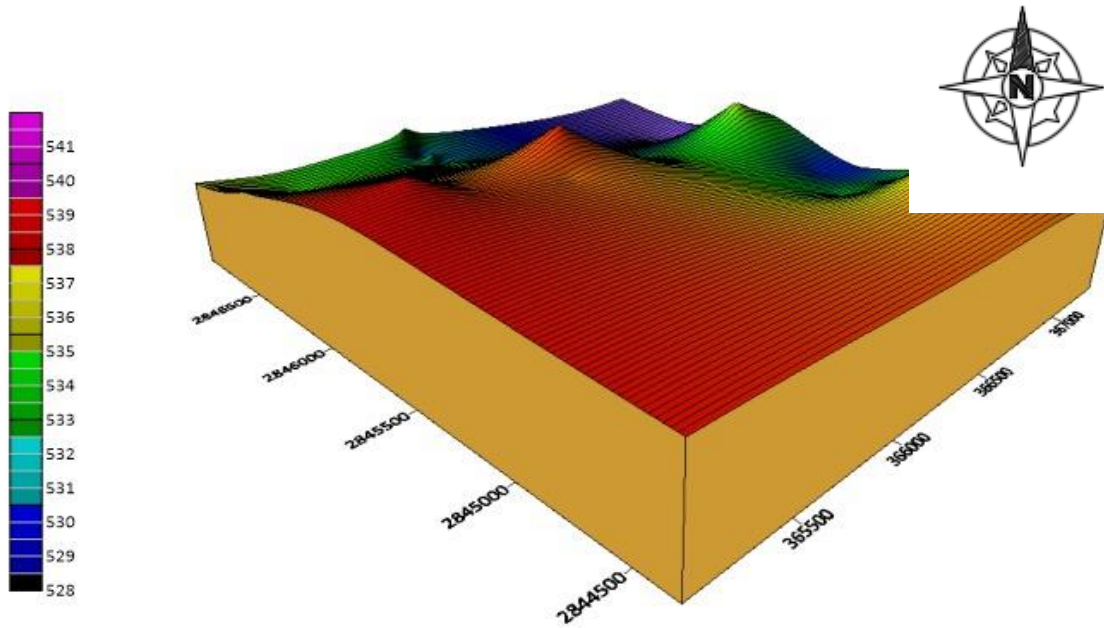


Imagen 41 Macrosector malla Topográfico elaborado en surfer

Se puede apreciar el mapa topográfico el macro sector con escalas de colores teniendo 13 m de desnivel.

## 7.2 Representación del registro por medio de una escala de colores

Primer registro de presiones (PSI)

