



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN
CONSTRUCCIONES**

**“Determinación de ecuaciones que relacionen la altura del
flujo en los pozos de revisión con el nivel de agua en las
tuberías de los interceptores sanitarios de la ciudad de
Cuenca: I, II, III, VI-2, IX, X, XII-A, XVI, XVIII”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autores

ANDRÉS FERNANDO CARMONA CHICA

JORGE LUIS ZHICAY ARBITO

Director

CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA WEBSTER

Codirector

JOSÉ LUIS PESÁNTEZ CORRAL

CUENCA, ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Este proyecto de graduación está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida, a mis padres José y Elsa quienes con su amor, esfuerzo y paciencia han sido la inspiración para cumplir este sueño. Así también quiero hacer honor a la memoria de mi gran amigo Xavier Vizhco, quien, por azares del destino, no logro cumplir su meta, pero que dejó una huella imborrable en nuestros corazones.

Andrés Carmona

Este proyecto de graduación lo quiero dedicar a mis padres Bolívar Zhicay y Rosario Arbito y hermanos por siempre confiar en mi capacidad para seguir adelante siendo una parte importante en mi vida y a ayudarme a nunca rendirme pese a los problemas y obstáculos que se presentaron a lo largo de esta etapa estudiantil.

Jorge Luis Zhicay

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento es para Dios ya que pudimos llegar a este punto en la vida con su gran bendición, también queremos agradecer a la Universidad del Azuay por darnos la oportunidad de formar parte de esta gran institución, a sus docentes por la formación recibida y de manera especial agradecemos a nuestro tutor de tesis Ing. Javier Fernández de Córdova por brindarnos su confianza y enseñanza a lo largo de esta etapa importante en nuestras vidas.

Determinación de ecuaciones que relacionen la altura del flujo en los pozos de revisión con el nivel de agua en las tuberías de los interceptores sanitarios de la ciudad de Cuenca: I, II, III, VI-2, IX, X, XII-A, XVI, XVIII

Resumen

Este proyecto analiza el comportamiento que tienen los interceptores de alcantarillado que llevan las aguas residuales de la ciudad, para lo cual se analiza el flujo en la tubería del interceptor y el comportamiento de la altura del agua en el pozo de revisión, estableciendo la relación entre estas dos medidas y el caudal que fluye por el sistema. Este estudio utiliza un sistema de medición con el uso de sensores, logrando una recopilación de datos más precisa y que refleja el comportamiento real de los interceptores estudiados.

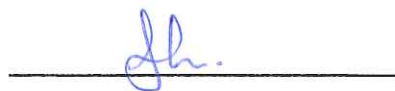


Ing. Javier Fernández de Córdova W. M.Sc

Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc

Director del Trabajo de Titulación

Director de la Escuela



Andrés Fernando Carmona Chica

Jorge Luis Zhicay Arbito

Autores

Determination of the equations that relate the height of the flow in the revision wells with the water level in the pipes of the sanitary interceptors of Cuenca: I, II, III, VI-2, IX, X, XII-A, XVI, XVIII

Abstract

This project analyzed the behavior of sewer interceptors that carry wastewater from the city. The flow in the interceptor pipe and the behavior of the height of water in the revision well were analyzed, establishing the relationship between these two measurements and the flow that goes through the system. This study used a sensor measurement system, achieving a more accurate data collection that reflected the actual behavior of the studied interceptors.



Ing. Javier Fernández de Córdova W. M.Sc

Thesis Director



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc

Faculty Director



Andrés Fernando Carmona Chica



Jorge Luis Zhicay Arbito

Authors



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by

Ing. Paúl Arpi

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
Resumen.....	iv
Abstract	v
Introducción	1
Justificación	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO I	4
RECOPIACIÓN Y TABULACIÓN DE ALTURAS DE AGUA EN CAMPO	4
1.1 Marco teórico	4
1.1.1 Conceptos que intervienen en el sistema de alcantarillado y medición.....	4
1.1.2 Monitoreo de alcantarillado en el mundo.....	13
1.1.3 Tipos de sensores que se pueden utilizar para medir la altura de agua	17
1.2 Recolección de datos obtenidos en campo	24
1.2.1 Implementación del sistema de medición.....	24
1.2.2 Instalación y recopilación de datos.....	27
1.3 Levantamiento de datos en campo	31
1.4 Características de los interceptores	38
CAPÍTULO II	46
CORRELACIÓN DE ALTURAS PARA OBTENER LA ECUACIÓN DE AJUSTE	46
2.1 Organización de la información obtenida en campo	46
2.2 Curvas de cada interceptor de: nivel de tubería vs tiempo, nivel de pozo vs tiempo y nivel de tubería vs nivel de pozo	46

2.3 Ecuación y coeficiente de determinación	65
CAPÍTULO III.....	67
DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES EN CADA POZO.....	67
3.1 Calculo de caudales en cada interceptor.....	67
3.2 Caso 1.....	70
3.3 Caso 2.....	71
3.4 Curvas en cada interceptor de nivel de caudal vs tiempo.....	74
3.5 Caudal en cada interceptor estudiado.....	95
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES.....	97
Bibliografía	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Resalto hidráulico	5
Figura 1.2: Valores de n por Horton	7
Figura 1.3: Secciones transversales cerradas	8
Figura 1.4: Sección circular	9
Figura 1.5: Área, perímetro mojado y radio hidráulico en conductos circulares parcialmente llenos.....	11
Figura 1.6: Esquema pozo de revisión en alcantarillado.....	12
Figura 1.7: Esquema interceptor de la red de alcantarillado.....	12
Figura 1.8: Arquitectura de sensores en ciudad inteligente	14
Figura 1.9: Esquema de funcionamiento de sensor inteligente.....	15
Figura 1.10: Red de sensores inalámbricos.....	16
Figura 1.11: Sensor ultrasónico de nivel.....	18
Figura 1.12: Sensor de medición de nivel sin contacto.....	18
Figura 1.13: Sensor capacitivo.....	19
Figura 1.14: Sensor de presión hidrostática	20
Figura 1. 15: Sensor de nivel radar	20
Figura 1.16: Esquema sensor ultrasónico	21
Figura 1.17: Esquema sensor de nivel	22
Figura 1.18: Sensor de nivel instalado por la Empresa Etapa Ep	22
Figura 1.19: Transmisor de nivel ultrasónico	23
Figura 1.20: Platina estática en el pozo de revisión	24
Figura 1.21: Platina móvil con sensor ultrasónico	25
Figura 1.22: Herramientas y equipo para instalación de platinas	25
Figura 1.23: Equipo de seguridad para ingreso a los pozos de revisión	26
Figura 1.24: Equipo de medición para la tubería	26
Figura 1.25: Esquema Raspberry Pi.....	27
Figura 1.26: Raspberry Pi	28
Figura 1.27: Esquema arduino uno r3.....	29
Figura 1.28: Arduino y sensor de corriente.....	30
Figura 1.29: Ilustración del uso de sensor.....	30
Figura 1.30: Arduino uno r3.....	31
Figura 1. 31: Esquema de funcionamiento de sensor HC-SR04.....	32

Figura 1.32: Suavisado de una curva	33
Figura 1.33: Equipo de medición de altura en la tubería	34
Figura 1.34: Equipo de medición de altura en la tubería	34
Figura 1.35: Sensor ultrasónico de medición en la tubería	35
Figura 1.36: Calibración del sensor	35
Figura 1.37: Esquema GPS garmin etrex 20x	36
Figura 1.38: GPS garmin en la tapa superficial del pozo estudiado	37
Figura 1.39: GPS garmin con información obtenidas del pozo estudiado	37
Figura 1.40: Ubicación de interceptores de estudio	39
Figura 1.41: Ubicación de interceptores de estudio	40
Figura 1. 42: Esquema pozo de revisión con sus características.....	41
Figura 2.1: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor I, día 1	47
Figura 2.2: Tiempo vs nivel de altura flujo en el pozo, Interceptor I, día 1	47
Figura 2.3: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor I.....	48
Figura 2.4: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor II, día 1	49
Figura 2.5: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor II, día 1	49
Figura 2.6: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor II.....	50
Figura 2.7: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor III, día 1	51
Figura 2.8: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor III, día 1	51
Figura 2.9: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor III	52
Figura 2.10: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor VI-2, día 1.....	53
Figura 2.11: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor VI-2, día 1..	53
Figura 2.12: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor VI-2, día 4.....	54
Figura 2.13: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor VI-2, día 4..	54
Figura 2.14: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor VI-2.....	55
Figura 2.15: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor IX, día 1..	56
Figura 2.16: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor IX, día 1	56

Figura 2.17: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor IX	57
Figura 2.18: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor X, día 1 ...	58
Figura 2.19: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor X, día 1	58
Figura 2.20: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor X	59
Figura 2. 21: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XII-A, día 2.....	60
Figura 2.22: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor XII-A, día 2	60
Figura 2.23: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XII-A	61
Figura 2.24: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XVI, día 2.....	62
Figura 2.25: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor XVI, día 2 ..	62
Figura 2.26: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XVI	63
Figura 2.27: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XVIII, día 4.....	64
Figura 2.28: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor XVIII, día 4	64
Figura 2.29: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XVIII	65
 Figura 3.1: Esquema de parámetros para la pendiente entre pozos	69
Figura 3.2: Sección de tubería caso uno Y es mayor al radio	70
Figura 3.3: Sección de tubería caso dos Y es menor al radio	71
Figura 3.4: Coeficiente n de Manning	72
Figura 3.5: Coeficiente n de Manning	73
Figura 3.6: Coeficiente n de Manning	74
Figura 3.7: Tubería del Interceptor I	74
Figura 3.8: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor I, día 1....	75
Figura 3.9: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor I, día 2....	76
Figura 3.10: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor I, día 3..	76
Figura 3.11: Tubería del Interceptor I	77
Figura 3.12: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor II, día 1	77

Figura 3.13: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor II, día 2	78
Figura 3.14: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor II, día 3	78
Figura 3.15: Tubería del Interceptor III	79
Figura 3.16: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor III, día 1	79
Figura 3.17: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor III, día 2	80
Figura 3.18: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor III, día 3	80
Figura 3.19: Tubería del Interceptor VI-2.....	81
Figura 3.20: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor VI-2, día 1.....	81
Figura 3.21: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor VI-2, día 2.....	82
Figura 3.22: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor VI-2, día 3.....	82
Figura 3.23: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor VI-2, día 4.....	83
Figura 3.24: Tubería del Interceptor IX	83
Figura 3.25: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor IX, día 1.....	84
Figura 3.26: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor IX, día 2.....	84
Figura 3.27: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor IX, día 3.....	85
Figura 3.28: Tubería del Interceptor X	85
Figura 3.29: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor X, día 1	86
Figura 3.30: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor X, día 2	86
Figura 3.31: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor X, día 3	87
Figura 3.32: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor X, día 4	87
Figura 3.33: Tubería del Interceptor XII-A.....	88
Figura 3.34: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XII-A, día 1.....	88
Figura 3.35: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XII-A, día 2.....	89
Figura 3.36: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XII-A, día 3.....	89

Figura 3.37: Tubería del Interceptor XVI	90
Figura 3.38: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVI, día 1.....	90
Figura 3.39: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVI, día 2.....	91
Figura 3.40: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVI, día 3.....	91
Figura 3.41: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVI, día 4.....	92
Figura 3.42: Tubería del Interceptor XVIII.....	92
Figura 3.43: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVIII, día 1.....	93
Figura 3.44: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVIII, día 2.....	93
Figura 3.45: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVIII, día 3.....	94
Figura 3.46: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVIII, día 4.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Datos geográficos de los pozos con sus respectivas pendientes	69
Tabla 3.2: Resumen de los caudales en cada interceptor	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Programación del software Arduino para la recopilación y calibración de los datos levantados en campo.....	100
Anexo 2: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor I	102
Anexo 3: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor II.....	102
Anexo 4: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor III	102
Anexo 5: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor VI-2.....	102
Anexo 6: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor IX	102
Anexo 7: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor X.....	102
Anexo 8: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor XII-A.....	102
Anexo 9: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor XVI	102
Anexo 10: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor XVIII.....	102
Anexo 11: Tabla de comparación de aforos.....	103

Determinación de ecuaciones que relacionen la altura del flujo en los pozos de revisión con el nivel de agua en las tuberías de los interceptores sanitarios de la ciudad de Cuenca: I, II, III, VI-2, IX, X, XII-A, XVI, XVIII

Introducción

La ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, está situada a 450 Km al de sur de Quito, capital de la República del Ecuador y a 243 Km de la ciudad de Guayaquil, principal puerto ecuatoriano, se encuentra atravesada por los ríos Tomebamba, Tarqui, Yanuncay y Machángara, al centro-sur de la región interandina del Ecuador a una altitud de 2550 metros sobre el nivel del mar y con un clima andino de 15 Celsius en promedio (Moncayo, 2011).

Enero de 1968 constituye la fecha de nacimiento de la actual empresa ETAPA, la misma que vela por los servicios de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (Etapa EP, 2018a).

Desde su fundación ETAPA se ha ido fortaleciendo y creciendo acorde al ritmo que le ha exigido Cuenca y el desarrollo de la tecnología, realizando la gestión integral del recurso hídrico integrando los procesos de protección de fuentes hídricas, captación, potabilización, distribución y tratamiento de aguas residuales del cantón Cuenca de buena manera. El sistema de saneamiento de Cuenca está constituido por redes de alcantarillado, Interceptores y las Plantas de Tratamiento; según inventario realizado son aproximadamente 1300 Km de redes de alcantarillado, 160 Km de redes de interceptores. Las redes están compuestas por tuberías con diámetros comprendidos entre 150 mm a 2000 mm para tuberías, existiendo otros colectores de variadas secciones; como sección baúl, sección cajón, de diferentes dimensiones (Etapa EP, 2018b).

Entre los años 2015 y 2016 se instalaron estaciones de monitoreo con sensores ultrasónicos de nivel para la recopilación de información en los pozos de revisión estos en los tramos finales de los interceptores construidos en los márgenes de los ríos Machangara, Tomebamba, Milchichig y Yanuncay (Larriva, Fernandez de Cordova, & Calle, 2018).

Justificación

La empresa Etapa EP ha instalado sensores en algunos interceptores de la ciudad para monitorear, analizar el comportamiento del flujo y obtener el caudal que fluye por las redes de alcantarillado, datos necesarios para mantener un control de los interceptores en la ciudad y mejorar su operación. El sensor instalado por la empresa mide la altura de flujo en el pozo de revisión y no el nivel de agua en la tubería, razón por la cual no se puede definir con exactitud el caudal que fluye en las tuberías, encontrar esta relación de alturas de flujo en los interceptores de estudio será de gran ayuda, ya que se tendrá datos precisos para la toma de decisiones y garantizar el buen funcionamiento de los interceptores.

Con este proyecto se analizará la relación entre las alturas de flujo en el pozo y el nivel de agua en la tubería de llegada encontrando la ecuación de ajuste que permitirá al sensor instalado determinar la altura del agua y el caudal que pasa por el interceptor en tiempo real.

Una vez obtenida esta ecuación de ajuste, se podrán monitorear las alturas de agua y caudales en cada interceptor lo que será de gran ayuda en el tiempo de invierno en donde incrementa el flujo del agua y se producen obstrucciones en las tuberías, detectando el problema a tiempo y dando una solución inmediata, evitando molestias en la población y brindando un servicio de calidad.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar la ecuación que relaciona la altura de flujo en el pozo de revisión con el nivel de agua en la tubería del interceptor.

Objetivos específicos

- Recopilar datos en campo de altura de agua en la tubería de 9 interceptores.
- Calcular caudales que circulan por los interceptores sanitarios estudiados.
- Monitorear la operación de los interceptores.