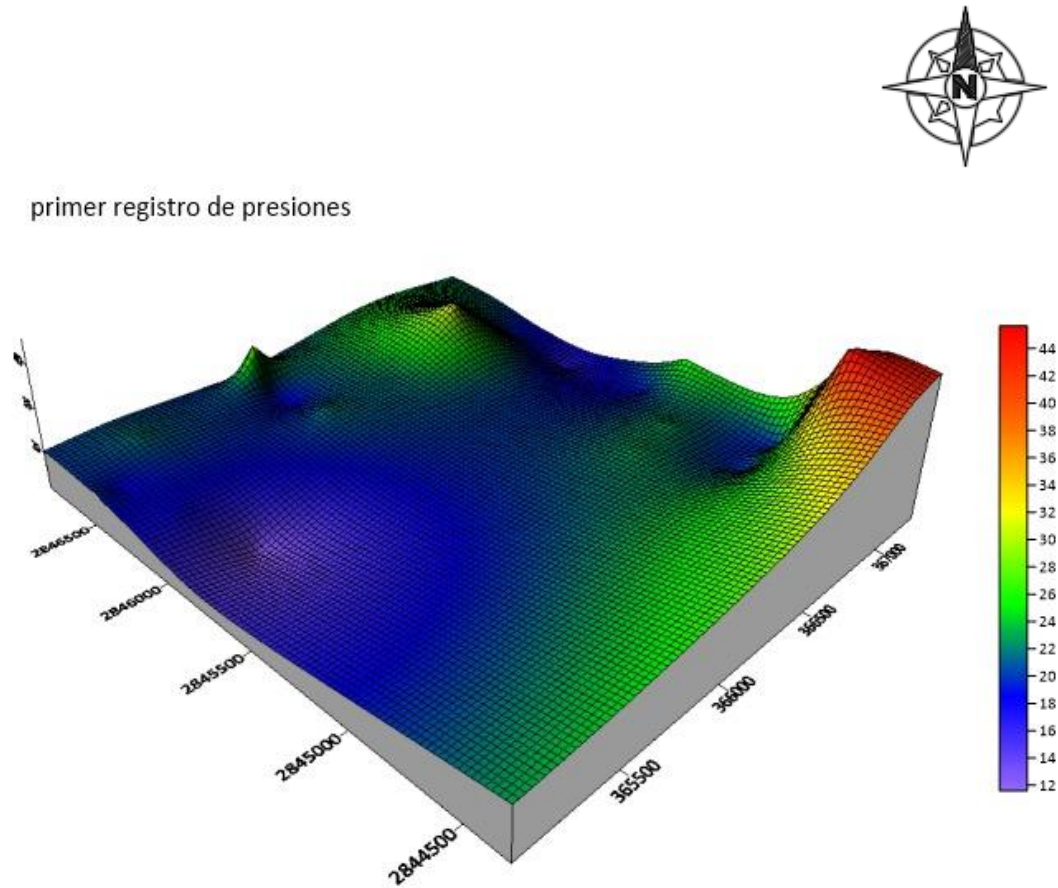


Imagen 42 Primer registro de presiones elaborado en surfer



## Segundo registro de presiones (PSI)

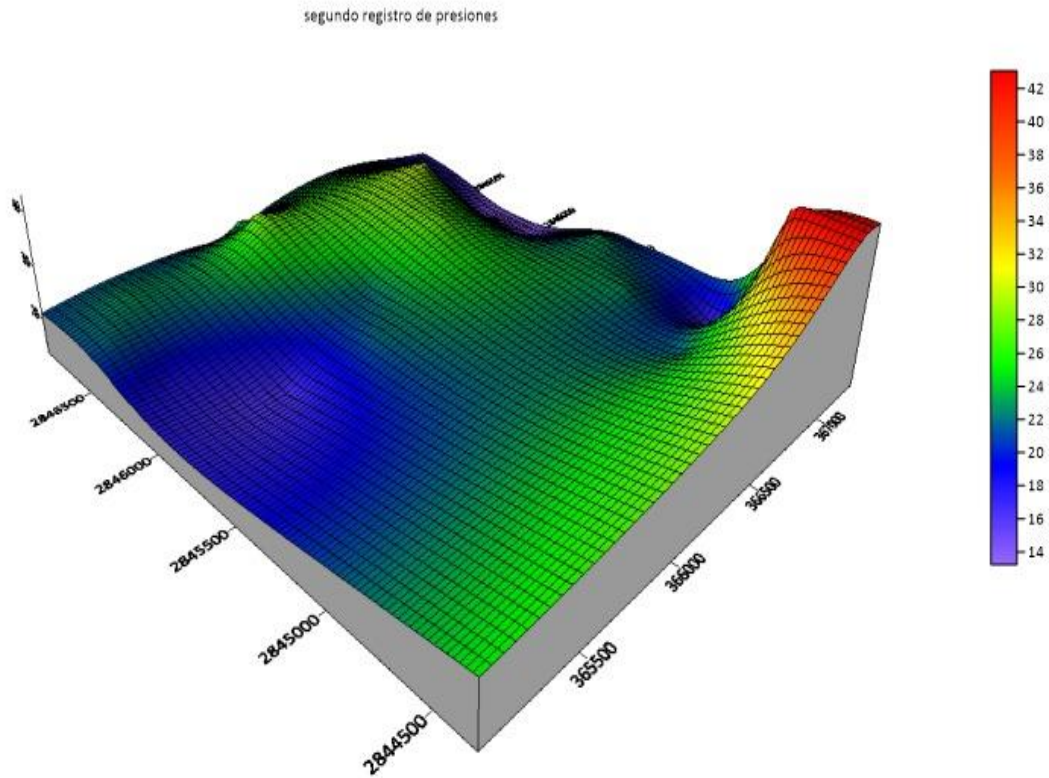


Imagen 43 Segundo registro de presiones elaborado en surfer

### Tercer registro de presiones (PSI)

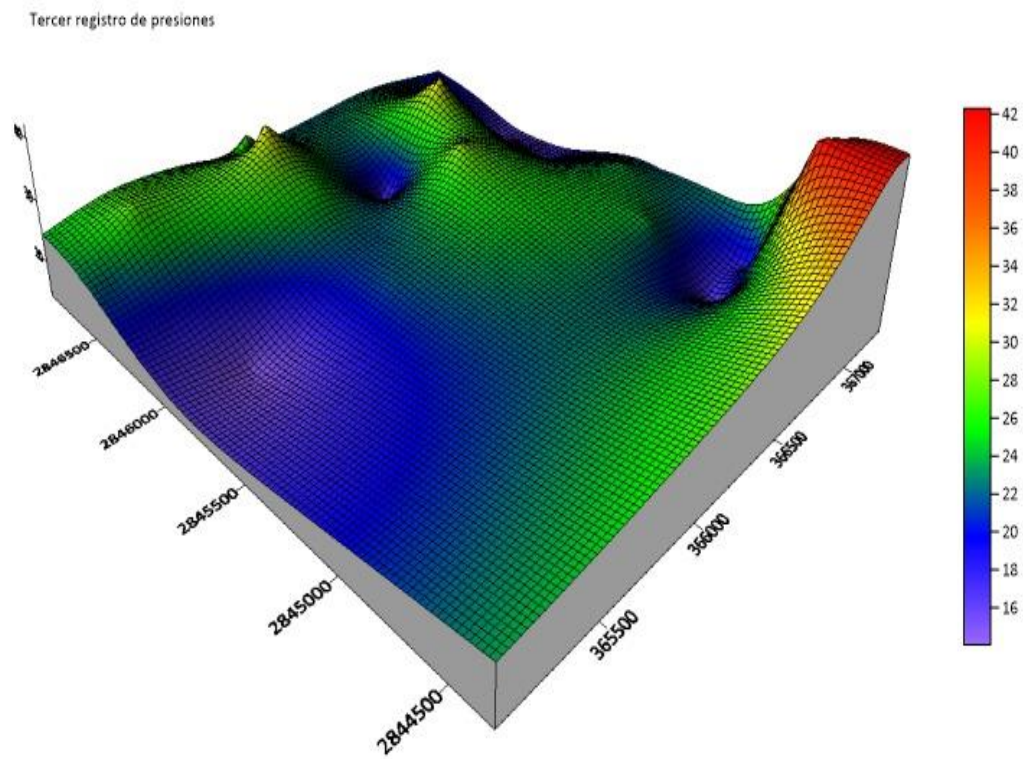


Imagen 44 Tercer registro de presiones elaborado en surfer

### Cuarto registro (PSI)

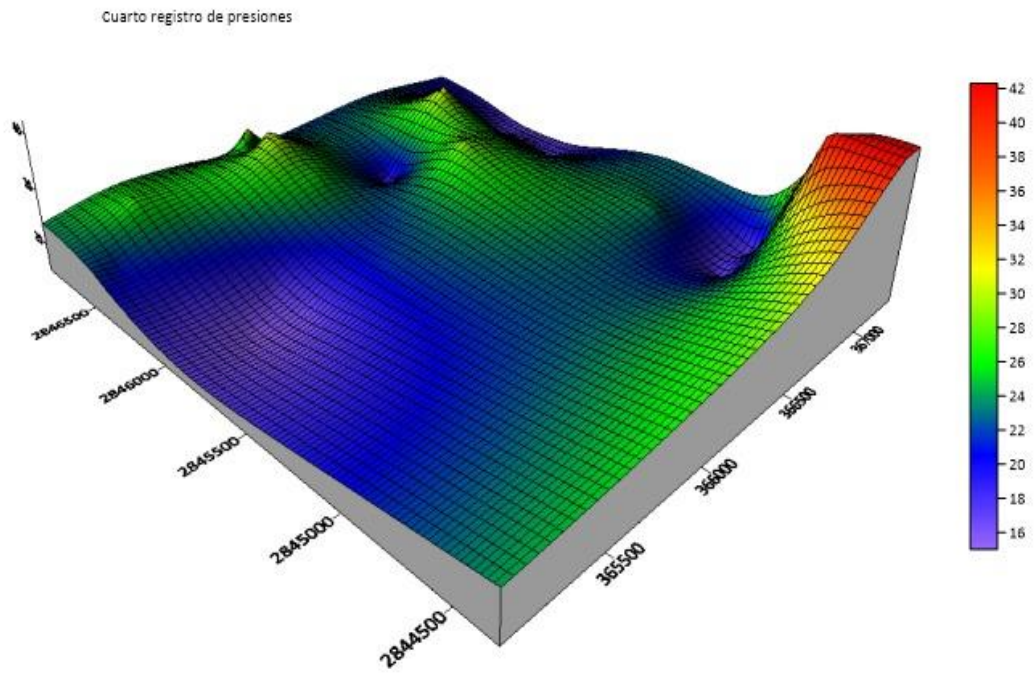


Imagen 45 Cuarto registro de presiones elaborado en surfer

## Quinto registro (PSI)

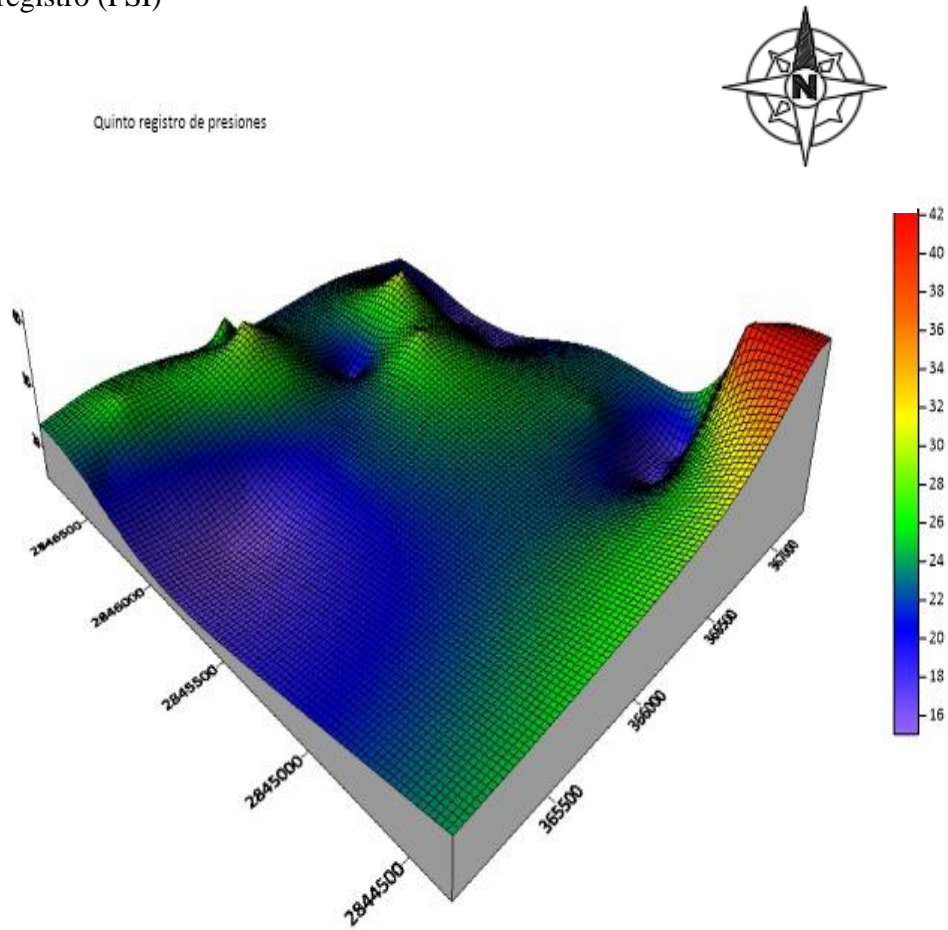


Imagen 46 Quinto registro de presiones elaborado en surfer

Se puede apreciar de los cinco registros las presiones no varían mucho hay desnivel topográfico las presiones siguen siendo mayor en las partes altas de la imagen.

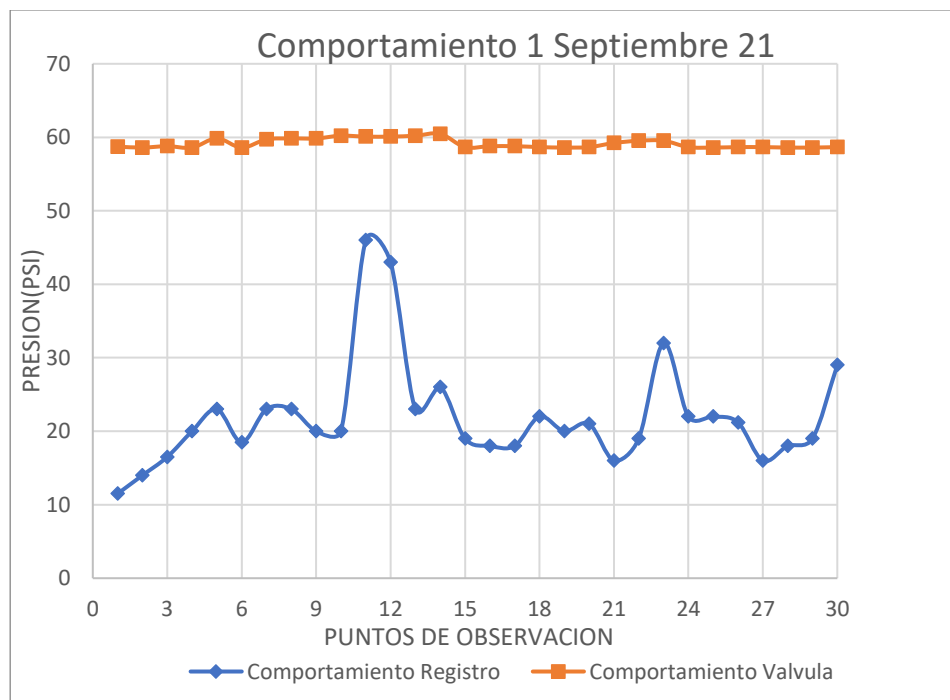


### 7.3 Representación grafica

Comportamiento (registro toma domiciliaria vs VRP)

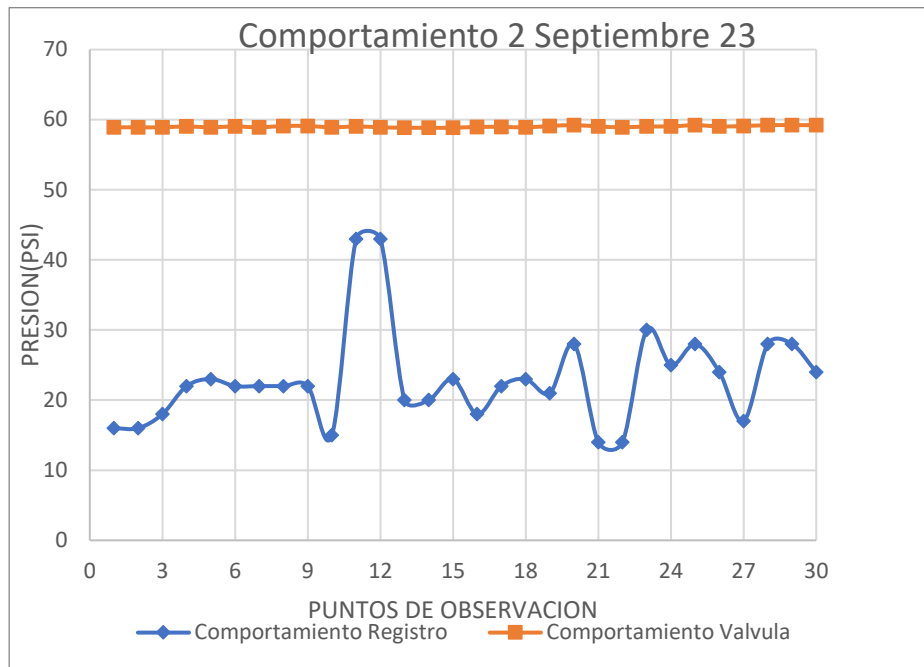
comportamiento de las presiones en diferentes días tomadas entre los mismos horarios.

#### 7.3.1 Primer registro toma domiciliaria vs VRP



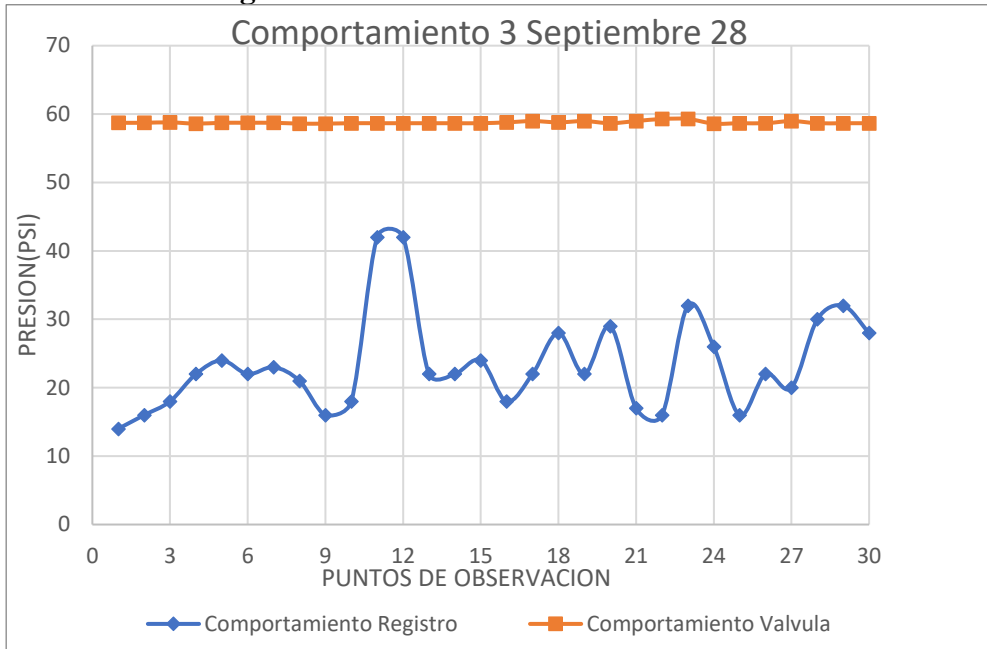
Grafica 2 Primer registro toma domiciliaria vs VRP