CAPÍTULO I

RECOPIACIÓN Y TABULACIÓN DE ALTURAS DE AGUA EN CAMPO

1.1 Marco teórico

1.1.1 Conceptos que intervienen en el sistema de alcantarillado y medición

En el análisis del comportamiento de agua en los interceptores es necesario el uso de teorías hidráulicas como la que se indican a continuación.

Flujo crítico, subcrítico y supercrítico

Debido a la gravedad el flujo puede ser crítico, subcrítico y supercrítico.

El número de froude (F) relaciona las fuerzas de inercia de velocidad, con fuerzas gravitacionales, se lo define de la siguiente forma:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad [\text{Adimensional}] \quad (\text{Ecu 1})$$

donde:

v = velocidad media de la sección, en m/s

g = aceleración de la gravedad, en m/s^2

L = longitud característica de la sección, en m

En canales, la longitud característica viene dada por la magnitud de la profundidad media o tirante medio $y=A/T$, con lo cual se tiene:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gy}} = \frac{v}{\sqrt{gA/T}} \quad [\text{Adimensional}] \quad (\text{Ecu 2})$$

Donde:

A = área de la sección transversal del flujo en m^2

T = El ancho de la lámina de flujo en m

Por lo que el número de froude puede tomar valores diferentes y en consecuencia el flujo puede ser:

Flujo subcrítico si $F < 1$, en este estado las fuerzas de gravedad se hacen dominantes, por lo que el flujo tiene baja velocidad, siendo tranquilo y lento. En este tipo de flujo, toda singularidad, tiene influencia hacia agua arriba.

Flujo crítico si $F = 1$. En este estado, las fuerzas de inercia y gravedad están en equilibrio.

Flujo supercrítico si $F > 1$, en este estado las fuerzas de inercia son más pronunciadas, por lo que el flujo tiene una gran velocidad, siendo rápido o torrencioso. En este tipo de flujo, toda singularidad. Tiene influencia hacia aguas abajo (Villón, 2007).

Resalto hidráulico

En un principio, la teoría del resalto desarrollada, corresponde a canales horizontales o ligeramente inclinados en los que el peso del agua dentro del resalto tiene muy poco efecto sobre su comportamiento y, por consiguiente, no se considera en el análisis. Sin embargo, los resultados obtenidos de este modo pueden aplicarse a la mayor parte de los canales encontrados en problemas de ingeniería. Para canales con pendiente alta el efecto del peso del agua dentro del resalto puede ser tan significativo que debe incluirse en el análisis (Chugnas, Avalos, Mantari, & Cruz, 2015).

El resalto hidráulico es un fenómeno que se origina en el punto de cambio de pendiente, que es característico del flujo rápidamente variado, que por lo general siempre está acompañado por un aumento súbito del tirante y una pérdida de energía bastante considerable que por lo general se disipa como energía calorífica y característico también porque se genera en un tramo relativamente corto.

Ocurre en el paso brusco de régimen supercrítico (rápido) a un régimen subcrítico (lento), es decir, en el resalto hidráulico el tirante, en un corto tramo, cambia de un valor inferior al crítico a otro superior a este. La figura 1.1, muestra este fenómeno (Villón, 2007).

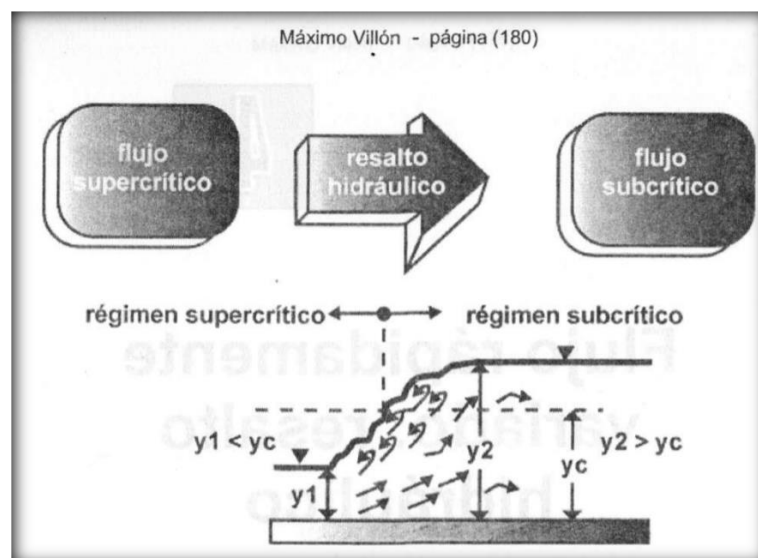


Figura 1.1: Resalto hidráulico

Fuente: Hidráulica de canales, Máximo Villón Béjar

Ecuación de Manning

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto.

Esta fórmula es la más generalizada que se usa en muchas partes del mundo. Proviene de considerar en la fórmula de Chezy un coeficiente C igual a:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad [\text{Adimensional}] \quad (\text{Ecu 3})$$

Luego, sustituyendo en la fórmula de Chezy, se tiene:

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \sqrt{RS} \\ v &= \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} R^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}} \\ v &= \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6} + \frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}} \\ v &= \frac{1}{n} R^{\frac{4}{6}} S^{\frac{1}{2}} \\ v &= \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad [\text{m/s}] \end{aligned} \quad (\text{Ecu 4})$$

que es la fórmula conocida de Manning, donde:

v = velocidad, en m/s

R = radio hidráulico, en m

S = pendiente de la línea de energía, en m/m

n = coeficiente de rugosidad; en la figura 1.2, se presentan valores propuestos por Horton, se usan los mismos valores que se utilizan en la fórmula de Ganguille-Kutter

Máximo Villón – página (72)					Hidráulica de canales - página (73)				
Tabla 2.2 Valores de n dados por Horton para ser usados en las fórmulas de Ganguillet-Kutter y de Manning									
Superficie	Condiciones de las paredes				Acueducto semicirculares metálicos corrugados	0.0225	0.025	0.0275	0.030
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malas					
Tubería hierro forjado negro comercial	0.012	0.013	0.014	0.015	Canales y zanjas: En tierra, alineados y uniformes En roca, lisos y uniformes En roca, con salientes y sinuosos Sinuosos y de escurrimiento lento Degradados en tierra Con lecho pedregoso y bordos de tierra enhierrados Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.017	0.020	0.0225	0.025*
Tubería hierro forjado galvanizado comercial	0.013	0.014	0.015	0.017					
Tubería de latón o vidrio	0.009	0.010	0.011	0.013					
Tubería acero remachado en espiral	0.013	0.015*	0.017*						
Tubería de barro vitrificado	0.010	0.013*	0.015	0.017					
Tubos comunes de barro para drenaje	0.011	0.012*	0.014*	0.017					
Tabique vidriado	0.011	0.012	0.013	0.015					
Tabique con mortero de cemento; albañales de tabique	0.012	0.013	0.015*	0.017					
Superficies de cemento pulido	0.010	0.011	0.012	0.013					
Superficies aplanadas con mortero de cemento	0.011	0.012	0.013*	0.015					
Tuberías de concreto	0.012	0.013	0.015*	0.016	Corrientes naturales: (1) Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos. (2) Igual al (1) pero con algo de hierba y piedra. (3) Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio (4) Igual al (3), de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente. (5) Igual al (3), algo de hierba y piedras. (6) Igual al (4), secciones pedregosas. (7) Ríos con tramos lentos, cauce enhierrado o con charcos profundos. (8) Playas muy enyerbadas.	0.025	0.0275	0.030	0.033
Tuberías de duela	0.010	0.011	0.012	0.013					
Acueductos de tablón: Labrado	0.010	0.012*	0.013	0.014					
Sin labrar	0.011	0.013*	0.014	0.015					
Con astillas	0.012	0.015*	0.016						
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018					
Superficie de mampostería con cemento	0.017	0.020	0.025	0.030					
Superficie de mampostería en seco	0.025	0.030	0.033	0.035					
Acueducto semicirculares metálicos, lisos	0.011	0.012	0.013	0.015					

(*) Valores de uso común en proyectos

Figura 1.2: Valores de n por Horton

Fuente: Hidráulica de canales, Máximo Villón Béjar

Como el uso de la fórmula de Manning está muy generalizado, se presenta esta fórmula en el sistema de unidades inglesas:

$$v = \frac{0.30}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{Ecu 5})$$

Donde

v = velocidad, en m/s

R = radio hidráulico, en m

S = pendiente de la línea de energía, en m/m

n = coeficiente de rugosidad

Combinando la fórmula de Manning y la ecuación de continuidad, la expresión para el cálculo del caudal que se obtiene es:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{Ecu 6})$$

donde:

Q = caudal o gasto en m^3/s

A = área de la sección transversal, en m^2 (Villón, 2007).

Flujo en conducciones parcialmente llenas

En las redes de saneamiento, las conducciones se diseñan para que trabajen parcialmente llenas al objeto de garantizar unas mínimas condiciones aeróbicas en el agua residual. En un conducto parcialmente lleno, para determinar el caudal que transporta en función del grado de llenado es necesario determinar la relación de caudal en función de la altura de flujo en la sección, $Q=Q(y)$, con el fin de utilizar tablas o gráficos que relacionen el caudal como la velocidad en función del grado de llenado de la altura de flujo sobre el diámetro de la sección (Trapote, 2014).

Los canales son conductos por los cuales el agua circula debido a la acción de gravedad y sin presentar ninguna presión adicional, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera. Los canales se pueden clasificar en algunos tipos, pueden ser naturales (ríos o arroyos) o artificiales (construidos por el hombre). Dentro de los canales donde el agua circula a la gravedad se puede incluir los conductos que trabajan a sección parcialmente llena como en el caso de los alcantarillados.

Sección circular y sección de herradura. Se usan comúnmente para alcantarillas y estructuras hidráulicas importantes. La figura 1.3 muestra algunas secciones cerradas.

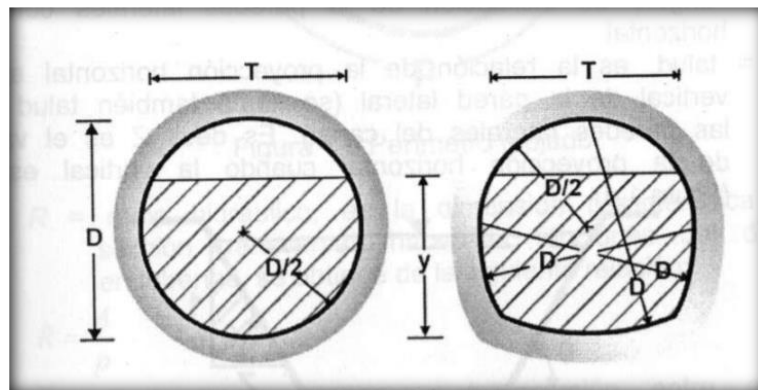


Figura 1.3: Secciones transversales cerradas

Fuente: Hidráulica de canales, Máximo Villón Béjar

Sección circular.

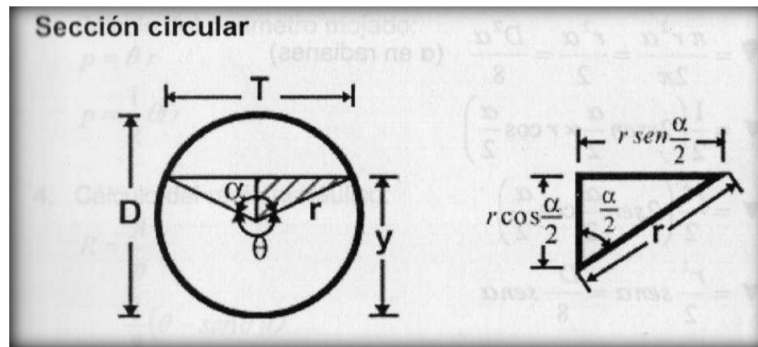


Figura 1.4: Sección circular

Fuente: Hidráulica de canales, Máximo Villón Béjar

Calculo del espejo de agua

De la figura 1.4, se tiene:

$$T = 2r \times \sin \frac{\alpha}{2} = D \times \sin \frac{\alpha}{2} \quad [\text{cm}] \quad (\text{Ecu 7})$$

pero:

$$\theta + \alpha = 2\pi$$

$$\alpha = 2\pi - \theta \quad [\text{Grados}]$$

$$\frac{\alpha}{2} = \sin \left(\pi - \frac{\theta}{2} \right) = \sin \frac{\theta}{2} \quad [\text{Grados}] \quad (\text{Ecu 8})$$

luego se tiene

$$T = D \sin \frac{\theta}{2} \quad [\text{cm}] \quad (\text{Ecu 9})$$

Calculo del área hidráulica:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{circunferencia}} - A_{\text{sección libre de agua}} = A_{\text{circunferencia}} - (A_{\text{sector circular}} - A_{\text{sección triángulo}})$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{circunferencia}} - A_{\text{sector circular}} + A_{\text{triángulo}} \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{Ecu 10})$$

$$A_{\text{total circunferencia}} = \pi r^2 = \frac{\pi D^2}{4} \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{Ecu 11})$$

$$A_{\text{sector circular}} = \frac{\pi r^2 \alpha}{2\pi} = \frac{r^2 \alpha}{2} = \frac{D^2 \alpha}{8} (\alpha \text{ en radianes}) \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{Ecu 12})$$

$$A_{\text{sección triangular}} = \frac{1}{2} \left(2r \sin \frac{\alpha}{2} \times r \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{\text{sección triangular}} = \frac{r^2}{2} \text{sen} \alpha = \frac{D^2}{8} \text{sen} \alpha \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{Ecu 13})$$

De otro lado, siendo θ y α complementarios, se tiene:

$$\theta + \alpha = 2\pi$$

$$\alpha = 2\pi - \theta$$

luego:

$$\text{sen} \alpha = \text{sen}(2\pi - \theta) = -\text{sen} \theta \quad (\text{Ecu 14})$$

entonces:

$$A_{\text{sector circular}} = \frac{D^2}{8} (2\pi - \theta) \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{Ecu 15})$$

$$A_{\text{sección triangular}} = -\frac{D^2}{8} \text{sen} \theta \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{Ecu 16})$$

Sustituyendo las áreas obtenidas se tiene:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{D^2}{8} (2\pi - \theta) - \frac{D^2}{8} \text{sen} \theta \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{Ecu 17})$$

Sacando como factor común $\frac{D^2}{8}$, resulta:

$$A = \frac{D^2}{8} (2\pi - 2\pi + \theta - \text{sen} \theta) \quad [\text{cm}^2]$$

de donde:

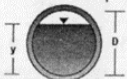
$$A = \frac{1}{8} (\theta - \text{sen} \theta) D^2 \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{Ecu 18})$$

(Villón, 2007, págs. 15-27).

Máximo Villón - página (26)

Hidráulica de canales - página (27)

Tabla 1.1. Área, perímetro mojado y radio hidráulico en conductos circulares parcialmente llenos



y tirante
D diámetro
A área
p perímetro mojado
R radio hidráulico

y/D	A/D ²	p/D	R/D	y/D	A/D ²	p/D	R/D
0,01	0,0013	0,2003	0,0066	0,26	0,1623	1,0701	0,1516
0,02	0,0037	0,2838	0,0132	0,27	0,1711	1,0928	0,1566
0,03	0,0069	0,3482	0,0197	0,28	0,1800	1,1152	0,1614
0,04	0,0105	0,4027	0,0262	0,29	0,1890	1,1373	0,1662
0,05	0,0147	0,4510	0,0326	0,30	0,1982	1,1593	0,1709
0,06	0,0192	0,4949	0,0389	0,31	0,2074	1,1810	0,1755
0,07	0,0242	0,5355	0,0451	0,32	0,2167	1,2025	0,1801
0,08	0,0294	0,5735	0,0513	0,33	0,2260	1,2239	0,1848
0,09	0,0350	0,6094	0,0574	0,34	0,2355	1,2451	0,1891
0,10	0,0409	0,6435	0,0635	0,35	0,2450	1,2661	0,1935
0,11	0,0470	0,6761	0,0695	0,36	0,2546	1,2870	0,1978
0,12	0,0534	0,7075	0,0754	0,37	0,2642	1,3078	0,2020
0,13	0,0600	0,7377	0,0813	0,38	0,2739	1,3284	0,2061
0,14	0,0668	0,7670	0,0871	0,39	0,2836	1,3490	0,2102
0,15	0,0739	0,7954	0,0929	0,40	0,2934	1,3694	0,2142
0,16	0,0811	0,8230	0,0986	0,41	0,3032	1,3898	0,2181
0,17	0,0885	0,8500	0,1042	0,42	0,3130	1,4101	0,2220
0,18	0,0961	0,8763	0,1097	0,43	0,3229	1,4303	0,2257
0,19	0,1039	0,9020	0,1152	0,44	0,3328	1,4505	0,2294
0,20	0,1118	0,9273	0,1206	0,45	0,3428	1,4706	0,2331
0,21	0,1199	0,9521	0,1259	0,46	0,3527	1,4907	0,2366
0,22	0,1281	0,9764	0,1312	0,47	0,3627	1,5108	0,2400
0,23	0,1365	1,0003	0,1364	0,48	0,3727	1,5308	0,2434
0,24	0,1449	1,0239	0,1416	0,49	0,3827	1,5508	0,2467
0,25	0,1535	1,0472	0,1466	0,50	0,3927	1,5708	0,2500

Continuación de la tabla 1.1 ...

y/D	A/D ²	p/D	R/D	y/D	A/D ²	p/D	R/D
0,51	0,4027	1,5908	0,2531	0,76	0,6404	2,1176	0,3025
0,52	0,4126	1,6108	0,2561	0,77	0,6489	2,1412	0,3032
0,53	0,4227	1,6308	0,2591	0,78	0,6573	2,1652	0,3037
0,54	0,4327	1,6509	0,2620	0,79	0,6655	2,1895	0,3040
0,55	0,4426	1,6710	0,2649	0,80	0,6736	2,2143	0,3042
0,56	0,4526	1,6911	0,2676	0,81	0,6815	2,2395	0,3044
0,57	0,4625	1,7113	0,2703	0,82	0,6893	2,2653	0,3043
0,58	0,4723	1,7315	0,2728	0,83	0,6969	2,2916	0,3041
0,59	0,4822	1,7518	0,2753	0,84	0,7043	2,3186	0,3038
0,60	0,4920	1,7722	0,2776	0,85	0,7115	2,3462	0,3033
0,61	0,5018	1,7926	0,2797	0,86	0,7186	2,3746	0,3026
0,62	0,5115	1,8132	0,2818	0,87	0,7254	2,4038	0,3017
0,63	0,5212	1,8338	0,2839	0,88	0,7320	2,4341	0,3008
0,64	0,5308	1,8546	0,2860	0,89	0,7384	2,4655	0,2996
0,65	0,5404	1,8755	0,2881	0,90	0,7445	2,4981	0,2980
0,66	0,5499	1,8965	0,2899	0,91	0,7504	2,5322	0,2963
0,67	0,5594	1,9177	0,2917	0,92	0,7560	2,5681	0,2944
0,68	0,5687	1,9391	0,2935	0,93	0,7614	2,6021	0,2922
0,69	0,5780	1,9606	0,2950	0,94	0,7662	2,6467	0,2896
0,70	0,5872	1,9823	0,2962	0,95	0,7707	2,6906	0,2864
0,71	0,5964	2,0042	0,2973	0,96	0,7749	2,7389	0,2830
0,72	0,6054	2,0264	0,2984	0,97	0,7785	2,7934	0,2787
0,73	0,6143	2,0488	0,2995	0,98	0,7816	2,8578	0,2735
0,74	0,6231	2,0714	0,3006	0,99	0,7841	2,9412	0,2665
0,75	0,6318	2,0944	0,3017	1,00	0,7854	3,1416	0,2500

Figura 1.5: Área, perímetro mojado y radio hidráulico en conductos circulares parcialmente llenos

Fuente: Hidráulica de canales, Máximo Villón Béjar

Sistema de alcantarillado combinado

Es un sistema de tuberías que transportan aguas residuales y también agua lluvia (Alfaro, Carranza, & Gonzalez, 2012).

Pozos de revisión

Son estructuras construidas a modo de cajas de concreto reforzado que se coloca en puntos estratégicos del sistema de alcantarillado (cambios de pendiente, cambios de dirección) para fines de mantenimiento y limpieza de la red de alcantarillado y también para ventilación de los conductos evitando la acumulación de gases. Por lo general tienen forma cónica, su acceso es por la parte superior y tienen espacio suficiente para el ingreso de una persona.

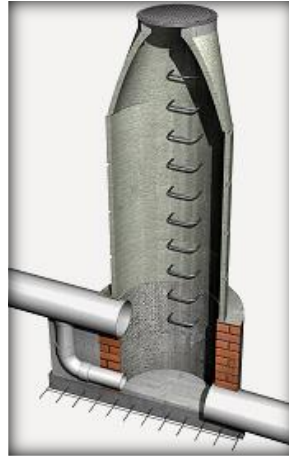


Figura 1.6: Esquema pozo de revisión en alcantarillado

Fuente: www.generadordeprecios.info.com

En la ilustración 1.6 se puede observar cómo está compuesto el pozo de revisión en la parte superior la tapa superficial a nivel de la calle o vereda dependiendo el caso la escalera para su acceso y en la parte de la tuberías es la sección del pozo puede ser circular o en otros caso en forma de cajón.

Interceptor

Se denomina interceptores a los conductos ubicados en las partes bajas de la localidad, su función es recolectar las aportaciones de agua de toda la red de alcantarillado para llevarla hacia su disposición final (Sánchez, 2005).

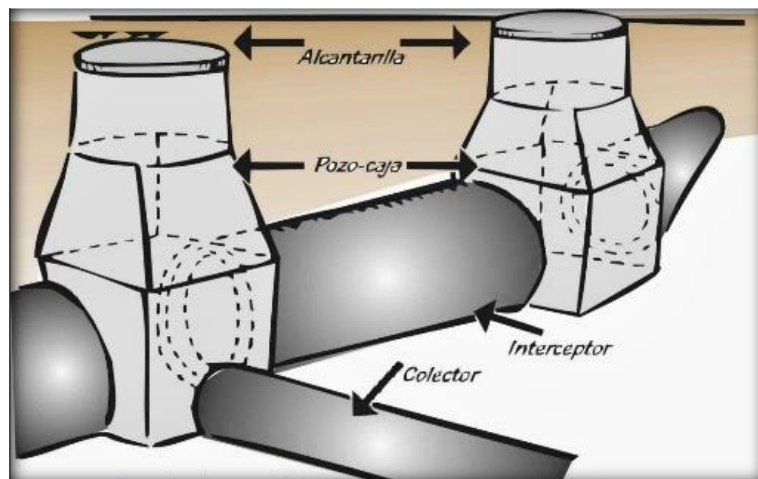


Figura 1.7: Esquema interceptor de la red de alcantarillado

Fuente: Miller Lopez - obras civiles

Atoros

Se produce cuando un tramo de tubería es tapada total o parcialmente por algún objeto determinado o por residuos sólidos. Estas obstrucciones impiden el flujo normal de los desagües (OPS, 2005).

1.1.2 Monitoreo de alcantarillado en el mundo

El sistema de alcantarillado inteligente es un sistema que utiliza sensores para monitorear el agua en la alcantarilla el cual recién empieza a ser utilizado en los países europeos por lo que su información es limitada.

Ciudad inteligente: El alcantarillado inteligente

Skellefteå es un municipio en el Condado de Västerbotten en el norte de Suecia, en este lugar se dio un brote de criptosporidiosis que es causada por un organismo pluricelular debido a filtraciones del sistema de alcantarillado hacia los ríos que distribuyen de agua a esta ciudad, provocando enfermedades gastrointestinales en los habitantes.

Cuando se detectó este problema fue necesario limpiar todos los depósitos y tuberías de la planta de agua lo cual fue un gasto económico grande, a fin de evitar que este evento se vuelva a repetir en Suecia la Luleå University of Technology investigó e implementó un sistema de evaluación con prototipos de sistema de alcantarillado con monitorización continua con el fin de proporcionar información de fugas e identificándolas de manera rápida y así localizar inundaciones para permitir una respuesta y acciones rápidas.

Con este sistema se tiene el monitoreo continuo, también una base de datos para priorizar la renovación o expansión de los conocimientos a la hora de planificar la reconstrucción de áreas problemáticas y ampliaciones debido al crecimiento de la ciudad.

La aplicación de alcantarillado inteligente es un sistema de monitoreo que se basa en tecnología de sensores y comunicación inalámbrica.

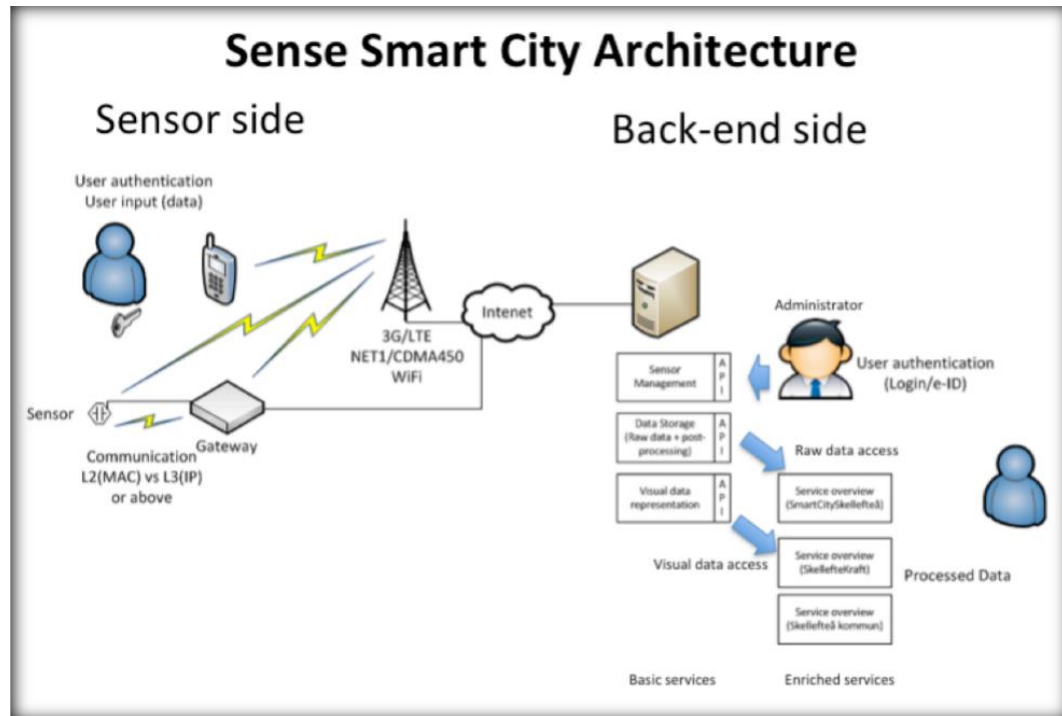


Figura 1.8: Arquitectura de sensores en ciudad inteligente

Fuente: (See, y otros, 2009)

La implementación de este sistema de sensores prototipo se compone de varios sistemas de sensores duros y componentes de software; el hardware del sensor y sistema de recolección de datos consiste de tres partes diferentes.

Primero se coloca el dispositivo de sensor ultrasónico a 500 mm encima de la superficie del agua a medir, el resultado es la distancia entre la cara del sensor y el nivel de agua, este sensor es pequeño de 110 X 70 X 55 mm con protección IP67, caja a prueba de agua que contiene el dispositivo GSM (dispositivo móvil que utiliza el sistema global para comunicaciones móviles) y accesorios adicionales, la batería utilizada tiene 2 años de autonomía.

La caja electrónica y la antena están colocadas en la parte superior del hormigón con respecto a la cobertura de radio y la conveniencia de mantenimiento, para garantizar integridad física de los componentes, estos son fabricados en acero inoxidable para resistir la humedad y la corrosión del medio ambiente al que se encuentra para resistir también las bajas como extremas temperaturas.

El software del sensor que se usa para esta medición permite la medición periódica (cada hora) del agua, también se recolecta información sobre la temperatura ambiente que se almacena en una memoria interna y como el sistema utiliza GMS Short permite

el uso de mensajes para la transmisión de datos con un tamaño de 150 caracteres que son los datos recolectados por 24 horas.

Con estos datos almacenados en una base de datos y cada dato que se muestra se compara con el valor superior pre-configurado y límites más bajos y si este dato excede un límite se produce una alarma y genera un mensaje SMS que es transmitido directamente a una lista de destinatarios configurada previamente, esto permite acciones preventivas para evitar inundaciones, otra alerta se produce si la información no es recibida por más de 25 horas para informar que algo no está funcionando bien.

Toda la información entre entidades excepto para la comunicación SMS se lleva a cabo utilizando mensajes XML (lenguaje de marcas extensible es un meta-lenguaje que permite definir lenguajes de marca utilizado para almacenar datos de forma legible) esto proporciona una solución escalable y un diseño flexible que permite la integración con otros sistemas en muchos niveles (Granlund & Brännström, 2012).

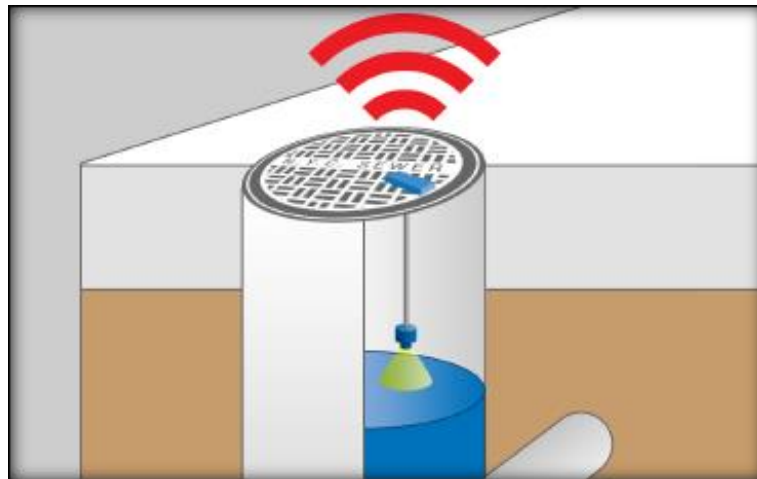


Figura 1.9: Esquema de funcionamiento de sensor inteligente

Fuente: NYC environmental protection

Una red de sensores inalámbricos basada en Zigbee para el monitoreo de alcantarillado

Zigbee: es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo.

En el tema de aguas residuales las inundaciones de alcantarillados y contaminación son temas importantes de incidentes que se pueden ocasionar, en este sistema la supervisión y el mantenimiento son parte importante, ya que si se lo realiza de manera

manual significa altos costos que además son ineficientes por lo que una opción viable es la implementación de sensores inalámbricos de bajo costo que pueden ser desplegados sobre una amplia red de cobertura que son más eficientes y proporcionando una alerta temprana de fallo inminente que ofrece tiempo para que los equipos de mantenimiento den solución antes que se agrave el problema.

La implementación de WSN (redes de sensores inalámbricos) inalámbrico de bajo costo usando comunicación Zigbee y el uso de sensores acústicos para la monitorización del nivel de agua en las alcantarillas.

Con este proyecto se evalúa el diseño preliminar de la propuesta de durabilidad de los sensores y la fiabilidad de la comunicación en tiempo real, así también las condiciones operativas dentro de un entorno urbano.