### 7.3.2 Segundo registro toma domiciliaria vs VRP



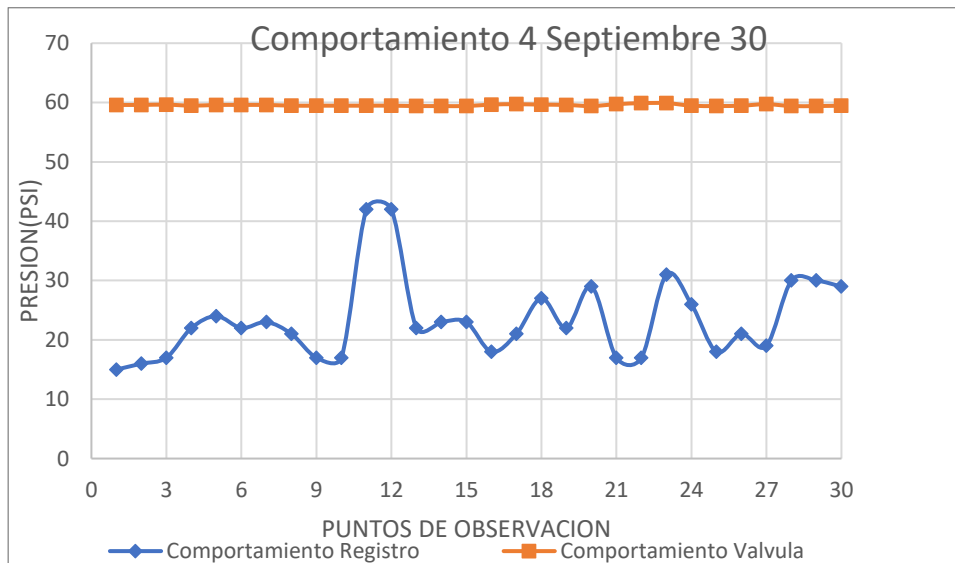
Grafica 3 Segundo registro toma domiciliaria vs VRP

### 7.3.3 Tercer registro toma domiciliaria vs VRP



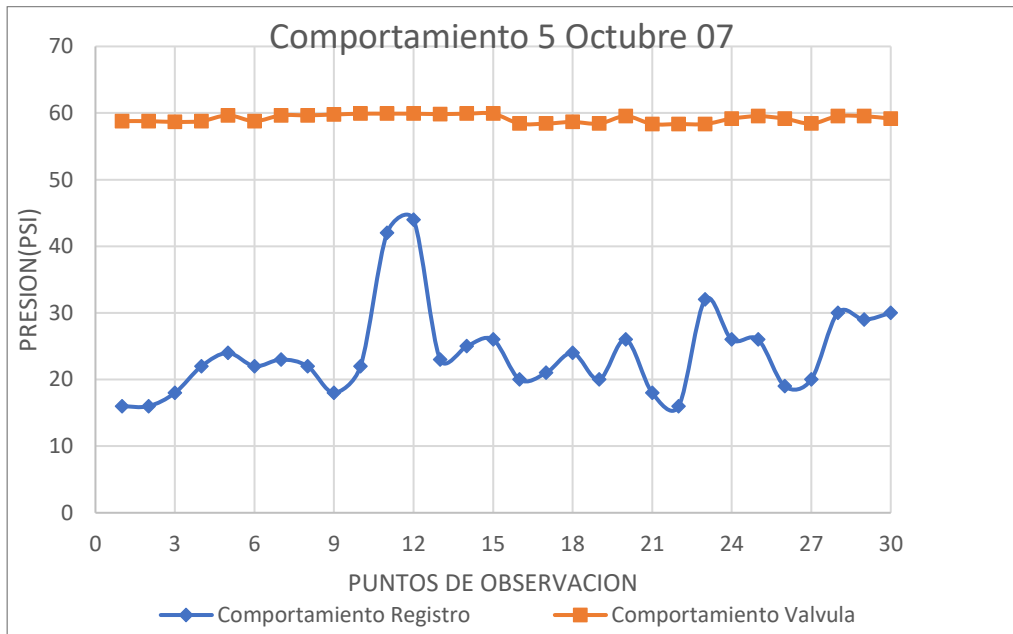
Grafica 4 Tercer registro toma domiciliaria vs VRP

### 7.3.4 Cuarto registro toma domiciliaria vs VRP



Grafica 5 Cuarto registro toma domiciliaria vs VRP

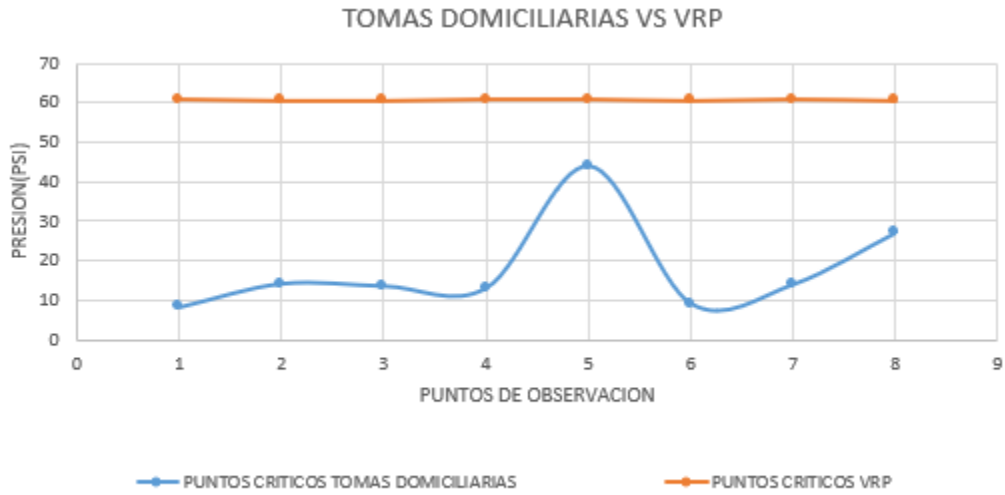
### 7.3.5 Quinto registro toma domiciliaria vs VRP



Grafica 6 Quinto registro toma domiciliaria vs VRP

### 7.3.6 Puntos críticos

Tomas domiciliarias vs válvula reguladora de presión

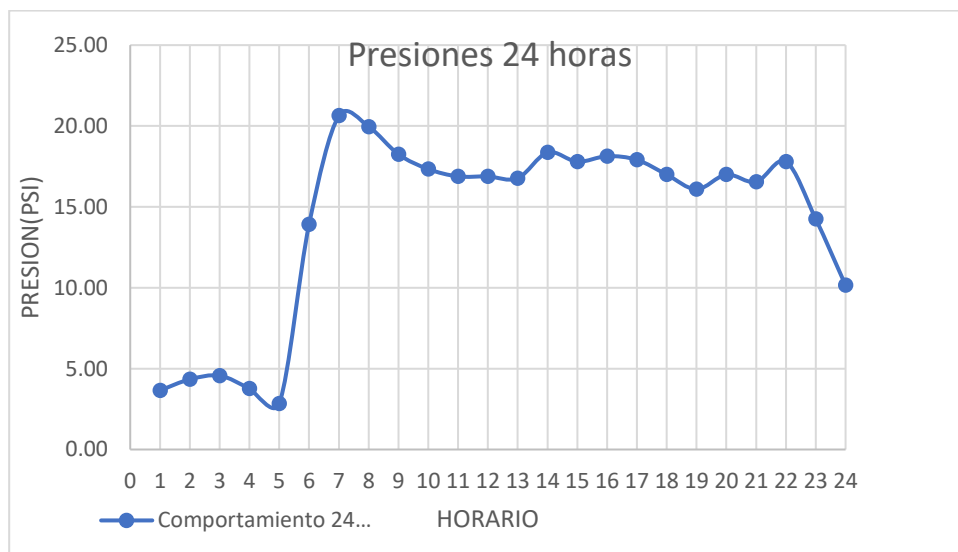


Grafica 7 Puntos críticos respecto a VRP

En las graficas podemos interpretar que el comportamiento de la valvula reguladora de presion su valor casi es constante a diferencia de las presiones registradas de las tomas domiciliarias, estos datos si cambian respecto a la ubicación y dia.

## 7.4 Comportamiento 2. (Durante 24 Hrs)

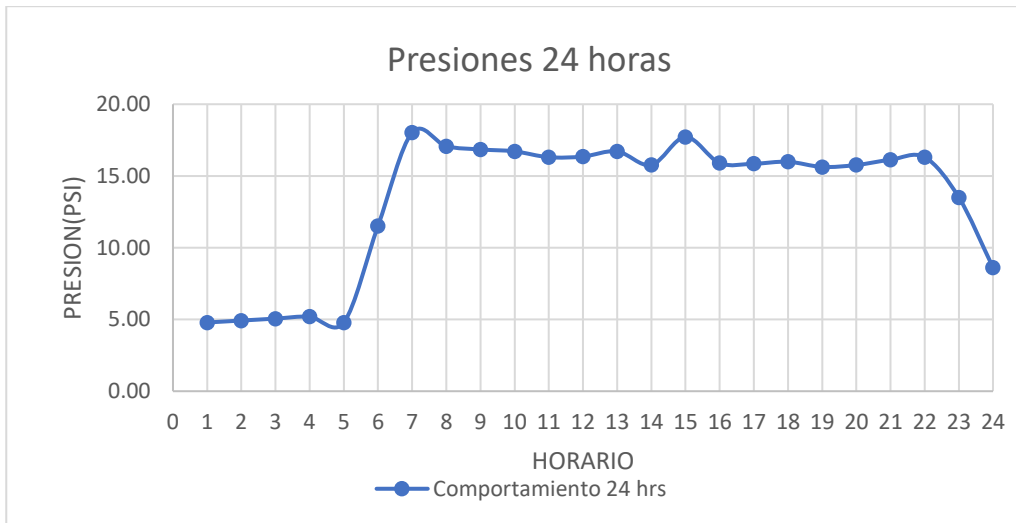
Comportamiento de presiones a lo largo de las 24 horas del día en puntos críticos, estos puntos críticos se registró la presión cada 10 minutos (Registradores).



Grafica 8 Comportamiento del punto 4 en el domicilio 2042 de J. Martínez Campos en la cota 540



Grafica 9 Presión en el punto 12 en el domicilio Miguel Valentín cota:537



Grafica 10 Presión en el punto 26 en domicilio S. Islas cota:533

Se nota que la presión empieza ascender a partir de las 5 a.m. y desciende a después de las 10 p.m. de la noche se debe a que la mayoría de las personas inicial con sus labores a esa hora estando en acción durante el día y después de las 10 de la noche la mayoría finaliza con sus actividades.

## 7.5 Cálculo 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.

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

$$\sum_i^n (X_i - \bar{X}) = 140.24$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{140.24}{659.70} \right] * 100$$

$$CUC = .7874 * 100$$

$$CUC = 78.74 \%$$



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.