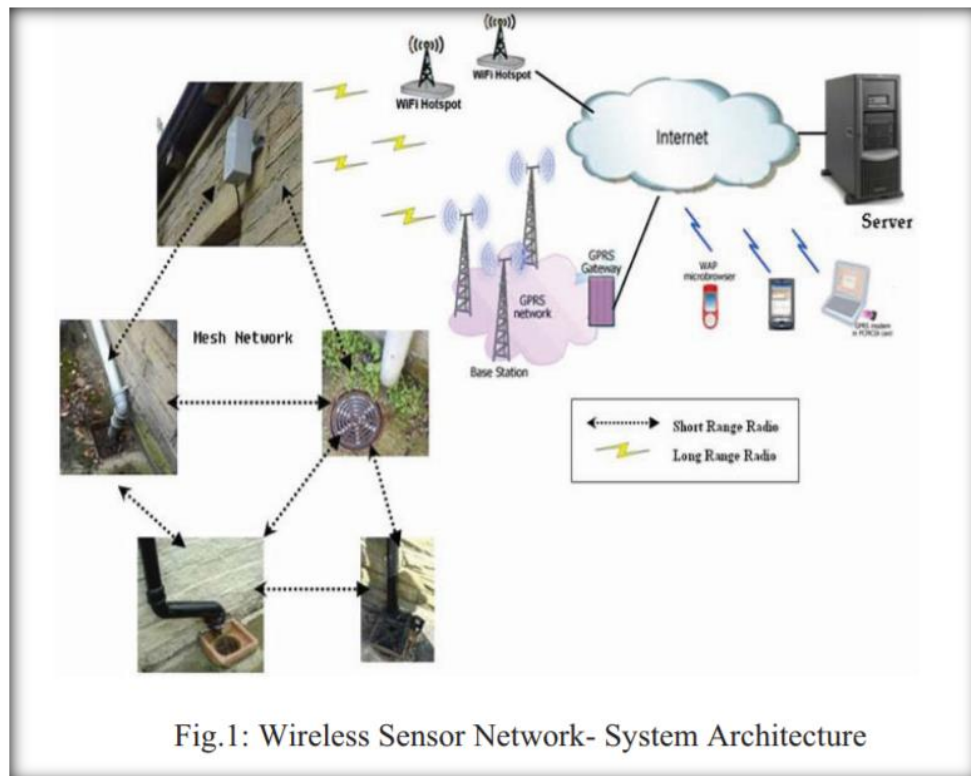


Figura 1.10: Red de sensores inalámbricos

Fuente: See, y otros, 2009

Se utiliza un sistema de sensores inalámbricos de red de malla, una de las limitaciones es la restricción a la cobertura de ruido blanco gaussiano (es una señal aleatoria, caracterizada porque sus valores en instantes de tiempo distintos no tienen relación alguna entre sí) debido a esta limitación de la comunicación directa a la estación base no siempre es posible sobre todo en un ambiente con fuerte atenuación por lo que fue

necesario utilizar el sistema que usa multi-distribuidores para enviar los datos a través de estos sensores para que llegue la información a la base como se muestra en la figura 1.10.

Implementando una comunicación de red mesh (red wifi de tipo malla compuesta por una estación base y sus puntos de acceso que se comunican entre ellos) esta configuración WSN permite conexiones continuas y reconfiguración alrededor de caminos bloqueados pasando la información de sensor a sensor hasta llegar a la base con la ventaja que se auto repara y sigue funcionando si un sensor de la red se rompe o falla, cuando los datos llegue a la base se almacena y publican en una página web con la facilidad de acceder a la internet por ser un dispositivo móvil remoto para lo cual se seleccionó un WSN de corto alcance basado en Zigbee la mejor opción de momento debido sus características como baja velocidad de transmisión de datos, bajo consumo de batería, comunicación sencilla, infraestructura, capacidad para soportar de 1 hasta 65000 unidades de control.

Este sistema propuesto ha conducido al desarrollo de conocimiento y experiencia en cuatro áreas de investigación como, diseño de antena integrada, sensores e instrumentación para uso en agua, comunicación inalámbrica y comunicaciones distribuidas de red de sensores inalámbricos y el monitoreo remoto de agua (See, y otros, 2009).

1.1.3 Tipos de sensores que se pueden utilizar para medir la altura de agua

Sensores de nivel ultrasónicos

Este tipo de sensor es de medición continua de nivel se basa en el tiempo que transcurre en viajar el pulso ultrasónico hasta la superficie del medio y volver, al instalar este sensor se debe considerar la distancia de bloqueo, superficies liquidas agitadas y el cambio de ángulo durante el llenado y vaciado de sólidos granulados que afectan a la reflexión de los pulsos ultrasónicos y por lo tanto puede afectar a los resultados de medición.

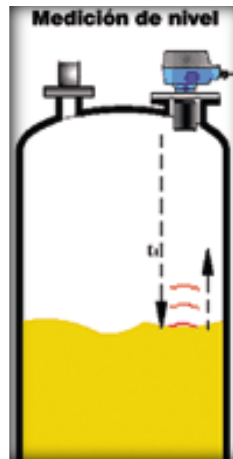


Figura 1.11: Sensor ultrasónico de nivel

Fuente: Electro industria

Sensor de medición de nivel sin contacto

Este sensor detecta la altura de nivel actual en el punto de instalación el cual se realiza determinando la distancia entre la superficie del medio y el nivel de referencia preseleccionado, este sensor incorporan un procesador de señal analógica, un microprocesador, decimal codificado en binario (BCD) switches de rango, y un circuito de salida del controlador transmitiendo los impulsos a una puerta de señal de la ruta del microprocesador a través del procesador de la señal analógica del sensor, que envía un haz ultrasónico a la superficie del líquido, esta medición continua permite evaluar el consumo del producto, el control de pérdidas, y se diferencia porque permite un control de proceso preciso.



Figura 1.12: Sensor de medición de nivel sin contacto

Fuente: Omega engineering

Sensor capacitivo

Este sensor es capaz de resistir altas temperaturas y presiones, e impermeable a corrosivos, producen un campo electrostático en lugar de un campo electromagnético, las sondas de la serie LV3000/4000 dan mediciones de nivel confiables y continuas en aplicaciones difíciles lo que es ideal para líquidos, pastas y algunos sólidos, ya sean conductores o no conductores, después de rectificar y filtrar la energía de entrada, generar una señal de radiofrecuencia, y calcular cambios en la corriente, el circuito electrónico produce una señal de salida en 2 hilos de 4 a 20 mA proporcional al nivel del proceso.

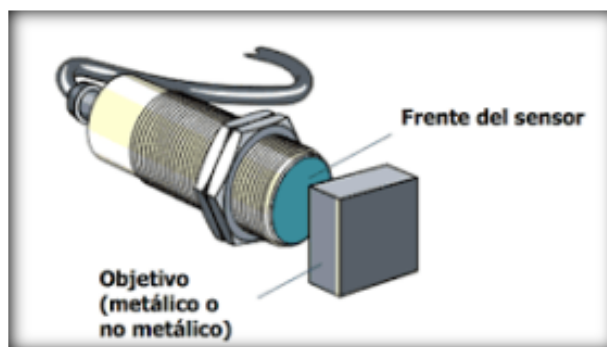


Figura 1.13: Sensor capacitivo

Fuente: Ingeniería mecafenix

Sensor de presión hidrostática

Con este sensor se puede determinar el nivel de un líquido mediante la presión hidrostática, si se conoce la densidad funciona con una célula de medición piezoresistente acoplada al líquido a medir mediante una membrana de separación de acero inoxidable y un centrador de presión.

El valor de la célula de medición se puede convertir mediante un acondicionador de señal de analógica de 4 a 20 mA, también en señal analógica de 4 a 20 mA con HART y con señal digital PROFIBUSPA.



Figura 1.14: Sensor de presión hidrostática

Fuente: Colsein

Sensor de nivel radar

Este tipo de sensor envía ondas electromagnéticas que rebotan al entrar en contacto con el líquido o materia sólida a medir con medición continua que también se puede usar como controlador de nivel. Funcionan muy bien a la hora de medir líquidos, sólidos, líquidos espumosos, líquidos que cristalizan y en condiciones extremas de presión de alta concentración de polvo o de vapor, las ondas ultrasónicas emitidas por el sensor se propagan sin necesidad de material portador (Omega engineering inc, 2003).



Figura 1. 15: Sensor de nivel radar

Fuente: Interempresas.net

Sensor ultrasonidos HC-SR04

Dispositivo que permite medir el tiempo de eco, es decir el tiempo en el que una onda viaja, rebota en una superficie y vuelve hacia el sensor (Proserquis, 2016).

Es un dispositivo de bajo costo, bajo consumo de energía de buena precisión que esta entre 3 milímetros y mide distancias entre 2 y 400 cm ideal para este proyecto y de

fácil accesibilidad por que no presenta inconvenientes en su uso, y además de ser compatible con Arduino (Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores) y pic (programador de micro controladores) (Ibertrónica, 2018).



Figura 1.16: Esquema sensor ultrasónico

Fuente: Sistemas oibertronica

Características técnicas:

- Distancia de detección: 2cm - 450 cm
- Ángulo del sensor: menos de 15 grados.
- Alta precisión de hasta 3 mm.
- Peso: 10g.
- Tensión de alimentación de 5 V
- Corriente estatica menor a 2 mA
- Angulo de sendor menor a 15 grados
- Peso de 10 g

Sensor instalado por la Empresa Etapa EP (sensor de nivel)

Su tecnología permite medir líquidos y sólidos en ambientes agresivos. Lo que permite tener una excelente confiabilidad en mediciones de corto y largo alcance. Las lecturas del sensor no son afectadas por color ni transparencia del medio; incluso compensa la afectación por la temperatura del ambiente. Su electrónica (display), y menú de programación fueron diseñados específicamente para cumplir con los requisitos de los organismos municipales encargados de la medición de aguas residuales, proporciona mediciones de nivel sin contacto.

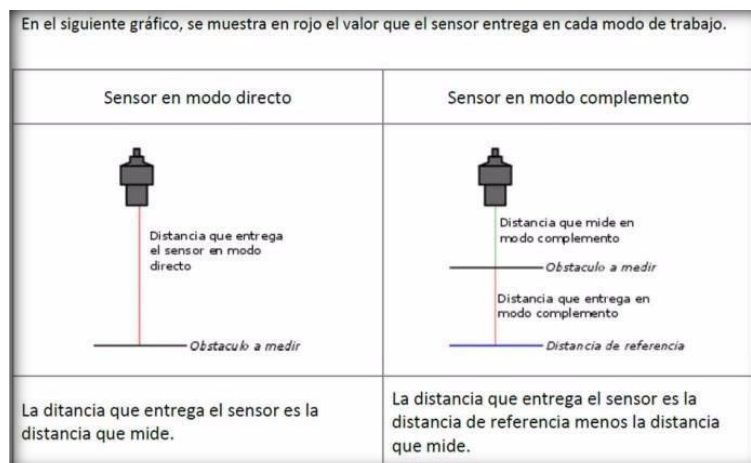


Figura 1.17: Esquema sensor de nivel

Fuente: EQ equyysis

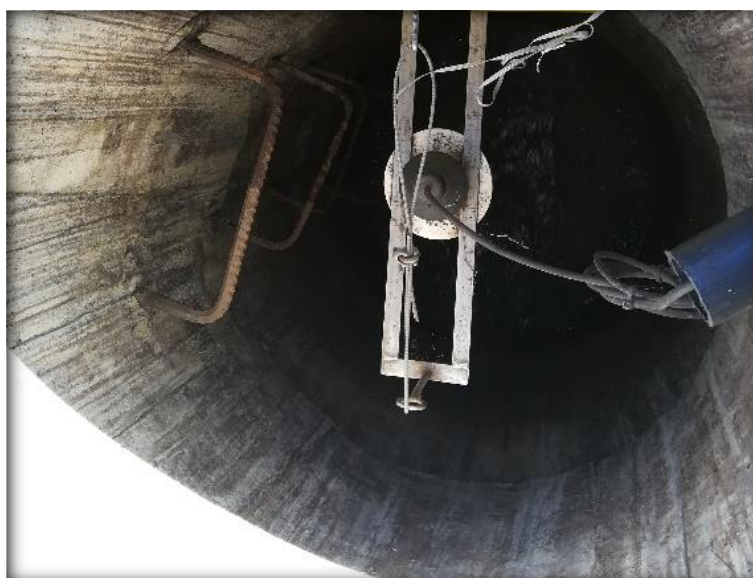


Figura 1.18: Sensor de nivel instalado por la Empresa Etapa Ep

Fuente: Autores



Figura 1.19: Transmisor de nivel ultrasónico

Fuente: Flo-corp

Características técnicas:

- Proporciona mediciones hasta 10.67m
- Cuenta con tres salidas analógicas
- Cuenta con dos interruptores
- Rango de medición activo: 0.10m – 3.05m
- Medición: Líquidos
- Precisión: 1.0mm +/- 1%
- Conexión de proceso: LTRP-10: 3.81cm NPT, LTRP-35: 5.08cm NPT
- No se ve afectado por factores ópticos como el color y la transparencia.
- Interfaz serial RS-485 estándar
- Roscado en ambos extremos.
- Compensación de temperatura para mayor precisión
- Sensibilidad ajustable
- Banda muerta de 0.10m a 0.30m
- Rango de medición activo LTRP-10: 0.64m- 3.05m LTRP-35: 0.30m- 10.67m
- Temperatura de -40 a 158°F (-40 a 70°C)
- Humedad 0 a 100% en funcionamiento.
- Potencia de entrada 10-30 VCC, 50 mA máximo (no incluyendo corrientes de salida)
- Salida de voltaje 0-10, 0-5 VDC o PC personalizada; 10mA máx.

- Protección NEMA 4X, NEMA 6P, IP68

1.2 Recolección de datos obtenidos en campo

1.2.1 Implementación del sistema de medición

Para la colocación del sensor de medición en los pozos se instaló platinas en forma de L para sujetar los sensores, las cuales fueron fijadas mediante pernos en la pared de la clave de la tubería de llegada del interceptor, para la instalación de las platinas fueron necesarias herramientas menores, taladro, generador y una escalera.

Para el ingreso al interior del interceptor se usó el equipo de seguridad necesario para evitar el contacto directo con las sustancias que emanan del interceptor por su composición y servicio ya que transporta agua lluvia en combinación con las aguas servidas.



Figura 1.20: Platina estática en el pozo de revisión

Fuente: Autores



Figura 1.21: Platina móvil con sensor ultrasónico

Fuente: Autores



Figura 1.22: Herramientas y equipo para instalación de platinas

Fuente: Autores



Figura 1.23: Equipo de seguridad para ingreso a los pozos de revisión

Fuente: Autores



Figura 1.24: Equipo de medición para la tubería

Fuente: Autores

1.2.2 Instalación y recopilación de datos

Raspberry Pi: Se puede definir como un procesador compacto, de dimensiones reducidas y de bajo coste. El equipo solamente consta de una placa, la cual funciona como un ordenador común y está libre de accesorios los cuales son adaptados previo a su uso. Este equipo fue concebido con la finalidad de motivar a la enseñanza de informática en las escuelas.

Una de las diversas aplicaciones del Raspberry pi es el monitoreo ambiental, debido a sus pines, sus conexiones serial y USB puede conectarse a sensores de Ph, temperatura, humedad, conductividad eléctrica, calidad del aire, humedad del aire y estaciones meteorológicas, además se puede conectar a sensores análogos por medio de la placa arduino (Contreras, 2013).

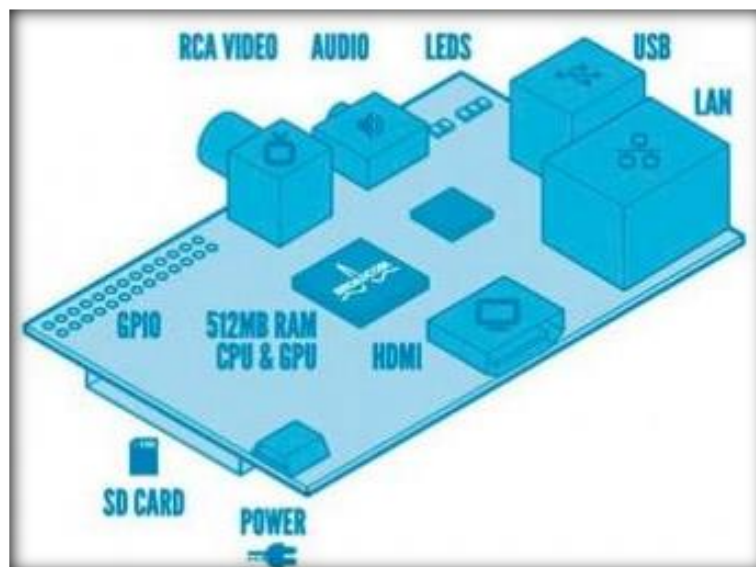


Figura 1.25: Esquema Raspberry Pi

Fuente: Computer hoy



Figura 1.26: Raspberry Pi

Fuente: Autores

Características técnicas:

- Un Chipset Broadcom BCM2835, que contiene un procesador central CPU ARM1176JZF –S a 700MHZ.
- Un procesador gráfico (GPU) VideoCore IV.
- Módulo de 512 MB de memoria RAM.
- Un conector de RJ45 conectado a un integrado lan9512 –jzx de SMSC que nos proporciona conectividad a 10/100 Mbps.
- 2 puertos USB 2.0
- Una salida analógica de audio estéreo por Jack de 3.5mm.
- Salida digital de video + audio HDMI.
- Salida analógica de video RCA.
- Pines de entrada y salida de propósito general.
- Conector de alimentación microUSB.
- Lector de tarjetas SD.

Arduino Uno r3: El Arduino consta de una placa principal de componentes eléctricos, donde se encuentran conectados los controladores principales que gestionan los demás complementos y circuitos ensamblados en la misma además es un sistema de adquisición de datos de hardware libre se puede instalar y ejecutar en sistemas operativos como Windows, OS (Sistema Operativo de Macintosh) y Linux, con lenguaje de programación de fácil comprensión y a la vez de una capacidad tan grande para adaptarlo a cualquier situación capaz de transmitir o recibir señales digitales que puede ser reutilizado en distintos proyectos además es de bajo costo.

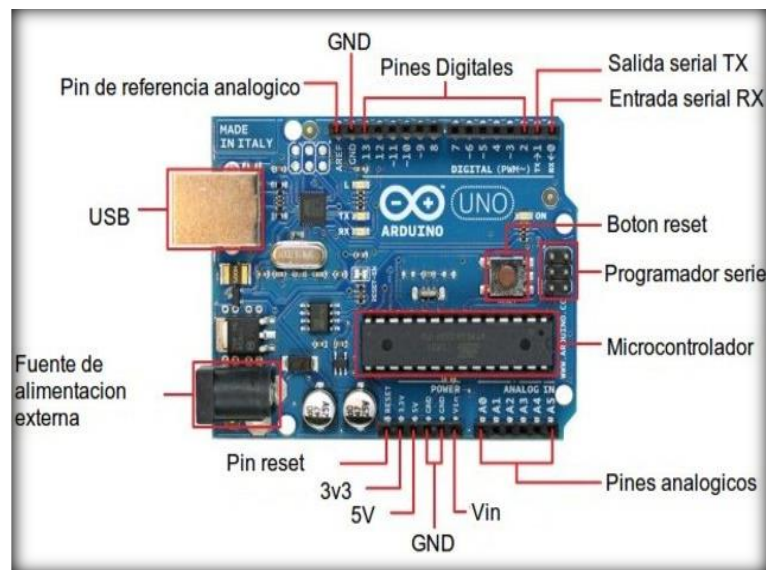


Figura 1.27: Esquema arduino uno r3

Fuente: Infootec.net

Sirve para controlar los distintos sensores que se encuentran conectados a la placa, por medio de instrucciones y parámetros que se establezca al conectar a un ordenador puede ser usado como controlador de un elemento como un motor que suba o baje una persiana o para transformar la información de una fuente en conjunto con el sensor ultrasónico que se puede usar es para graficar datos como se indica en la figura 1.29 (González, 2013).

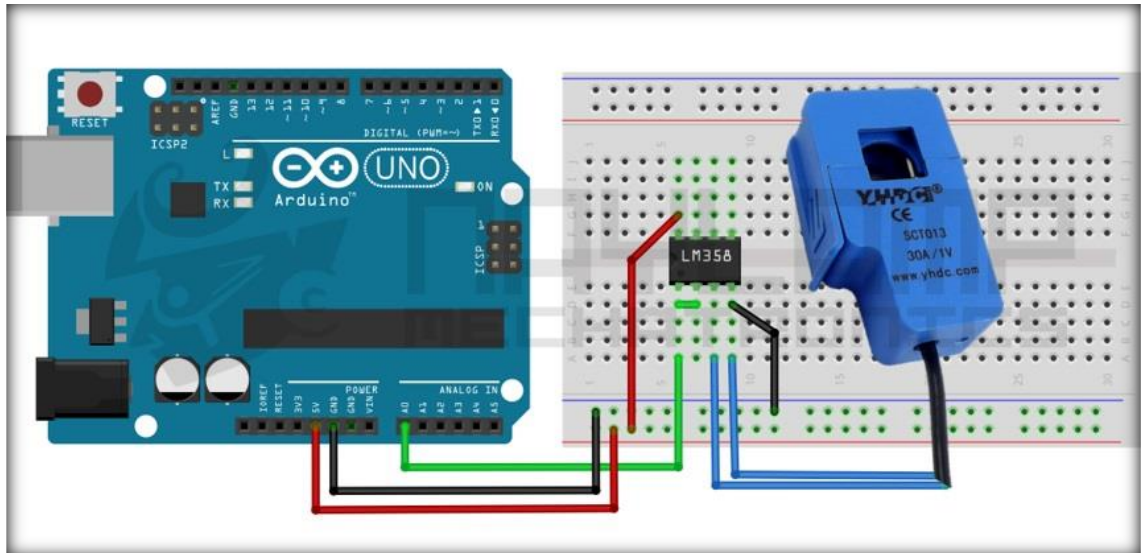


Figura 1.28: Arduino y sensor de corriente

Fuente: Naylamp mechatronics – Perú

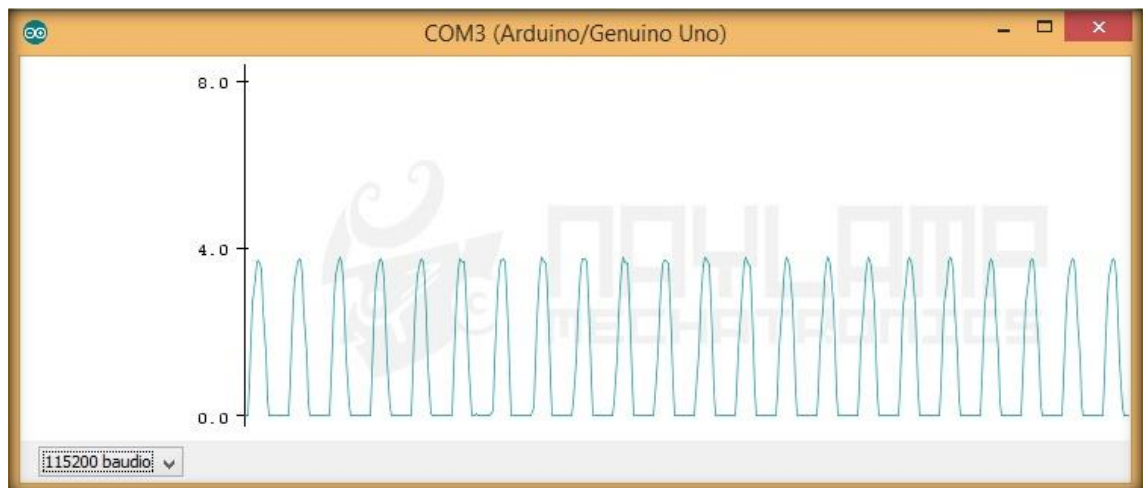


Figura 1.29: Ilustración del uso de sensor

Fuente: Naylamp Mechatronics – Perú

Entre los usos más comunes de este sistema de medición con sensores también se tiene el sistemas de medición como se indica en la figura 1.29 que muestra cómo son las medidas de un lector potencia y corriente alterna para la corriente que circula por un cable y las que el sensor entrega (Naylamp Mechatronics, 2016).

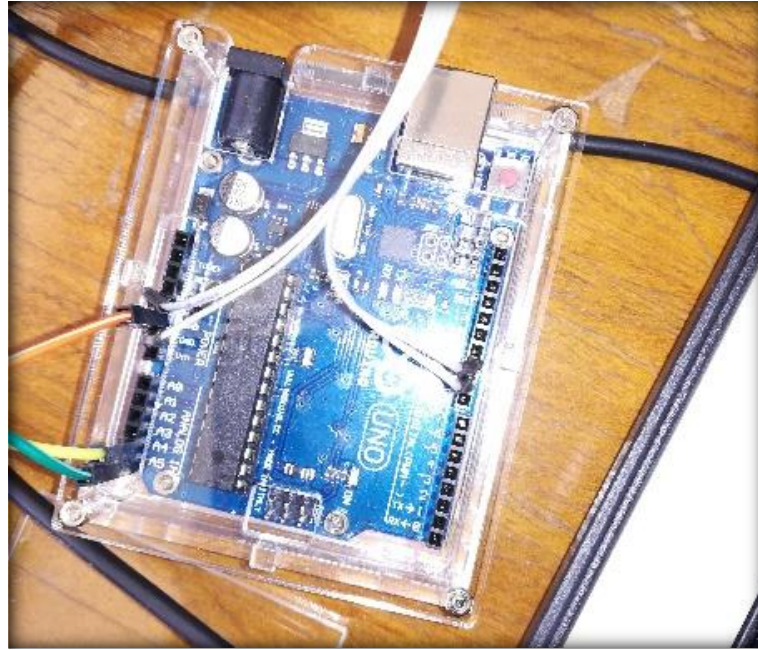


Figura 1.30: Arduino uno r3

Fuente: Autores

Características técnicas:

- Microcontrolador Atmega328
- Voltaje de operación 5V
- Voltaje de entrada (Recomendado) 7 – 12V
- Voltaje de entrada (Límite) 6 – 20V
- Pines para entrada- salida digital. 14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
- Pines de entrada analógica. 6
- Corriente continua por pin IO 40 mA
- Corriente continua en el pin 3.3V 50 mA
- Memoria Flash 32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
- SRAM 2 KB
- EEPROM 1 KB
- Frecuencia de reloj 16 MHz

1.3 Levantamiento de datos en campo

La recopilación de información se hizo en campo mediante el uso del equipo de medición que incluye un Arduino y un Raspberry Pi, el sensor ultrasónico HC-SR04 y una batería.

El sensor emite una señal ultrasónica midiendo el tiempo que se demora en ir y venir después de chocar con el obstáculo, en base al tiempo de demora se calcula la distancia obtenida, como se observa en la Ecuación 19.

$$D = t * \frac{v}{2} * \text{coeficiente de calibración} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$t = 2 * \frac{D}{v} \quad (\text{Ecuación 20})$$

donde:

t = tiempo

v = velocidad en

D = distancia entre sensor y objeto

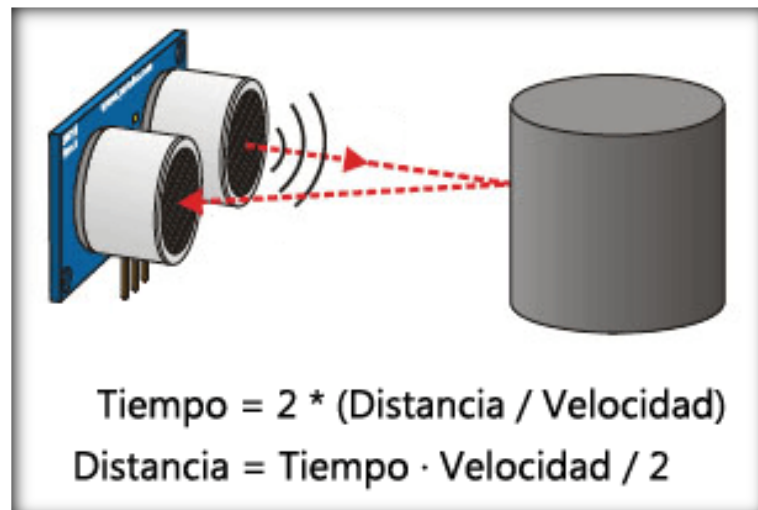


Figura 1. 31: Esquema de funcionamiento de sensor HC-SR04

Fuente: LUIS LLAMA- Ingeniería, informática y diseño

En este sistema de medición el sensor necesita de la placa Arduino (microcontrolador) que lee los datos entregados mediante el algoritmo de programación (anexo 1), y comunicación I2C (Circuito Interintegrado, es un protocolo de comunicación serial) con la placa Raspberry Pi (procesador), este sistema procesa 60 datos por minuto y para guardarlos en un archivo de formato CSV (tipo de documento en formato abierto sencillo para presentar datos en forma de tabla), este sistema embebido (sistema de computación diseñado para realizar funciones específicas) promedia los datos recopilados en 5 minutos que es el mismo intervalo de tiempo que el sensor de nivel de la Empresa Etapa EP guarda los datos del pozo y por cada día de estudio se tiene un total de 288 datos.

Al usar los datos recibidos a cada segundo por el sensor se tendría como resultado una curva con picos altos y bajos dificultando el entendimiento del comportamiento lo cual se usa el promedio en este caso de estudio cada 5 min para que la curva tenga menos picos pero siguiendo la misma tendencia para interpretar los datos de forma adecuada como se indica en la figura 1.31.

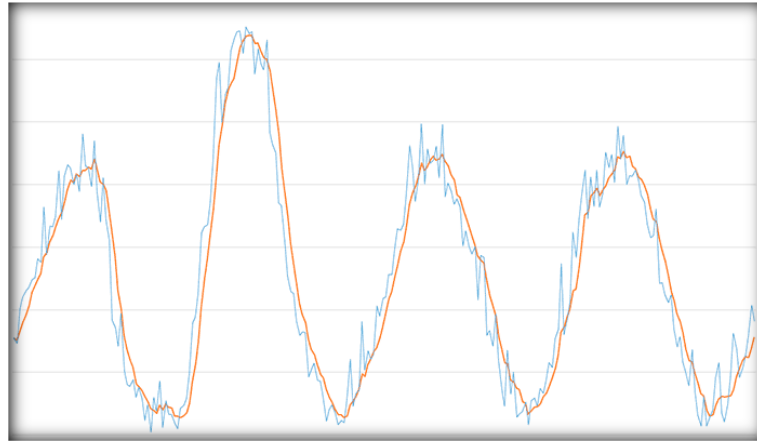


Figura 1.32: Suavizado de una curva

Fuente: LUIS LLAMA- Ingeniería, informática y diseño

Al inicio de cada aforo se calibró el sensor instalado comparándolo con la medición manual de la altura del agua en la tubería, este proceso se realiza debido a que la velocidad de la señal ultrasónica depende del ambiente en el que se realizan las mediciones. En este estudio, el sensor se instala dentro de la tubería del interceptor de aguas residuales, por lo que, la velocidad de la onda ultrasónica puede variar por la presencia de gases y variación de la temperatura, siendo necesario verificar y comparar el dato entregado por el equipo con el nivel de agua real en la tubería.