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

### **7.6 Eficiencia de aplicación (Ea)**

$$Ea_1 = \left( \frac{\sum zona I}{(\sum zona I + \sum zona III)} \right) * 100$$

$$Ea = \left( \frac{445.5}{445.5 + 214.20} \right) * 100$$

$$Ea = .6753 * 100$$

$$Ea = 67.53\%$$

## 7.7 Eficiencia de requerimiento (Er)

$$Er_1 = \left( \frac{\sum \text{zona I}}{(\sum \text{zona I} + \sum \text{zona II})} \right) * 100$$

$$Er = \left( \frac{445.5}{445.5 + 4.5} \right) * 100$$

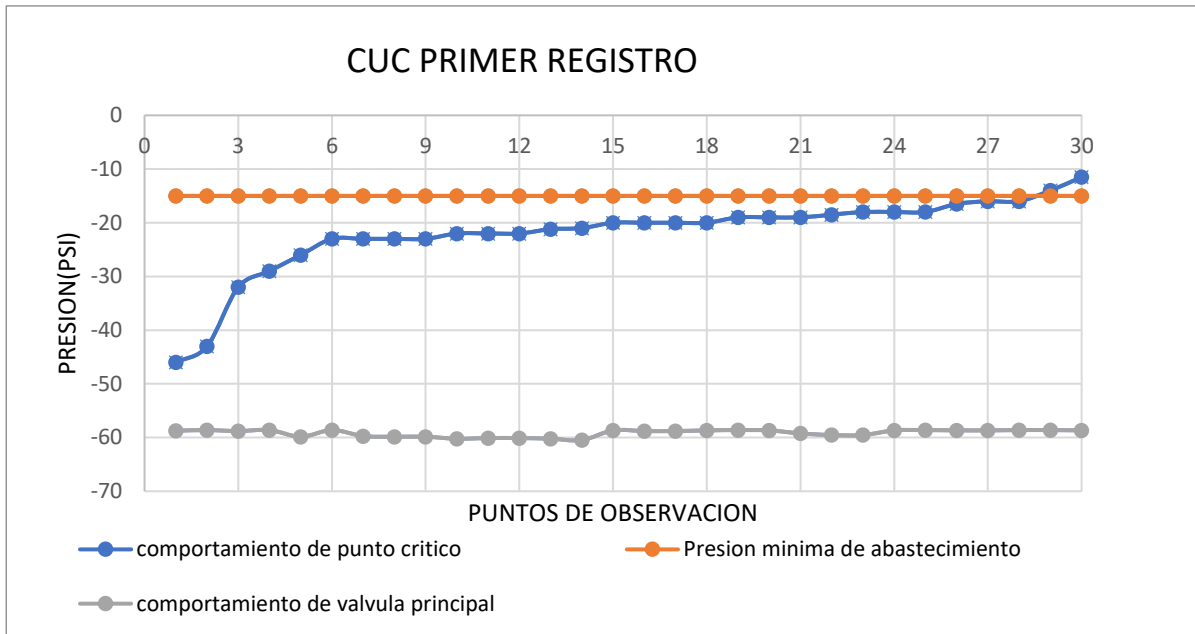
$$Er = .99 * 100$$

$$Er = 99\%$$

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 un Er del 99.00 %

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%, **67.53** % la justificación aquí es que no se tiene una regulación (accesorios de control) dentro del macro sector.

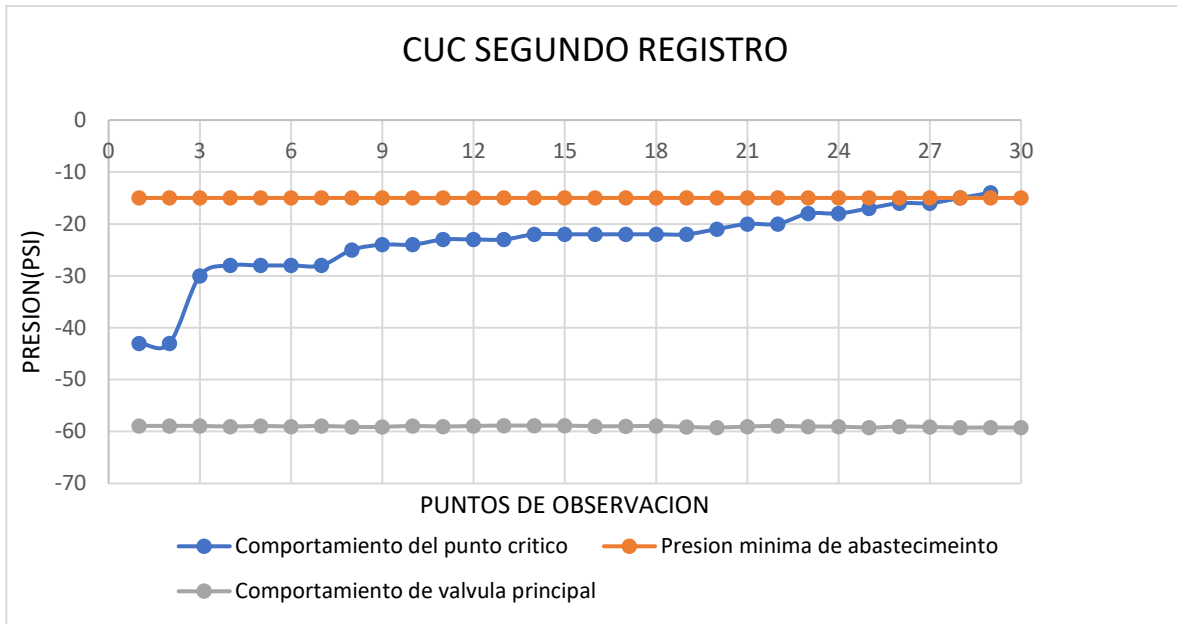
A continuación, se presentan las gráficas, valores de CUC, Ea y Er que pertenecen a cada registro.



Grafica 11 CUC Distribución de datos del registro 1.

Tabla 9 Zonas de registro vs VRP.

ZONAS DEL REGISTRO 1		
Zonas	Registro 1	Válvula principal
Área I	445.5	1711.5
Área II	4.5	0
Área III	214.20	63.08
CUC	78.74%	99.01
Eficiencia de aplicación (Ea)	67.53%	100%
Eficiencia de requerimiento (Er)	99%	100%



Grafica 12 CUC distribución de datos del registro 2 .

Tabla 10 Zonas de registro 2 vs VRP.

ZONAS DEL REGISTRO 2		
Zonas	Registro 1	Válvula principal
Área I	448	1711.5
Área II	2	0
Área III	243	58.99
CUC	79.55	99.83
Eficiencia de aplicación (Ea)	64.83%	96.67%
Eficiencia de requerimiento (Er)	99.56%	100%

**Eficiencia de aplicación**

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

$$Ea = \left( \frac{448}{448 + 243} \right) * 100$$

$$Ea = .6483 * 100$$

$$Ea = 64.83\%$$

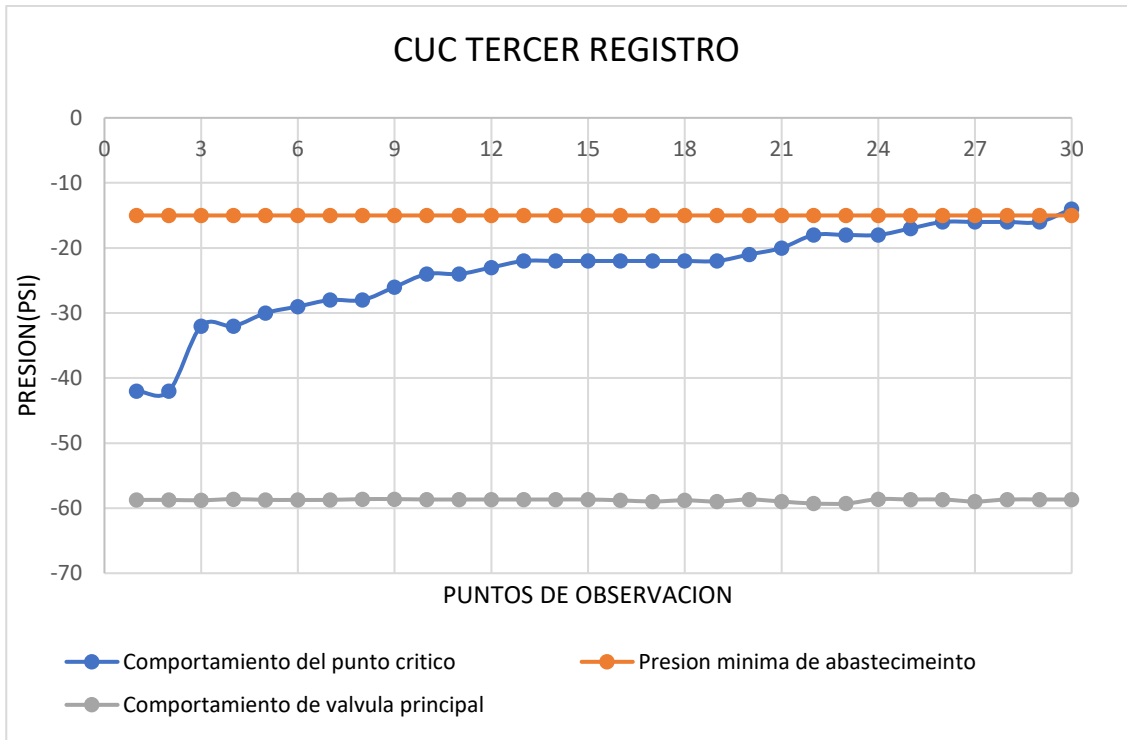
**Eficiencia de requerimiento:**

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

$$Ea = \left( \frac{448}{448 + 2} \right) * 100$$

$$Er = .99 * 100$$

$$Er = 99\%$$



Grafica 13 CUC distribucion de datos del registro 3.

Tabla 11 Zonas de registro 3 vs VRP.

ZONAS DEL REGISTRO 3		
Zonas	Registro 1	Válvula principal
Área I	449	1711.5
Área II	1	0
Área III	255	51.35
CUC	77.59%	99.78%
Eficiencia de aplicación (Ea)	63.78%	97.09%
Eficiencia de requerimiento (Er)	99.78%	100%

**Eficiencia de aplicación**

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

$$Ea = \left( \frac{449}{449 + 255} \right) * 100$$

$$Ea = .6377 * 100$$

$$Ea = 63.77\%$$

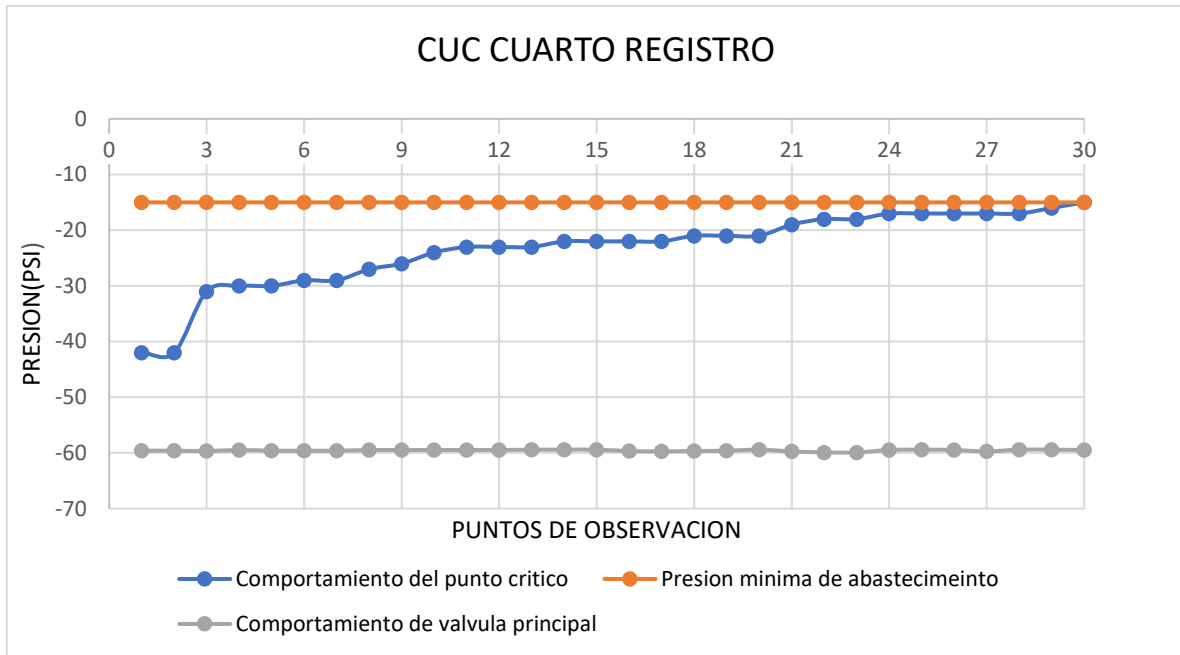
**Eficiencia de requerimiento:**

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

$$Ea = \left( \frac{449}{449 + 1} \right) * 100$$

$$Er = .9977 * 100$$

$$Er = 99.77\%$$



Grafica 14 CUC distribución de datos del registro 4.