Para este proceso se usó un coeficiente de calibración (medida manual dividida para la medida del sensor) el mismo que se calculaba en el momento de instalar el sensor en la tubería y se introducía en el algoritmo de programación en la parte *double coef* (anexo 1) que influye directamente como se indica en la ecuación 19 ya que este coeficiente varía debido a la densidad del interceptor.

Se realizó también la inspección manual de las alturas de datos a largo de todo el aforo para comparar con los datos obtenidos por el sensor y así verificar el buen funcionamiento del mismo.



Figura 1.33: Equipo de medición de altura en la tubería

Fuente: Autores

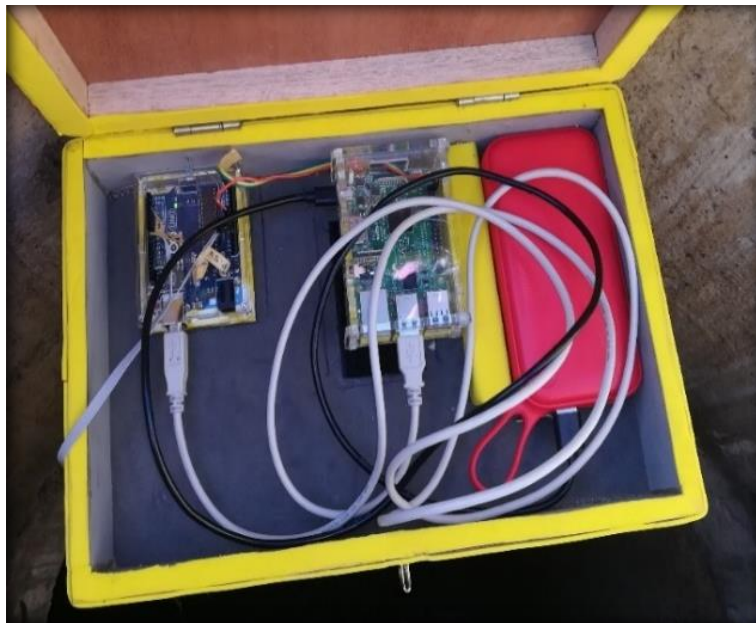


Figura 1.34: Equipo de medición de altura en la tubería

Fuente: Autores



Figura 1.35: Sensor ultrasónico de medición en la tubería

Fuente: Autores

Con los datos recolectados en cada aforo y guardados en el Raspberry Pi se exportó al software Excel para analizarlos, ordenarlos en tablas con su respectiva fecha, hora y media obtenida en el aforo y también la medida obtenida por el sensor de altura instalado por la empresa Etapa Ep. Este procedimiento se realizó conectando el Raspberry Pi a una pantalla mediante un cable de conexión HDMI, de esta manera se logró exportar los datos del Raspberry Pi a un flash memory y así poder trabajar con ellos.



Figura 1.36: Calibración del sensor

Fuente: Autores

Se levantó también la información de los pozos con un GPS para determinar la ubicación en el sistema WGS 84, zona 17 sur (coordenadas geográficas mundial que

permite localizar cualquier punto de la tierra sin necesitar otro punto de referencia por medio de tres unidades dadas x,y,z) de la tapa del interceptor estudiado. También se levantó en campo las características de los pozos como la distancia que existe entre la tapa superficial del pozo hasta la clave para poder determinar la pendiente necesaria para calcular en caudal que por este fluye.

Levantamiento de datos geográficos

GPS Garmin ETrex 20x

Es un dispositivo de fácil uso, accesibilidad y buena durabilidad y con buena estética como se indica en la figura 1.37.



Figura 1.37: Esquema GPS garmin etrex 20x

Fuente: Activa GPS



Figura 1.38: GPS garmin en la tapa superficial del pozo estudiado

Fuente: Autores



Figura 1.39: GPS garmin con información obtenidas del pozo estudiado

Fuente: Autores

Características técnicas:

- Mapa base mundial
- Pantalla de 2,2 pulgadas de 65.000 colores, que puede leerse con la luz directa del sol
- Satélites GPS y GLONASS para adquirir la posición de forma más rápida

- Geocaching sin papeles
- Autonomía de la batería de 25 horas con 2 pilas AA
- Con una precisión de hasta 2m en Z y de 0.5m en X, Y. (ActivaGPS, 2018)

1.4 Características de los interceptores

La ubicación de cada interceptor estudiado como se muestra en la figura 1.35 y figura 1.36 es parte de la información que se levantó en campo.

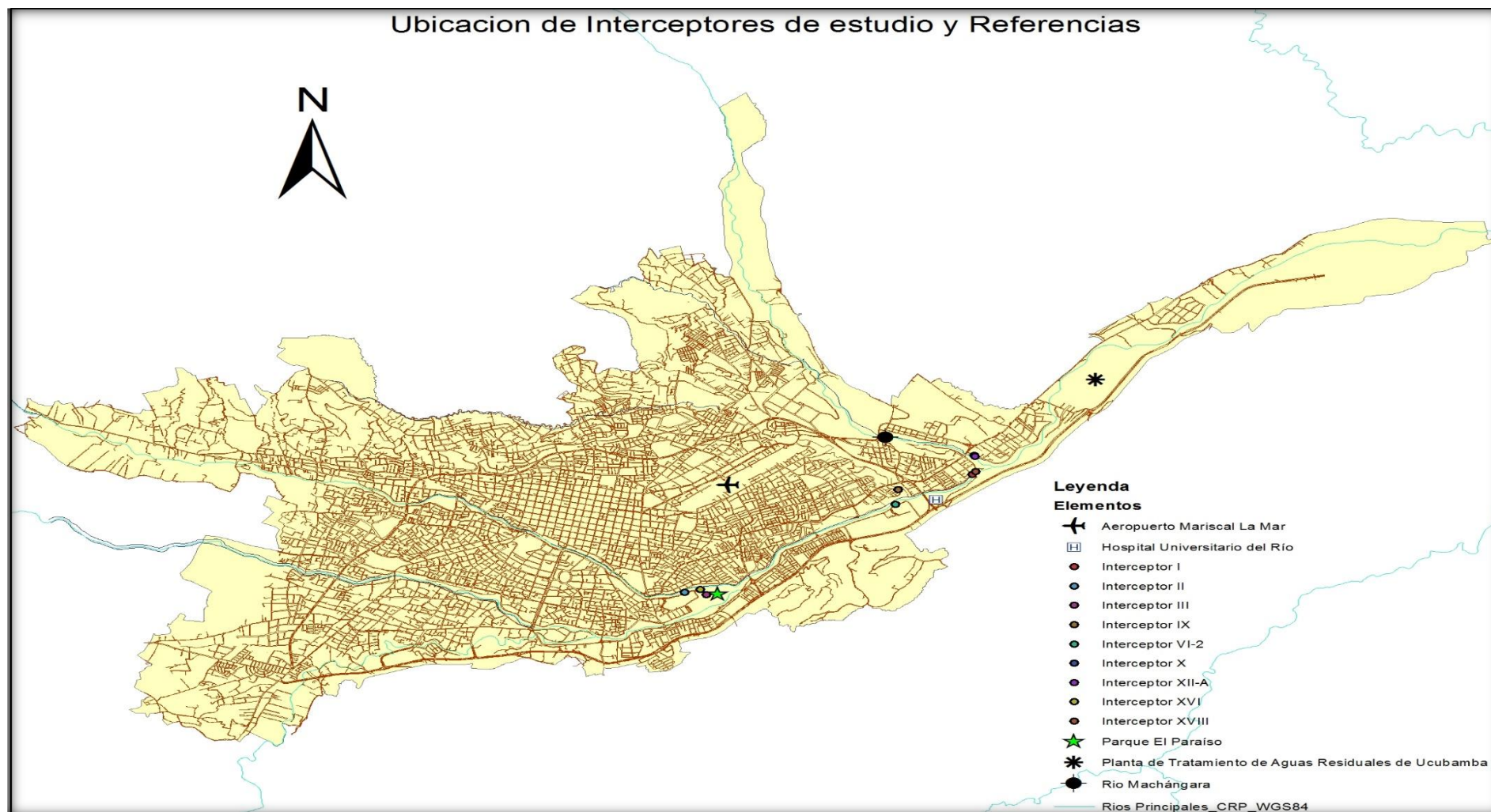


Figura 1.40: Ubicación de interceptores de estudio

Fuente: Autores

Al levantar la información de los interceptores también se obtuvo la información de las características del pozo de revisión como sección transversal y sección longitudinal también la altura del sensor hasta en fondo del pozo como se indica a continuación.

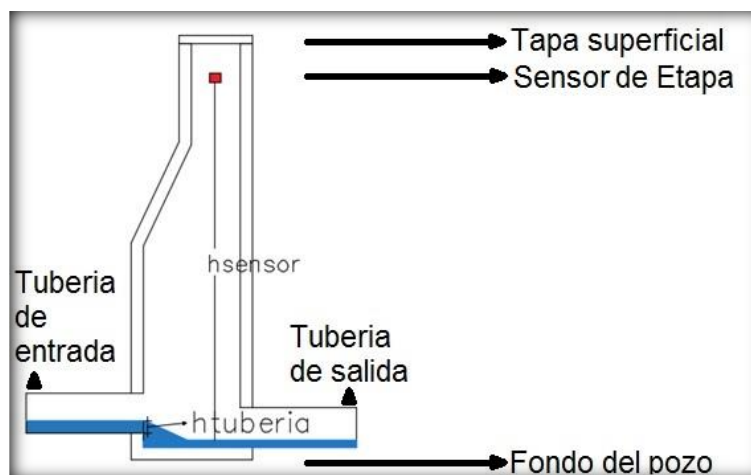


Figura 1. 42: Esquema pozo de revisión con sus características

Fuente: Autores

Interceptor I

Ubicación: Margen izquierdo río Tomebamba, Av. Cumandá y calle Ramayana, cerca de la vía

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.888100

Longitud: -78.956100

Ubicación UTM:

X: 727146.1000

Y: 9680503.1000

Altitud: 2441 m

Sección en planta 0.90 ancho por 0.90 largo [m]

Altura de la sección del pozo..... 1.10 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 1.25 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 1.25 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta el sensor de ETAPA..... 3.30 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta la tapa superficial..... 3.85 [m]

Interceptor II

Ubicación: Margen izquierdo río Tomebamba, junto al sifón para cruzar el río

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.909267

Longitud: -78.991267

Ubicación UTM:

X: 723281.4000

Y: 9678237.1000

Altitud: 2491 m

Sección circular en planta 0.95 [m]

Altura de la sección del pozo..... 1.20 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 50 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 50 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta el sensor de ETAPA..... 1.95 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta la tapa superficial..... 2.60 [m]

Interceptor III

Ubicación: Margen izquierdo río Yanuncay, interior del Parque El Paraíso

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.909700

Longitud: -78.988700

Ubicación UTM:

X: 723566.7000

Y: 9678188.7000

Altitud: 2490 m

Sección circular en planta 1.25 [m]

Altura de la sección del pozo..... 1.10 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 0.85 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 0.90 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta el sensor de ETAPA..... 1.80 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta la tapa superficial..... 2.55 [m]

Interceptor IX

Ubicación: Margen derecho Qda. Milchichig, Av. Tahuantinsuyo (Cdla. Los Eucaliptos)

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.891367

Longitud: -78.965533

Ubicación UTM:

X: 726146.5000

Y: 9680211.8000

Altitud: 2455 m

Sección circular en planta 0.90 [m]

Altura de la sección del pozo..... 1.10 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 0.65 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 0.65 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta el sensor de ETAPA..... 3.10 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta la tapa superficial..... 3.70 [m]

Interceptor VI-2

Ubicación: Margen derecho rio Tomebamba, Av. 24 de Mayo (sector Hospital del IEES)

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.893917

Longitud: -78.965817

Ubicación UTM:

X: 726114.5000

Y: 9679929.8000

Altitud: 2449 m

Sección circular en planta 0.90 [m]

Altura de la sección del pozo..... 0.40 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 0.60 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 0.60 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta el sensor de ETAPA..... 3.00 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta la tapa superficial..... 3.45 [m]

Interceptor X

Ubicación: Margen izquierdo rio Machangara, Calle Roma y Av. Gonzales Suarez, pozo en la vía

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.885383

Longitud: -78.956333

Ubicación UTM:

X: 727170.8000

Y: 9680871.7000

Altitud: 2444 m

Sección circular en planta 0.90 [m]

Altura de la sección del pozo..... 1.00 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 0.50 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 0.50 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta sensor de ETAPA..... 2.00 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta la tapa superficial..... 2.45 [m]

Interceptor XII-A

Ubicación: Margen izquierdo rio Machangara, Calle Roma y Av. Gonzales Suarez, área verde cerca a la caminera

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.885600

Longitud: -78.956200

Ubicación UTM:

X: 727185.6000

Y: 9680847.7000

Altitud: 2441 m

Sección en planta..... 1.00 ancho por 1.30 largo [m]

Altura de la sección del pozo..... 1.20 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 0.65 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 0.65 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta el sensor de ETAPA..... 2.40 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta la tapa superficial..... 3.00 [m]

Interceptor XVI

Ubicación: Margen izquierdo rio Tomebamba, Margen derecho rio Tomebamba (antes del sifón para cruzar el rio)

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.908750

Longitud: -78.989433

Ubicación UTM:

X: 723483.5000

Y: 9678293.9000

Altitud: 2490 m

Sección en planta..... 1.40 ancho por 1.40 largo [m]

Altura de la sección del pozo..... 1.85 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 0.65 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 0.75 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta el sensor de ETAPA..... 2.55 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta la tapa superficial..... 3.05 [m]

Interceptor XVIII

Ubicación: Margen izquierdo rio Tomebamba, Av. Cumandá y calle Ramayana, cerca de la caminera

Ubicación WGS 84:

Latitud: -2.888200

Longitud: -78.956133

Ubicación UTM:

X: 727192.5000

Y: 9680560.2000

Altitud: 2441 m

Sección en planta..... 1.60 ancho por 1.65 largo [m]

Altura de la sección del pozo..... 1.30 [m]

Diámetro de la tubería de entrada..... 0.90 [m]

Diámetro de la tubería de salida..... 0.90 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta el sensor de ETAPA..... 2.30 [m]

Altura desde el fondo del pozo hasta tapa superficial..... 2.75 [m]

Tabulación de datos levantados en campo

CAPÍTULO II

CORRELACIÓN DE ALTURAS PARA OBTENER LA ECUACIÓN DE AJUSTE

2.1 Organización de la información obtenida en campo

Una vez que se levantó de información en los interceptores de estudio por un tiempo de 24 hora consecutivas por tres periodos no continuos, el aforo con el sensor toma una altura de agua cada 5 minutos que es el resultado de un promedio de alturas medidas por el sensor cada segundo. En cada día de medición se obtiene en promedio un total de 288 datos por cada periodo.

Los datos obtenidos se clasificaron por hora día y fecha de medición, con la finalidad de correlacionar estas alturas de agua en la tubería con las alturas de agua en los pozos medidos por el sensor de nivel instalado por la Empresa Etapa Ep.

Para realizar la correlación de las alturas obtenidas se utilizó una correlación lineal entre la altura de agua en la tubería vs altura de agua en el pozo mediante el software Excel, insertando una gráfica de dispersión, de la cual se obtiene la ecuación lineal y R^2 que es el coeficiente de correlación, un valor más cercano a uno indica un mejor ajuste de la recta.

Los resultados obtenidos de dichas correlaciones son los siguientes:

2.2 Curvas de cada interceptor de: nivel de tubería vs tiempo, nivel de pozo vs tiempo y nivel de tubería vs nivel de pozo

A continuación se presentan las gráficas 2.1 al 2.27 las que indican el comportamiento de la altura de flujo en la tubería con el tiempo, la altura de agua en el pozo con el tiempo, de cada día que se hizo el aforo en cada uno de los interceptores. Se muestra la gráfica de un solo día y los otros días que se hizo el aforo se muestra en el anexo 2 hasta el anexo 10, También se presentan las gráficas que indican cual es la relación que existe entre la altura de flujo en el pozo vs el nivel de flujo en la tubería obteniendo su respectiva ecuación y el coeficiente de correlación (R^2).

Interceptor I

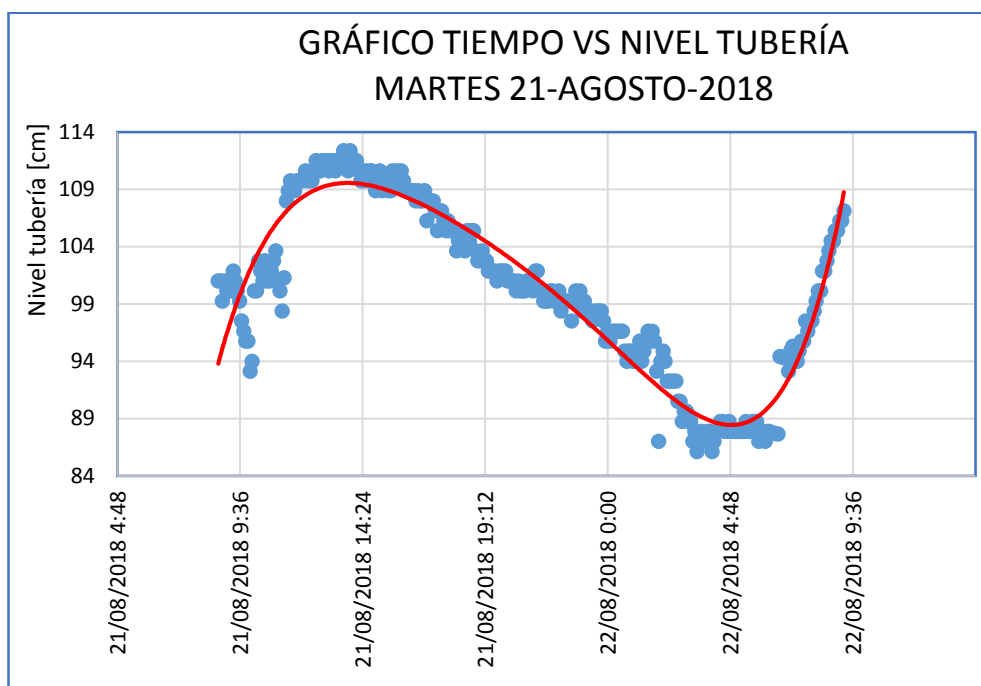


Figura 2.1: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor I, día 1

Fuente: Autores

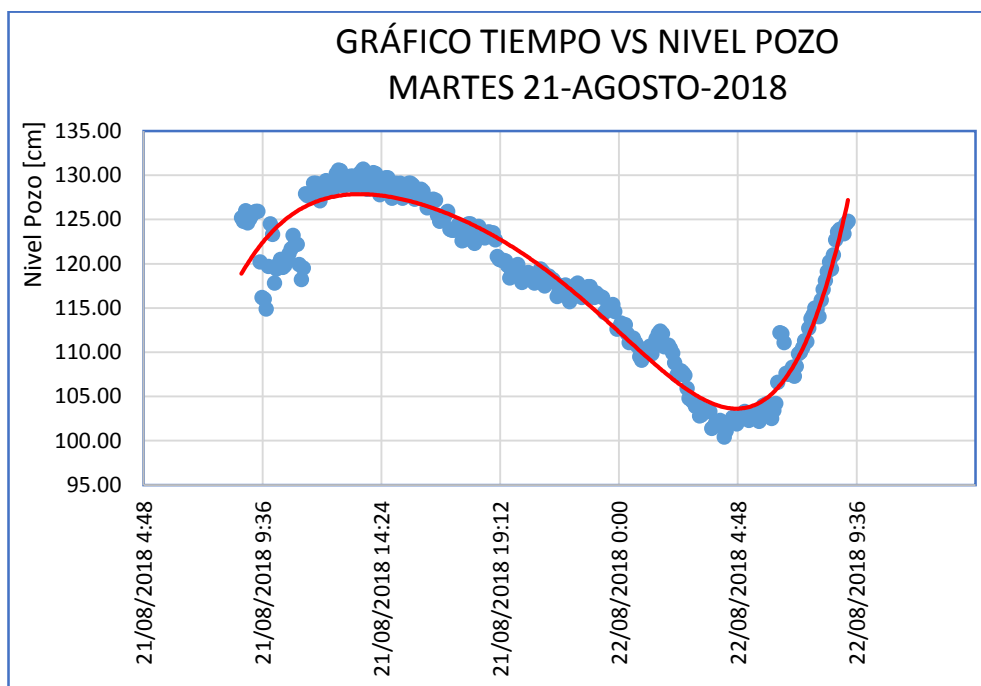


Figura 2.2: Tiempo vs nivel de altura flujo en el pozo, Interceptor I, día 1

Fuente: Autores

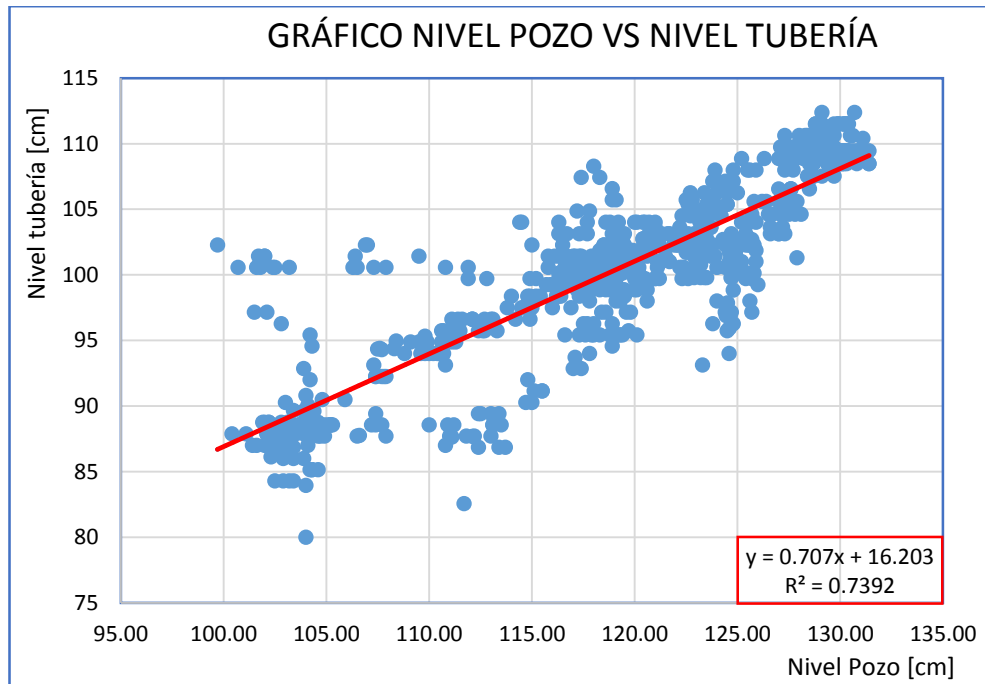


Figura 2.3: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor I

Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.707x + 16.203$

(Ecu 21)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.7392$

Conclusiones:

Al comparar las curvas de nivel de tubería vs tiempo y nivel de pozo vs tiempo se observa que los datos siguen la misma tendencia. Se registró los niveles de agua más altos entre las 11:30 y las 16:00, y los más bajos entre 2:55 y las 6:20, estos picos son similares en las dos curvas. En la relación de alturas de los dos sensores instalados se obtiene una buena correlación mayor al 50%.

Interceptor II

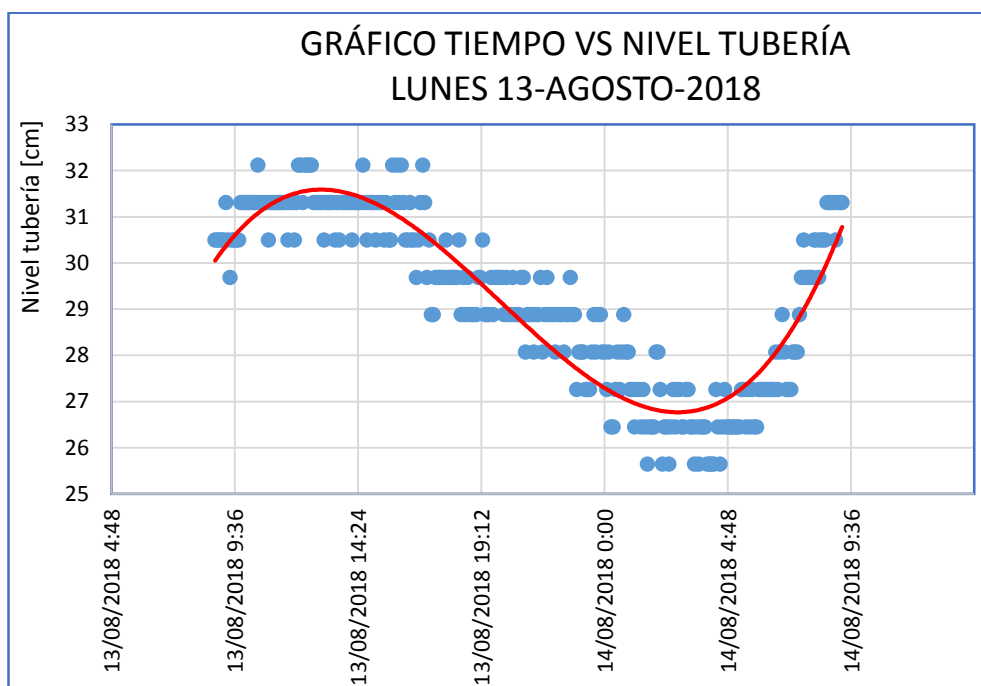


Figura 2.4: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor II, día 1

Fuente: Autores

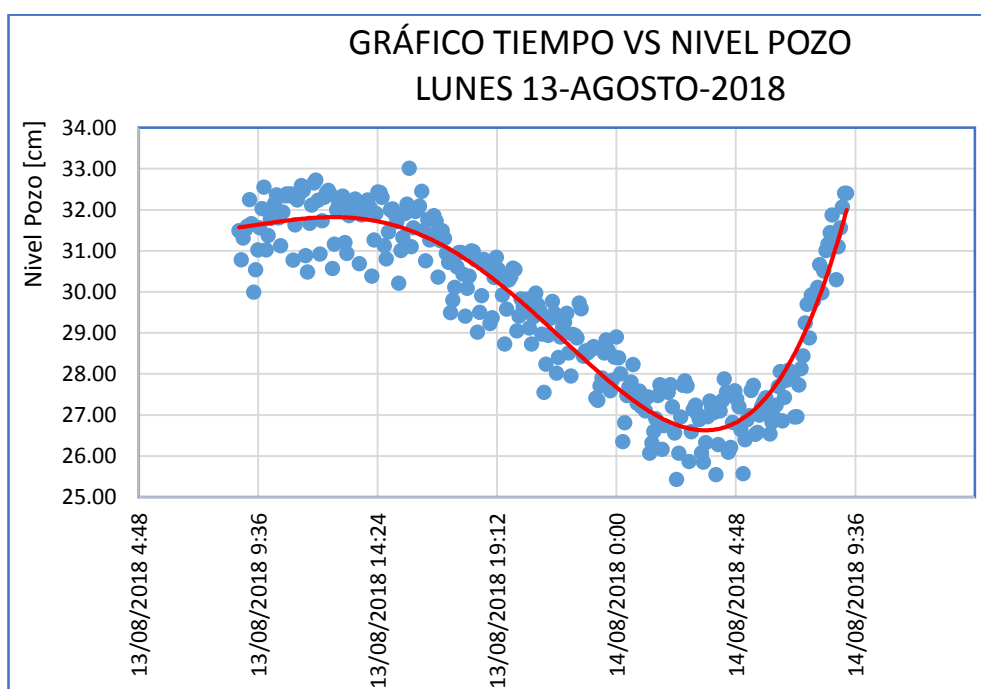


Figura 2.5: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor II, día 1

Fuente: Autores

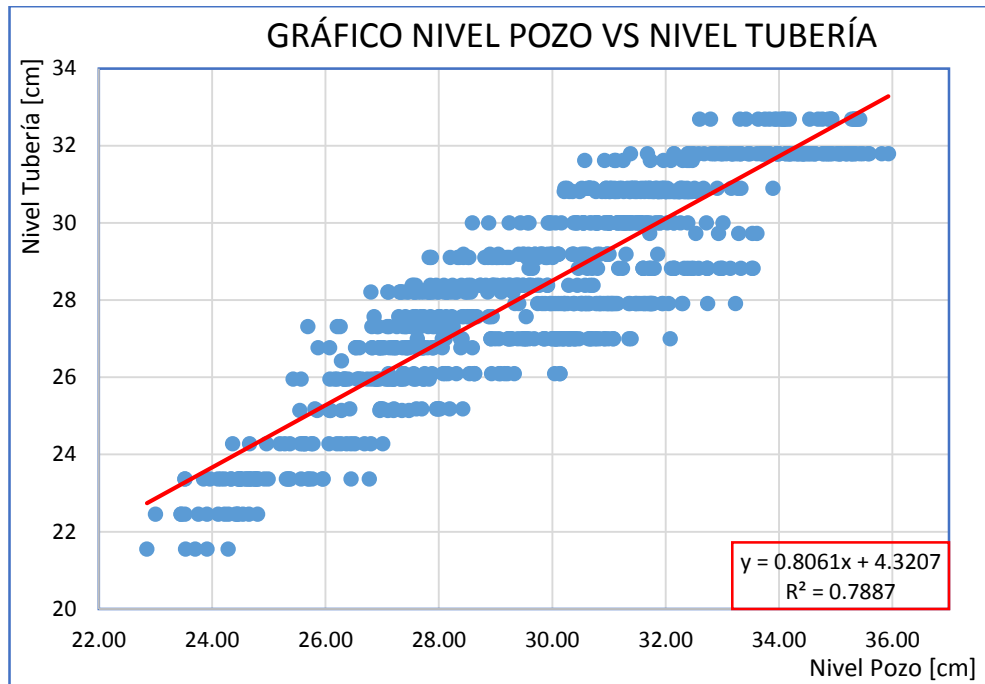


Figura 2.6: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor II

Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.8061x + 4.3207$

(Ecu 22)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.7887$

Conclusiones:

Las gráficas de tiempo vs nivel indican que el comportamiento de agua en la tubería y en el pozo es similar se observa también que la mayor altura de agua está entre las 12:00 horas hasta las 13:00 horas y que la menor altura esta desde las 02:15 horas hasta las 04:15 horas, al observar la relación de las alturas obtenidas por los sensores instalados indican un coeficiente de correlación buena e ideal mayor al 50%.