Tabla 12 Zonas del registro 4 vs VRP.

ZONAS DEL REGISTRO 1		
Zonas	Registro 1	Válvula principal
Área I	450	1711.5
Área II	0	0
Área III	251	75.11
CUC	78.22%	99.80%
Eficiencia de aplicación (Ea)	64.19%	95.80%
Eficiencia de requerimiento (Er)	100%	100%



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

$$Ea = \left( \frac{450}{450 + 251} \right) * 100$$

$$Ea = .6419 * 100$$

$$Ea = 64.19\%$$

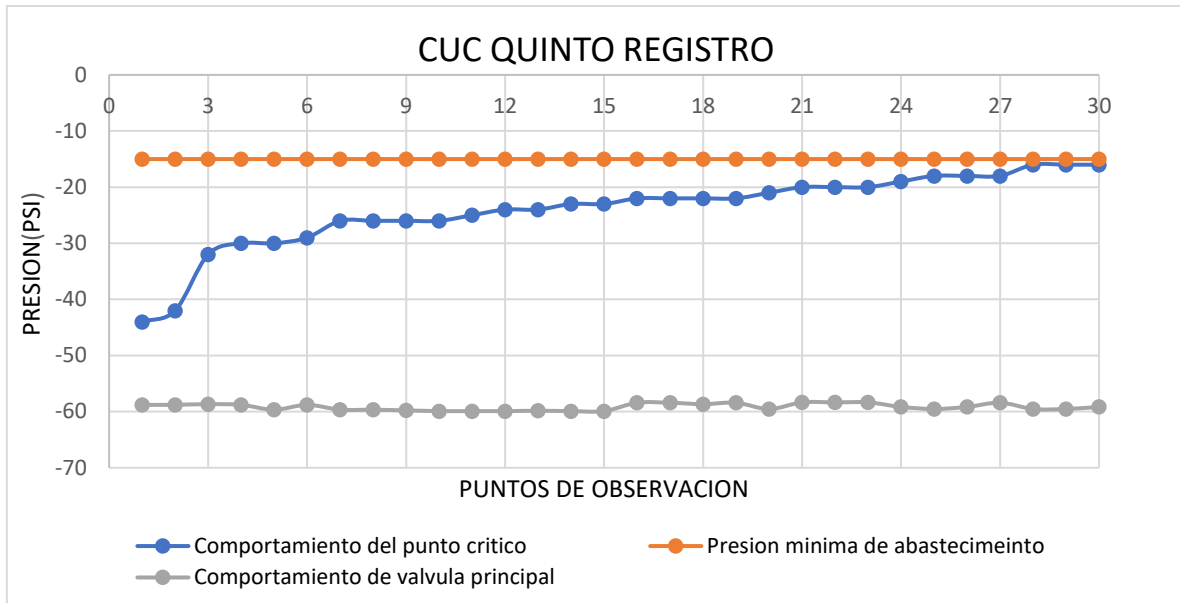
**Eficiencia de requerimiento:**

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

$$Er = \left( \frac{450}{450 + 0} \right) * 100$$

$$Er = 1 * 100$$

$$Er = 100\%$$



Grafica 15 CUC distribución de datos del registro 4.

Tabla 13 Zonas del registro 5 vs VRP.

ZONAS DEL REGISTRO 1		
Zonas	Registro	Válvula principal
Área I	450	1711.5
Área II	0	0
Área III	270	63.45
CUC	80%	99.1%
Eficiencia de aplicación (Ea)	62.50%	96.43%
Eficiencia de requerimiento (Er)	100%	100%

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

$$Ea = \left( \frac{450}{450 + 270} \right) * 100$$

$$Ea = .625 * 100$$

$$Ea = 62.5\%$$

**Eficiencia de requerimiento:**

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

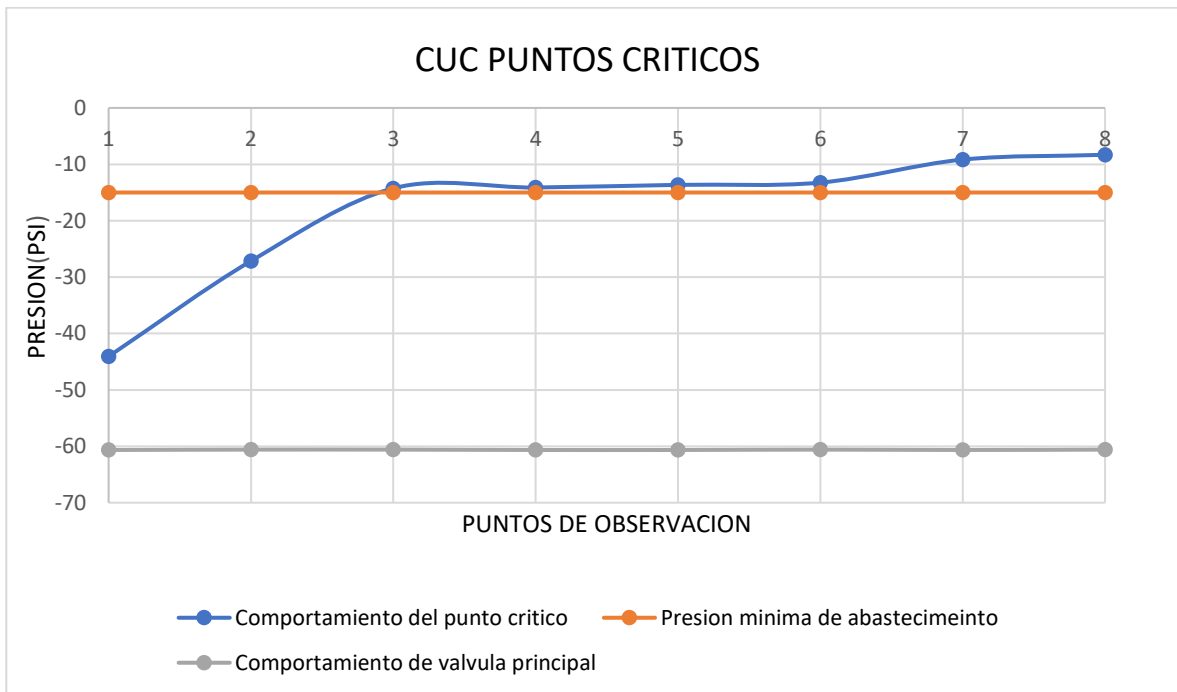
$$Er = \left( \frac{450}{450 + 0} \right) * 100$$

$$Er = 1 * 100$$

$$Er = 100\%$$

### 7.8 Puntos críticos respecto a la VRP

Este registro consta de datos de todos los puntos críticos tomando en cuenta distancias largas respecto a VRP, cotas altas y bajas en horarios críticos, macro sector “NINO ARTILLERO”



Grafica 16 Distribución de datos de los puntos críticos CUC (elaboración propia)

Tabla 14 Zonas de los puntos críticos.

ZONAS DEL REGISTRO 1		
Zonas	Registro	Válvula principal
Área I	102.7162	456.4
Área II	17.2838	0
Área III	41.22	28.56
CUC	51.04%	99.95
Eficiencia de aplicación (Ea)	71.36%	94.11%
Eficiencia de requerimiento (Er)	85.60%	100%

Punto crítico Av. Penitenciaría 2309. En esta ubicación tenemos 9 metros en contra de la pendiente y una distancia de 1.3 km respecto a la VRP.



Imagen 47 Punto critico 1(elaboración propia)



Imagen 48 Ubicación del punto critico 1

Punto crítico palacio de justicia 2337. En esta ubicación crítica # 2 tenemos 10 metros en contra de la pendiente y una distancia de 1.36 km respecto a la VRP



Imagen 49 Segundo punto critico (elaboración propia)



Imagen 50 Ubicación Punto Critico # 2(elaboración propia)

Punto crítico Rodrigo Gómez 6026. En esta ubicación crítica tenemos 7 m en contra y una distancia de 1.7 km respecto a la VRP.

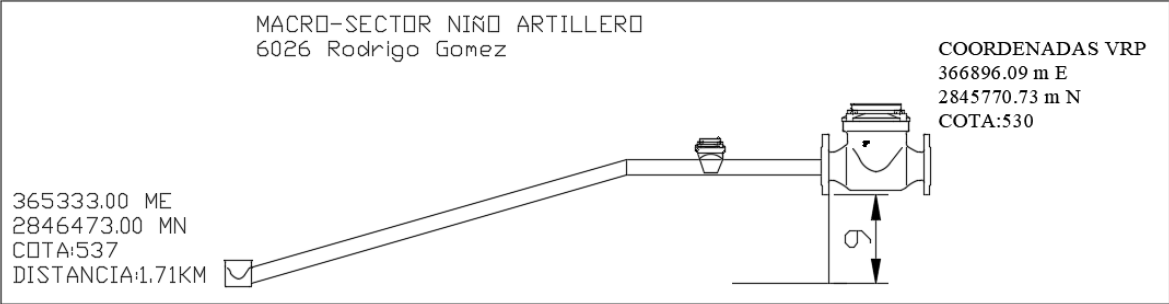


Imagen 51 Tercer punto critico (elaboración propia)



Imagen 52 Ubicación punto critico #3.



Punto crítico Eje metropolitano 13. En esta ubicación tenemos 9 metros en contra y una distancia de 1.04km respecto a la VRP

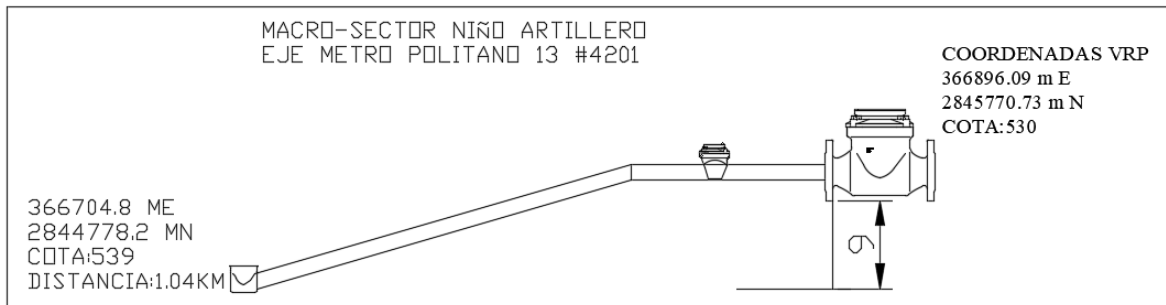


Imagen 53 Punto critico 4



Imagen 54 Ubicación del punto critico #4

Punto crítico Miguel Valentín. En esta ubicación tenemos 8 metros en contra y una distancia de 1.5km respecto a la VRP

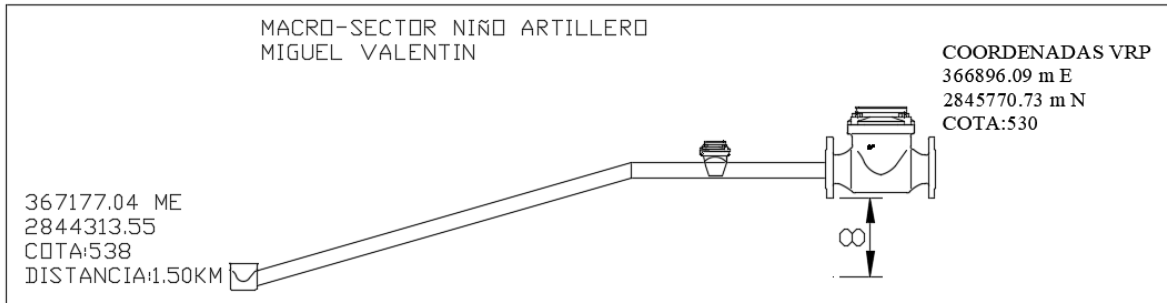


Imagen 55 Punto critico 5



Imagen 56 Ubicación del punto critico # 5

Jacarandas esquinas con galeana. En esta ubicación tenemos 9 m en contra y una distancia de 1.72km respecto a la VRP



Imagen 57 Punto crítico 6



Imagen 58 Ubicación punto crítico # 6



Punto crítico Manuel Z. Gómez hasta el límite del macro sector galeana. En esta ubicación tenemos 2 metros a favor y una distancia de 582m respecto a la VRP.

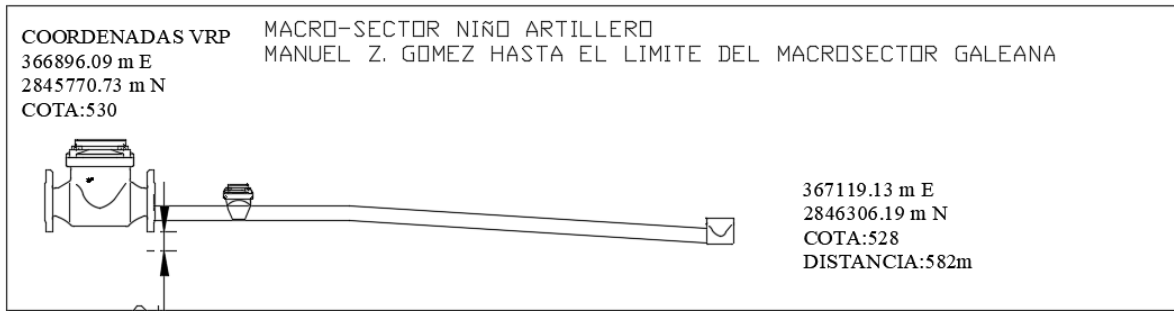


Imagen 59.Punto crítico



Imagen 60.Ubicación del punto critico # 7

Punto crítico Bernabé González 2ª. En esta ubicación tenemos 6 metros en contra y una distancia de 1.35km respecto a la VRP.

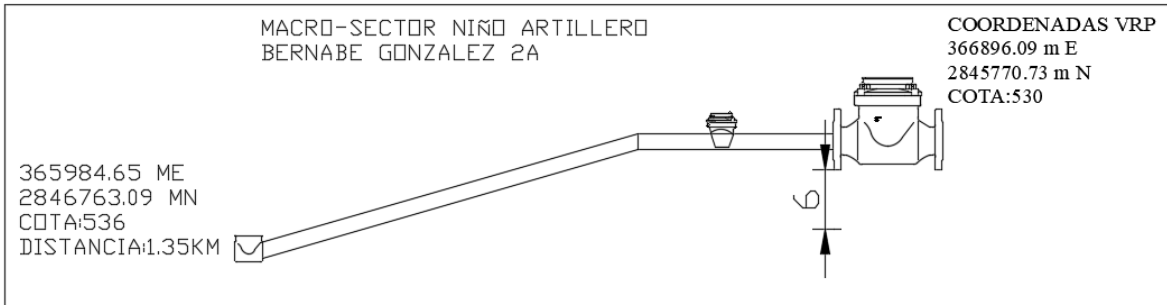


Imagen 61.Punto critico 8.



Imagen 62.Ubicación del punto critico # 8

## 7.9 Monta de mallas

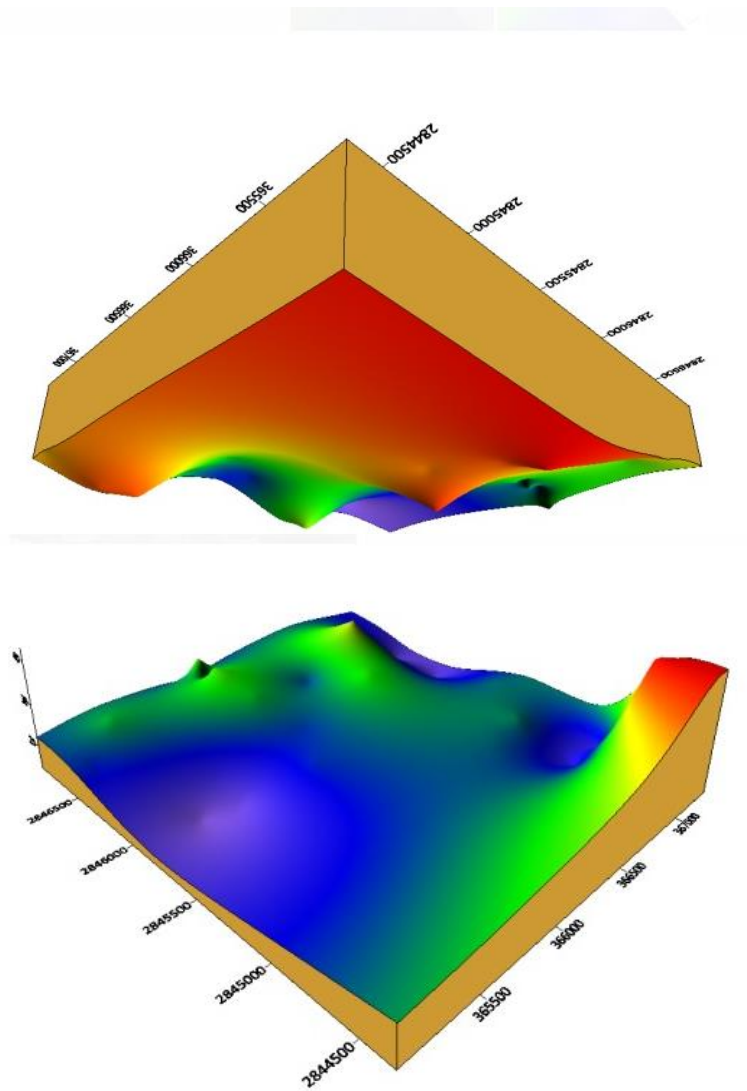


Imagen 63. Monta de mallas topográfica vs de presiones

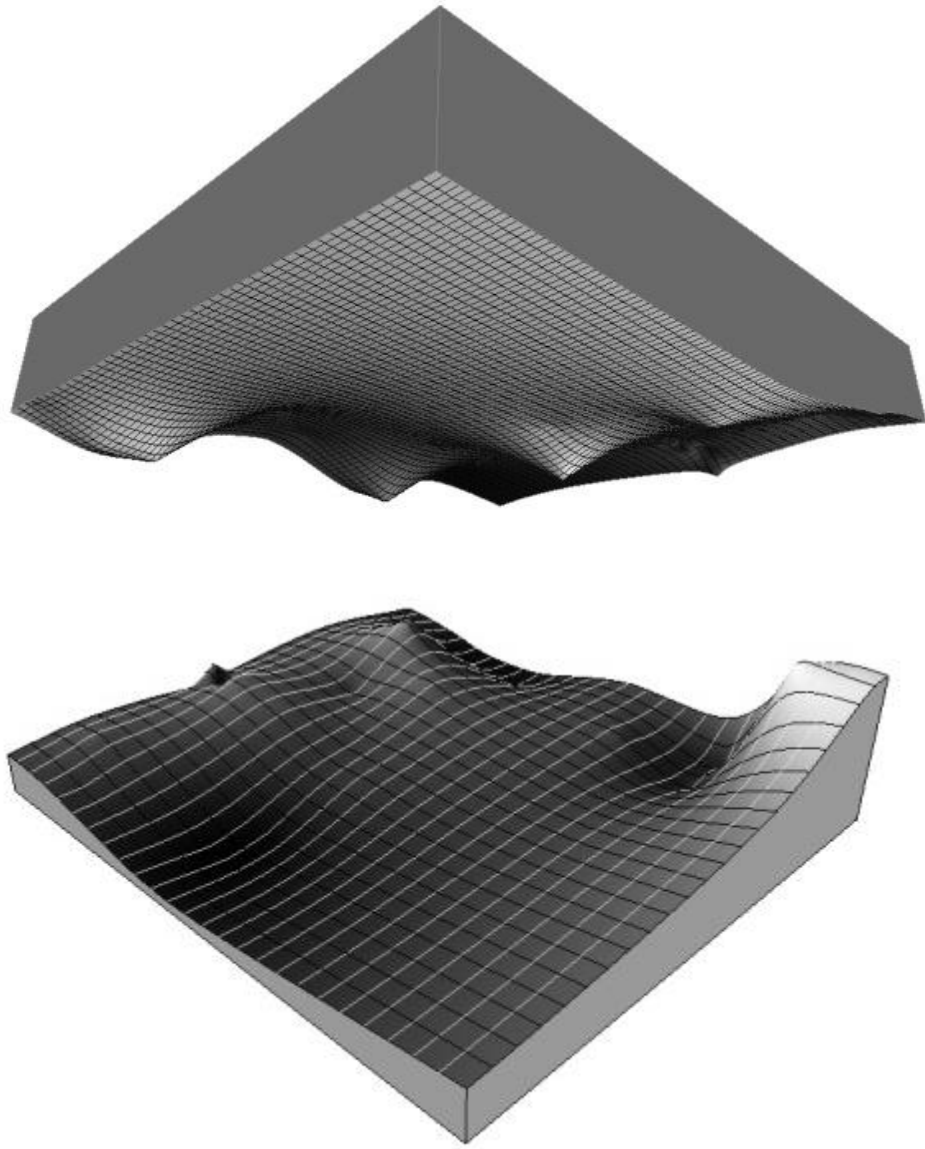


Imagen 64. Visualización de las montas de mallas

## 8 CONCLUSIONES

Como resultado de los datos obtenidos en las mediciones de presiones en las tomas domiciliarias tenemos lo siguiente: La CUC (Coeficiente de Uniformidad de Christiansen) promedio es del 78.82 %, la Er (Eficiencia de Requerimiento) promedio es de 99.67%, mientras que la Ea (Eficiencia de Aplicación) promedio es de 64.56 %.

En los puntos críticos el CUC (Coeficiente de Uniformidad de Christiansen) promedio es del 51.04 %, la Ea (Eficiencia de Aplicación) promedio es del 71.36 %, mientras que la Er (Eficiencia de Requerimiento) promedio cumple al 85.60%.

***Comprobamos que la hipótesis del organismo operador SAYDM se cumple***, ya que los parámetros o puntos de abastecimiento tanto en gasto como en presión en cualquier lugar del polígono se cumplen, a cualquier horario.

Mas sin embargo se observa que la Ea (Eficiencia de aplicación) manifiesta valores bajos menores al 70%, debido al desnivel topográfico como se muestra en la monta de mallas (PRESION Y TOPOGRAFICO) tan notorio en este Macro-Sector.

Esto se puede corregir con un programa de apoyo secundario de válvulas reguladoras de presión específica, a los puntos más críticos en las redes de distribución dentro del macro-sector, es decir atomizarlo o subdividirlo aún más.

En el montado de mallas se visualiza como la malla topográfica es inversamente proporcional a la malla de presiones notándose que en partes altas del terreno las presiones son bajas y en partes bajas las presiones son altas, por lo que se concluye que la presión es igual a la presión de válvula principal más menos altimetría del lugar tomando en cuenta también perdidas de carga en salidas múltiples y perdidas de carga locales, esto demuestra que la herramienta



teórica de la Ecuación de Hazen and Williams es la apropiada junto con el coeficiente de Christiansen, ya que el dato medido es congruente con el dato calculado.

La VRP (Válvula Reguladora de Presión) opera bajo su función de automatización obedece a un mismo patrón, bajo una ecuación donde la presión resultante es directamente dependiente de la energía obtenida en el origen, no se presentan excesivos de gasto ni sobrepresión en líneas, es decir existe un diferencial de presión entre el abastecimiento y la demanda, congruente con el nivel y la pérdida de carga. abre o cierra según sea este diferencial, evitando que exista una sobrepresión innecesaria, y en consecuencia fugas por sobrepresión a lo largo de la jornada hidráulica (horas, días, semana, mes, año).

En conclusión, se cumple la hipótesis del testigo, dando al usuario la presión y gasto requerido, en día y hora, fundamento hidráulico principal de la sectorización y la automatización, a base del uso de VRP (Válvula Reguladora de presión) y telemetría con que cuenta el Macro-Sector.

La distribución del fluido en el Macro-Sector, conforme a los datos obtenidos observando el comportamiento de los puntos crítico respecto a la VRP se considera como aceptable.

Los Rangos de CUC (Coeficiente de Christiansen) están entre bien y altos, se podría decir un rango aceptable alto ya que por más que se pretenda uniformizar los datos, estos serían imposible dado el desnivel, es decir que al llegar el fluido al Macro-Sector y ser regulado y administrado por una electroválvula hidráulica, al interior del Macro-Sector no se tiene control gravitacional del fluido.

## **9 RECOMENDACIONES**

Este trabajo considero de vital importancia, ya que a través de una gráfica se puede mostrar el comportamiento hidráulico de la distribución del gasto y la carga, y debería de evaluarse por parte del organismo operador todos los macro sectores de abastecimiento del AMM, ya que se requiere en la ciudad de las Montañas aún más la sectorización para poder reducir la perdida que se tiene en la eficiencia de aplicación, esto requiere la inversión de grandes capitales aunado a un sistema integral de telemetría para la Automatización de esa atomización de los sectores.

Es obvio pensar que a mayor sectorización involucre mayor mano de obra y en consecuencia mayor inversión en sistemas modernos de control automatizado, pero llegara el tiempo en que esto no está a discusión sobre la inversión de capital, ya que cada vez la disponibilidad de agua por habitante es menor,

## 10 REFERENCIAS

- AIGUAPRES. (14 de MAYO de 2021). *BOMBAS Y ACESORIOS*. Obtenido de <https://www.aiguapres.es/bombas-agua-serie-paralelo/>
- ambiental, a. d. (19 de septiembre de 2022). <https://ejatlas.org/conflict/crisis-del-agua-en-la-zona-metropolitana-de-monterrey-mexico/?translate=es>. Obtenido de <https://ejatlas.org/conflict/crisis-del-agua-en-la-zona-metropolitana-de-monterrey-mexico/?translate=es>
- BERMAD. (2022). <https://www.bermad.com/es/>. Obtenido de <https://www.bermad.com/es/>: <https://www.bermad.com/es/>
- civil, i. (s.f.). Obtenido de <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-el-principio-de-energia/>
- CONAGUA. (9 de OCTUBRE de 2019). *COMISION NACIONAL DEL AGUA*. Obtenido de COMISION NACIONAL DEL AGUA: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo>
- CONSTRUMATICA. (1 de junio de 2011). *CONSTRUMATICA*. Obtenido de [https://www.construmatica.com/construpedia/Relaci%C3%B3n\\_Presi%C3%B3n\\_Altura:\\_Conceptos\\_B%C3%A1sicos\\_de\\_Redde\\_de\\_Abastecimiento\\_de\\_Agua\\_Potable](https://www.construmatica.com/construpedia/Relaci%C3%B3n_Presi%C3%B3n_Altura:_Conceptos_B%C3%A1sicos_de_Redde_de_Abastecimiento_de_Agua_Potable)
- e.mora, L. (julio de 2018). *DocPlayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/70029134-Sistemas-de-distribucion-de-agua-potable-prof-luis-e-mora-cidiat-ula.html>:

<https://docplayer.es/70029134-Sistemas-de-distribucion-de-agua-potable-prof-luis-e-mora-cidiat-ula.html>

FESMEX. (s.f.). Obtenido de <https://www.fesmex.com.mx/article/carga-dinamica-total-en-un-sistema-de-bombeo/>

ingenieria, m. (2022). Obtenido de <https://www.ms-ingenieria.com.mx/ingenieria-mecanica/el-fenomeno-fisico-de-la-cavitacion/>

monterrey, s. d. (2021). *SADM.MX*. Obtenido de <https://www.sadm.gob.mx/>

MONTERREY, S. D. (2022). *SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY*. Obtenido de [https://www.sadm.gob.mx/SADM/index.jsp?id\\_html=operaciones](https://www.sadm.gob.mx/SADM/index.jsp?id_html=operaciones)

ms-ingenieria. (2017). Obtenido de <https://www.ms-ingenieria.com.mx/ingenieria-mecanica/el-fenomeno-fisico-de-la-cavitacion/>

ONU-DAES. (24 de NOVIEMBRE de 2014). *DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONOMICOS Y SOCIALES DE NACIONES UNIDAS*. Obtenido de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

parker, h. (enero de 2023). <https://abt-automation.com/>. Obtenido de <https://abt-automation.com/>

PARSONS, W. (2007). *GESTION PUBLICA DEL AGUA*. ARGENTINA: iISBN-10: 970-9967-06-1.

PB. (s.f.). *PUMBS BOMBAS*. Obtenido de <https://pumpsbombas.com/curso/curso-nociones-practicas-flujo-fluidos/leccion/8-tuberias-serie-paralelo/>

PF, G. T. (s.f.). *GCR TRITON I PF*. Obtenido de GCR TRITON I PF: TRITON I PF data  
Logger

pumpsbombas. (2020). *pumps bombas*. Obtenido de  
<https://pumpsbombas.com/curso/problemas-de-nociones-de-flujo-de-fluidos/leccion/problemas-de-calculo-de-tuberias-en-serie-y-paralelo/>:  
<https://pumpsbombas.com/curso/problemas-de-nociones-de-flujo-de-fluidos/leccion/problemas-de-calculo-de-tuberias-en-serie-y-paralelo/>

SAYDM. (4 de OCTUBRE de 2021). *SERVICIOS DE AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY*. Obtenido de <https://www.bnamericas.com/es/perfil-empresa/servicios-de-agua-y-drenaje-de-monterrey-ipd-sadm>

SEMARNAT. (8 de JULIO de 2018). *INFORMES DEL MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de SEMARNAT MEXICO:  
<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>

Valdelamar, P. J. (3 de AGOSTO de 2017). *EL FINANCIERO*. Obtenido de EL FINANCIERO: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/mexico-el-quinto-pais-que-mas-consume-agua/>

## 11 ANEXOS

Ubicación de los 30 datos medidos

Tabla 15.Coordenadas de los 30 puntos medidos.

numero	Coordenadas		DIRECCIONES
1	365366.78 m E	2845916.44 m N	Miguel Ciudadano Abasta #2448
2	365556.6 m E	2845847.13 m N	Av. Penitenciaria 2309
3	365563.48 m E	2846039.94 m N	Palacio de Justicia # 2337
4	366084.79 m E	2845960.91 m N	J. Martínez Campos # 2042
5	366883.03 m E	2845186.48 m N	Luis Moreno 4600
6	365919.39 m E	2845715.19 m N	Av. Penitenciaria #1200
7	366635.4 m E	2845147.25 m N	Av. Bernardo Reyes # 4525
8	366704.8 m E	2844778.2 m N	Eje Metropolitano 13 #4201
9	366881.78 m E	2844826.58 m N	Luis Moreno # 4221
10	367120.67 m E	2844823.78 m N	Manuel Velázquez
11	367161.33 m E	2844619.38 m N	Miguel de la Bárcena
12	367177.04 m E	2844313.55 m N	Miguel Valentín
13	367202.54 m E	2845097.99 m N	José Domínguez
14	367283.48 m E	2845409.26 m N	Antonio Lobato
15	367123.47 m E	2845516.05 m N	S. comunicaciones
16	365224.75 m E	2846195.35 m N	Jacarandas esquinas con Galeana
17	365136.76 m E	2846462.21 m N	Tulipán esquina con Las Flores
18	365334.24 m E	2846638.6 m N	Rodrigo Gómez esq. con Raúl Rangel Frías
19	365034.31 m E	2846465.81 m N	Raúl Rangel Frías 6144
20	366559.66 m E	2845978.05 m N	García de Arellano
21	367127.2 m E	2845969.68 m N	Narciso Mendoza esq. con Monterrey Santiago
22	367119.13 m E	2846306.19 m N	Manuel Z. Gómez hasta el límite del macro sector

23	366795.43 m E	2846342.99 m N	Adolfo López Mateos
24	366005.35 m E	2846284.51 m N	Alberto Gardunho 2132
25	366391.69 m E	2846285.46 m N	Bernardo Reyes 5680
26	365984.65 m E	2846658.73 m N	S. Islas
27	365984.65 m E	2846857.48 m N	Raúl Rangel Frías 6041
28	365984.65 m E	2846524.58 m N	Bernardo Reyes 1802
29	365984.65 m E	2846621.64 m N	Crescencio Neavas
30	365984.65 m E	2846763.09 m N	Bernabé González 2A.

### Resultados de las 5 mediciones

Tabla 16 Resultados de las 5 mediciones.

Puntos	22/09/2020 (hora)	Primer registro presión	23- 09- 2020 hora	Segundo registro presión	28/09/2022 (hora)	Tercer registro presión	06/10/2022 (hora)	Cuarto registro presión	07/10/2020 (hora)	Quinto registro presión
1	14:55	11.5	11:25	16	17:34	14	17:34	15	09:21	16
2	14:27	14	11:22	16	17:31	16	17:31	16	09:17	16
3	15:24	16.5	11:30	18	17:39	18	17:39	17	09:25	18
4	14:21	20	11:13	22	17:20	22	17:20	22	09:12	22
5	09:28	23	12:55	23	17:35	24	17:35	24	08:07	24
6	14:24	18.5	11:17	22	17:26	22	17:26	22	09:15	22
7	09:38	23	13:03	22	17:28	23	17:28	23	08:21	23
8	09:14	23	12:44	22	17:13	21	17:13	21	08:15	22
9	09:23	20	12:51	22	17:23	16	17:23	17	07:54	18
10	08:47	20	12:27	15	16:56	18	16:56	17	07:40	22
11	08:58	46	13:30	43	17:01	42	17:01	42	07:37	42

Puntos	22/09/2020 (hora)	Primer registro presión	23- 09- 2020 hora	Segundo registro presión	28/09/2022 (hora)	Tercer registro presión	06/10/2022 (hora)	Cuarto registro presión	07/10/2020 (hora)	Quinto registro presión
12	09:05	43	12:36	43	17:07	42	17:07	42	07:45	44
13	08:42	23	12:21	20	16:52	22	16:52	22	07:24	23
14	08:36	26	12:18	20	16:47	22	16:47	23	07:20	25
15	13:41	19	12:13	23	16:44	24	16:44	23	07:15	26
16	15:35	18	11:48	18	17:51	18	17:51	18	09:40	20
17	15:37	18	11:50	22	18:09	22	18:09	21	09:43	21
18		22	11:36	23	17:45	28	17:45	27	09:31	24
19	15:45	20	11:54	21	17:54	22	17:54	22	09:44	20
20	12:52	21	10:31	28	16:40	29	16:40	29	08:25	26
21	10:18	16	13:26	14	18:22	17	18:22	17	10:05	18
22	10:03	19	13:12	14	18:26	16	18:26	17	09:59	16
23	09:53	32	13:33	30	18:30	32	18:30	31	10:06	32
24	14:17	22	11:04	25	17:18	26	17:18	26	09:04	26
25	13:56	22	10:44	28	16:53	16	16:53	18	08:48	26
26	14:14	21.2	10:54	24	17:03	22	17:03	21	08:58	19
27	15:48	16	12:01	17	18:14	20	18:14	19	09:51	20
28	14:01	18	10:35	28	16:44	30	16:44	30	08:34	30
29	14:07	19	10:40	28	16:49	32	16:49	30	08:45	29
30	14:10	29	10:51	24	17:00	28	17:00	29	08:55	30

## CUC DEL PRIMER REGISTRO



Tabla 17 Datos registrados CUC primera medición.

Núm. de Observación	Registro en campo	Promedio	Punto crítico		
Número	xi	Xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	11.5	21.99	10.49	659.70	<b>0.7874</b>
2	14		7.99		<b>78.74%</b>
3	16.5		5.49		
4	20		1.99		
5	23		1.01		
6	18.5		3.49		
7	23		1.01		
8	23		1.01		
9	20		1.99		
10	20		1.99		
11	46		24.01		
12	43		21.01		
13	23		1.01		
14	26		4.01		
15	19		2.99		
16	18		3.99		
17	18		3.99		
18	22		0.01		
19	20		1.99		
20	21		0.99		
21	16		5.99		
22	19		2.99		
23	32		10.01		
24	22		0.01		
25	22		0.01		
26	21.2		0.79		
27	16		5.99		
28	18		3.99		
29	19		2.99		
30	29		7.01		
<b>Σ</b>	<b>659.70</b>		<b>140.24</b>		

## CUC SEGUNDO REGISTRO

Tabla 18 Datos registrados CUC segunda medición.

Núm. de Observación	Registro en campo	Promedio	Punto crítico		
N	Xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	16	23.03	7.03	691.00	<b>0.7955</b>
2	16		7.03		<b>79.55%</b>
3	18		5.03		
4	22		1.03		
5	23		0.03		
6	22		1.03		
7	22		1.03		
8	22		1.03		
9	22		1.03		
10	15		8.03		
11	43		19.97		
12	43		19.97		
13	20		3.03		
14	20		3.03		
15	23		0.03		
16	18		5.03		
17	22		1.03		
18	23		0.03		
19	21		2.03		
20	28		4.97		
21	14		9.03		
22	14		9.03		
23	30		6.97		
24	25		1.97		
25	28		4.97		
26	24		0.97		
27	17		6.03		
28	28		4.97		
29	28		4.97		
30	24		0.97		
<b>Σ</b>	<b>691.00</b>		<b>141.33</b>		

## CUC TERCER REGISTRO

Tabla 19 Datos registrados CUC tercera medición.

Núm. de Observación	Registro en campo	Promedio	Punto crítico		
N	Xi	Xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	14	23.47	9.47	704.00	<b>0.7759</b>
2	16		7.47		<b>77.59%</b>
3	18		5.47		
4	22		1.47		
5	24		0.53		
6	22		1.47		
7	23		0.47		
8	21		2.47		
9	16		7.47		
10	18		5.47		
11	42		18.53		
12	42		18.53		
13	22		1.47		
14	22		1.47		
15	24		0.53		
16	18		5.47		
17	22		1.47		
18	28		4.53		
19	22		1.47		
20	29		5.53		
21	17		6.47		
22	16		7.47		
23	32		8.53		
24	26		2.53		
25	16		7.47		
26	22		1.47		
27	20		3.47		
28	30		6.53		
29	32		8.53		

30	28		4.53		
$\Sigma$	704.00		157.73		

## CUC CUARTO REGISTRO

Tabla 20 Datos registrados CUC cuarta medición.

Núm. de Observación	Registro en campo	Promedio	Punto crítico		
N	xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	15	23.37	8.37	701.00	0.7822
2	16		7.37		78.22%
3	17		6.37		
4	22		1.37		
5	24		0.63		
6	22		1.37		
7	23		0.37		
8	21		2.37		
9	17		6.37		
10	17		6.37		
11	42		18.63		
12	42		18.63		
13	22		1.37		
14	23		0.37		
15	23		0.37		
16	18		5.37		
17	21		2.37		
18	27		3.63		
19	22		1.37		
20	29		5.63		
21	17		6.37		
22	17		6.37		
23	31		7.63		
24	26		2.63		
25	18		5.37		

26	21		2.37		
27	19		4.37		
28	30		6.63		
29	30		6.63		
30	29		5.63		
<b>Σ</b>	<b>701.00</b>		<b>152.67</b>		

## CUC QUINTO REGISTRO

Tabla 21 Datos registrados CUC quinta medición.

Núm. de Observación	Registro en campo	Promedio	Punto crítico		
<b>N</b>	<b>xi</b>	<b>Xm</b>	<b>xi - xm</b>	<b>N* xm</b>	<b>CUC</b>
1	16	24.00	8.00	720.00	<b>0.8000</b>
2	16		8.00		<b>80.00%</b>
3	18		6.00		
4	22		2.00		
5	24		0.00		
6	22		2.00		
7	23		1.00		
8	22		2.00		
9	18		6.00		
10	22		2.00		
11	42		18.00		
12	44		20.00		
13	23		1.00		
14	25		1.00		
15	26		2.00		
16	20		4.00		
17	21		3.00		
18	24		0.00		
19	20		4.00		
20	26		2.00		
21	18		6.00		

22	16		8.00		
23	32		8.00		
24	26		2.00		
25	26		2.00		
26	19		5.00		
27	20		4.00		
28	30		6.00		
29	29		5.00		
30	30		6.00		
$\Sigma$	<b>720.00</b>		<b>144.00</b>		

## CUC PUNTOS CRÍTICOS

Tabla 22. Datos registrados CUC medición puntos críticos.

Núm. de Observación	Registro en campo	Promedio	Punto crítico		
N	Xi	xm	xi - xm	N* xm	CUC
1	8.309	17.99	9.68	143.93	<b>0.5104</b>
2	14.2518		3.74		<b>51.04%</b>
3	13.642		4.35		
4	13.2419		4.75		
5	44.0639		26.07		
6	9.162		8.83		
7	14.1095		3.88		
8	27.1523		9.16		
$\Sigma$	<b>143.93</b>		<b>70.47</b>		

## DATOS Ea Y Er PRIMER REGISTRO

Tabla 23 Ea y Er primer registro.

Núm. de Observación	Registro en campo	Presión mínima
1	46	15
2	43	15

3	32	15
4	29	15
5	26	15
6	23	15
7	23	15
8	23	15
9	23	15
10	22	15
11	22	15
12	22	15
13	21.2	15
14	21	15
15	20	15
16	20	15
17	20	15
18	20	15
19	19	15
20	19	15
21	19	15
22	18.5	15
23	18	15
24	18	15
25	18	15
26	16.5	15
27	16	15
28	16	15
29	14	15
30	11.5	15

Tabla 24 Áreas CUC primer registro.

Área I	445.5
Área II	4.5
Área III	214.20
Eficiencia de Aplicación (Ea)	67.53%
Eficiencia de Requerimiento (Er)	99.00%

#### DATOS Ea Y Er SEGUNDO REGISTRO

Tabla 25 Ea y Er segundo registro.

Número de observaciones	Registro en campo	Presión mínima
1	43	15
2	43	15
3	30	15
4	28	15
5	28	15
6	28	15
7	28	15
8	25	15
9	24	15
10	24	15
11	23	15
12	23	15
13	23	15
14	22	15
15	22	15
16	22	15
17	22	15
18	22	15
19	22	15
20	21	15
21	20	15
22	20	15
23	18	15
24	17	15
25	17	15
26	16	15
27	16	15
28	15	15
29	14	15
30	14	15

Tabla 26 Áreas CUC segundo registro

Área I	448
Área II	2



Área III	243.00
Eficiencia de Aplicación (Ea)	64.83%
Eficiencia de Requerimiento (Er)	99.56%

## DATOS Ea Y Er TERCER REGISTRO

Tabla 27 Ea y Er tercer registro

Número de observaciones	Registro en campo	Presión mínima
1	42	15
2	42	15
3	32	15
4	32	15
5	30	15
6	29	15
7	28	15
8	28	15
9	26	15
10	24	15
11	24	15
12	23	15
13	22	15
14	22	15
15	22	15
16	22	15
17	22	15
18	22	15
19	22	15
20	21	15
21	20	15
22	18	15
23	18	15
24	18	15
25	17	15
26	16	15
27	16	15
28	16	15

<b>29</b>	16	15
<b>30</b>	14	15

Tabla 28 Áreas CUC tercer registro

<b>Área I</b>	<b>449</b>
<b>Área II</b>	<b>1</b>
<b>Área III</b>	<b>255.00</b>
<b>Eficiencia de Aplicación (Ea)</b>	<b>63.78%</b>
<b>Eficiencia de Requerimiento (Er)</b>	<b>99.78%</b>

## DATOS Ea Y Er CUARTO REGISTRO

Tabla 29 Ea y Er cuarto registro

<b>Número de observaciones</b>	<b>Registro en campo</b>	<b>Presión mínima</b>
<b>1</b>	42	15
<b>2</b>	42	15
<b>3</b>	31	15
<b>4</b>	30	15
<b>5</b>	30	15
<b>6</b>	29	15
<b>7</b>	29	15
<b>8</b>	27	15
<b>9</b>	26	15
<b>10</b>	24	15
<b>11</b>	23	15
<b>12</b>	23	15
<b>13</b>	23	15
<b>14</b>	22	15
<b>15</b>	22	15

16	22	15
17	22	15
18	21	15
19	21	15
20	21	15
21	19	15
22	18	15
23	18	15
24	17	15
25	17	15
26	17	15
27	17	15
28	17	15
29	16	15
30	15	15

Tabla 30 Áreas CUC cuarto registro.

Área I	450
Área II	0
Área III	251.00
Eficiencia de Aplicación (Ea)	64.19%
Eficiencia de Requerimiento (Er)	100.00%

**DATOS Ea Y Er QUINTO REGISTRO**

Tabla 31.Ea y Er quinto registro.

Número de observaciones	Registro en campo	Presión mínima
1	44	15
2	42	15
3	32	15
4	30	15
5	30	15
6	29	15
7	26	15
8	26	15
9	26	15
10	26	15
11	25	15
12	24	15
13	24	15
14	23	15
15	23	15
16	22	15
17	22	15
18	22	15
19	22	15
20	21	15
21	20	15
22	20	15
23	20	15
24	19	15
25	18	15
26	18	15
27	18	15
28	16	15
29	16	15
30	16	15

Tabla 32 Áreas CUC quinto registro.

<b>Área I</b>	<b>450</b>
<b>Área II</b>	<b>0</b>
<b>Área III</b>	<b>270.00</b>
<b>Eficiencia de Aplicación (Ea)</b>	<b>62.50%</b>
<b>Eficiencia de Requerimiento (Er)</b>	<b>100.00%</b>

### DATOS Ea Y Er PUNTOS CRITICOS

Tabla 33 Ea y Er puntos criticos

<b>Número de observaciones</b>	<b>Registro en campo</b>	<b>Presión mínima</b>
<b>1</b>	44.0639	15
<b>2</b>	27.1523	15
<b>3</b>	14.2528	15
<b>4</b>	14.1095	15
<b>5</b>	13.642	15
<b>6</b>	13.2419	15
<b>7</b>	9.162	15
<b>8</b>	8.309	15

Tabla 34 Áreas CUC puntos críticos.

<b>Área I</b>	<b>102.7162</b>
<b>Área II</b>	<b>17.2838</b>
<b>Área III</b>	<b>41.22</b>
<b>Eficiencia de Aplicación (Ea)</b>	<b>71.36%</b>
<b>Eficiencia de Requerimiento (Er)</b>	<b>85.60%</b>