Interceptor III

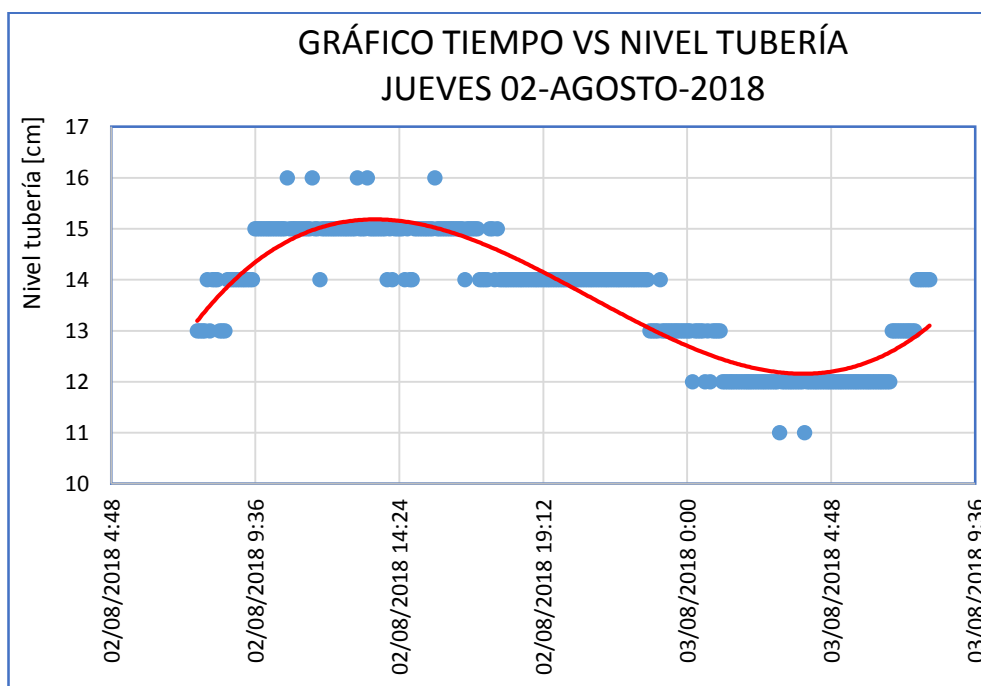


Figura 2.7: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor III, día 1

Fuente: Autores

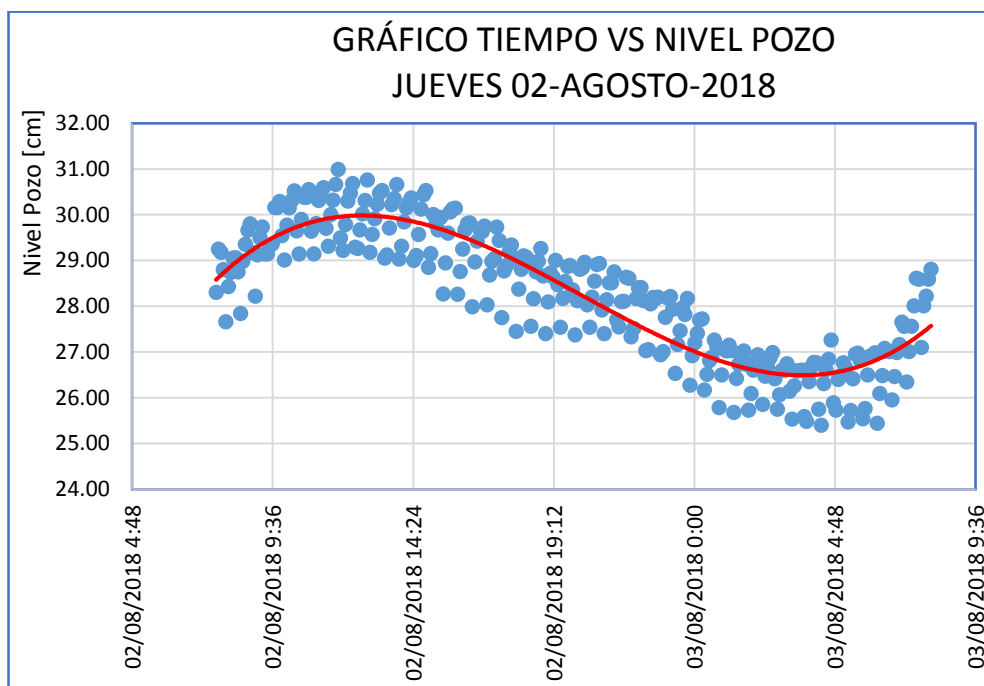


Figura 2.8: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor III, día 1

Fuente: Autores

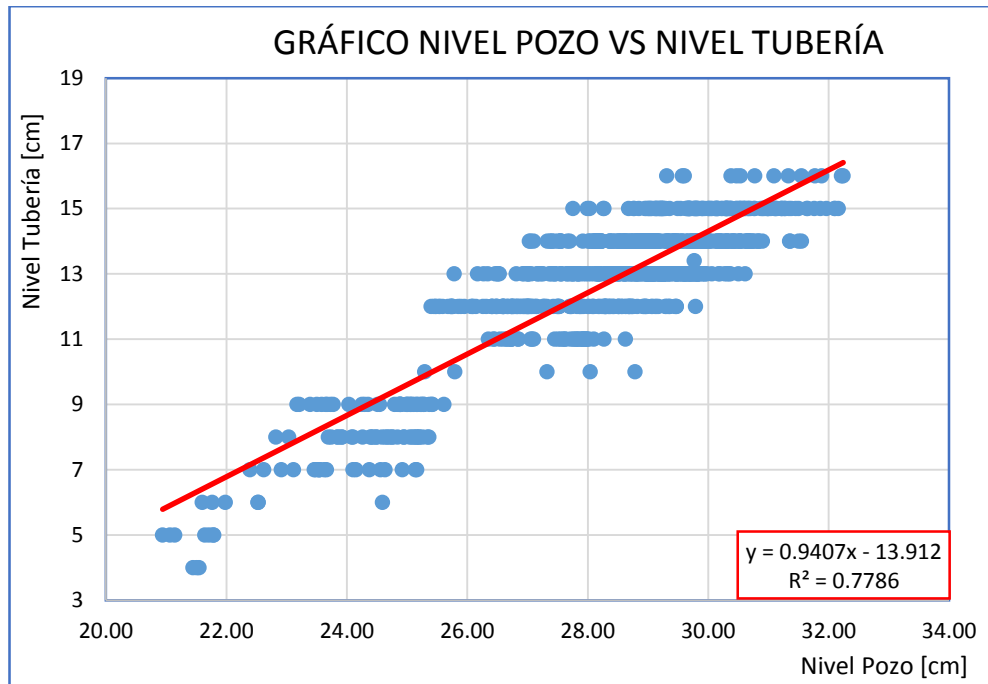


Figura 2.9: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor III

Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.9407x - 13.912$

(Ecu 23)

Coeficiente de correlación $R^2 = 0.7786$

Conclusiones:

Las curvas de tiempo vs nivel de agua en los dos sensores instalados son similares indicando el mismo comportamiento y el pico de altura más alto de agua se da desde la 13:00 horas hasta las 14:00 horas y la altura de agua más baja de agua se da desde las 03:00 horas hasta las 05:00 horas, al relacionar las alturas de agua de los dos sensores instalados se obtuvo un coeficiente de correlación buena mayor al 50%.

Interceptor VI-2

Datos recolectados por los sensores instalados

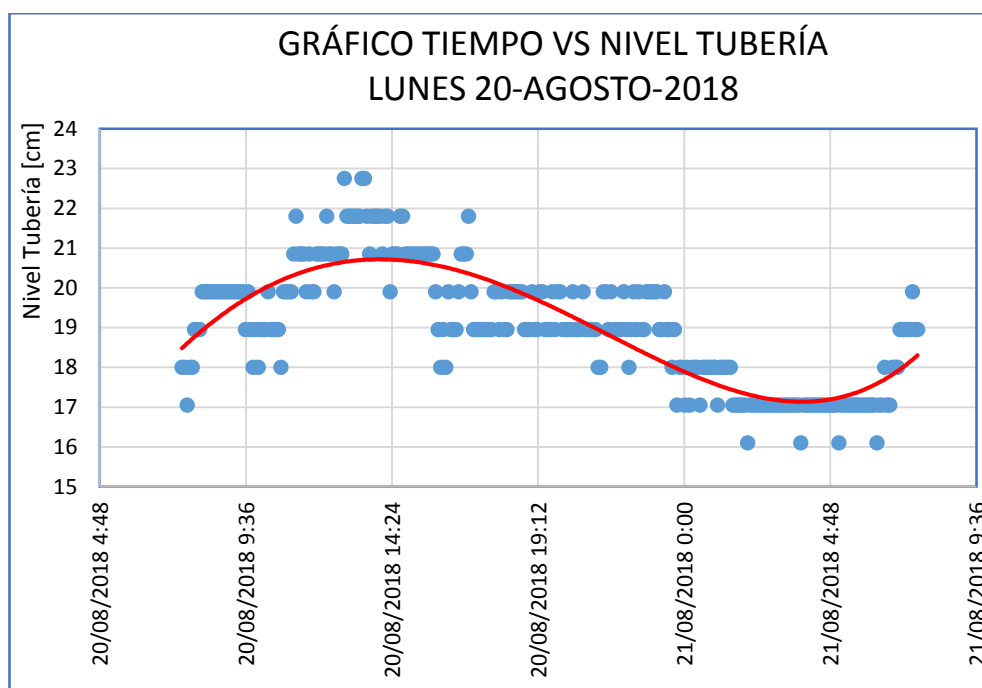


Figura 2.10: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor VI-2, día 1

Fuente: Autores

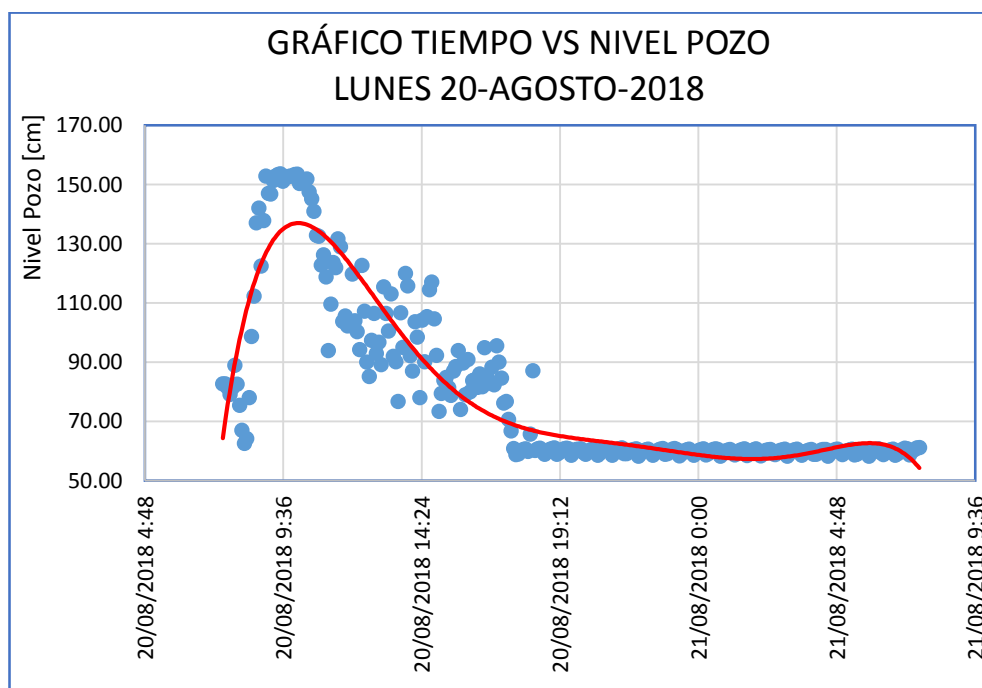


Figura 2.11: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor VI-2, día 1

Fuente: Autores

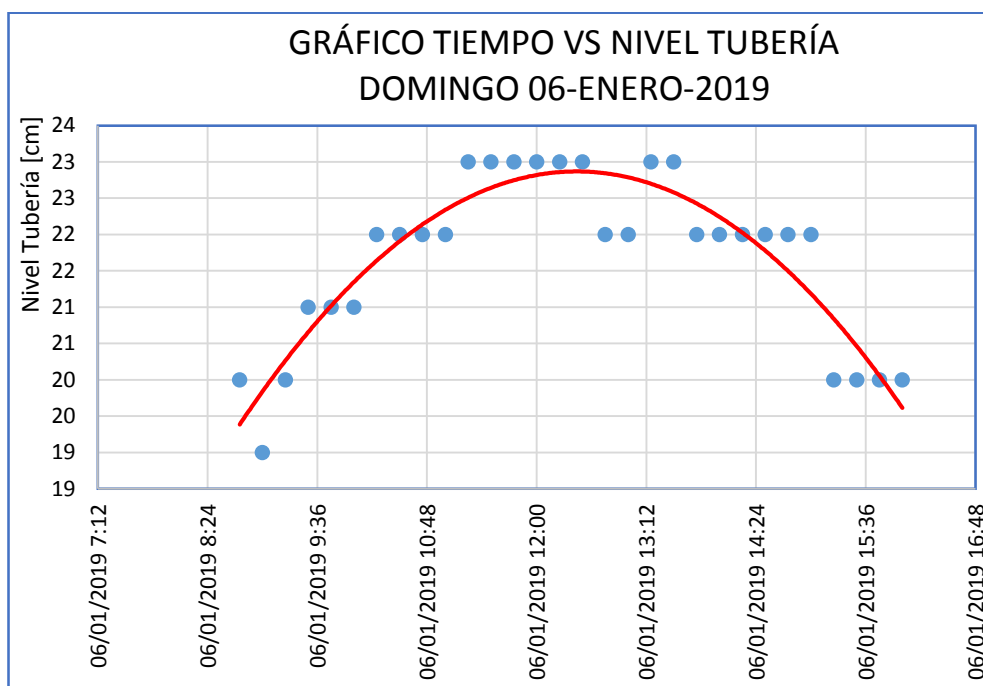
Datos recolectados de forma manual

Figura 2.12: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor VI-2, día 4

Fuente: Autores

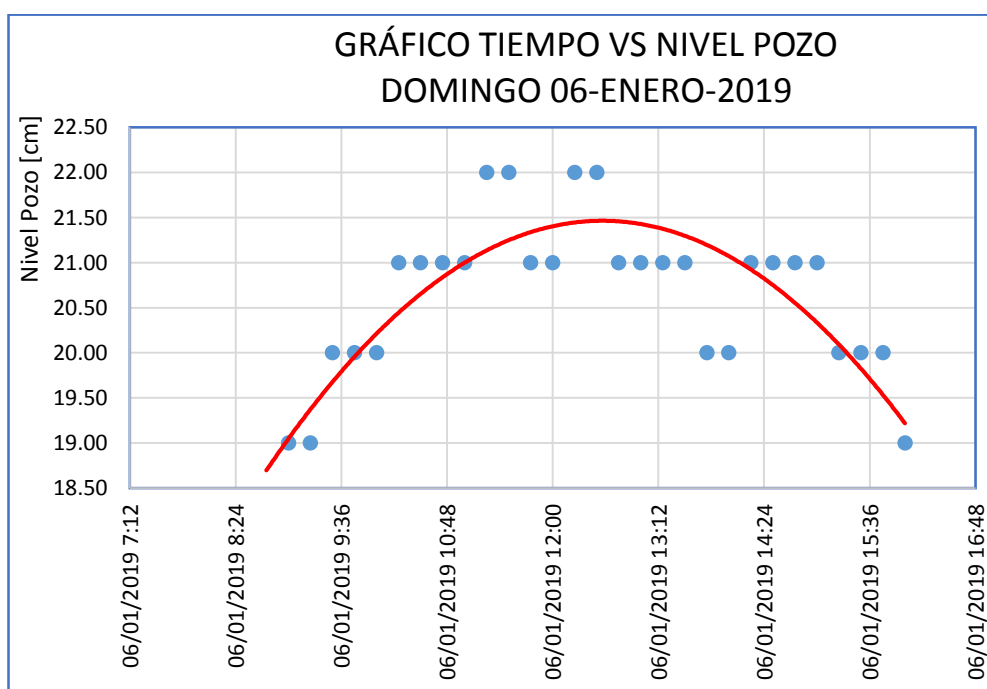


Figura 2.13: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor VI-2, día 4

Fuente: Autores

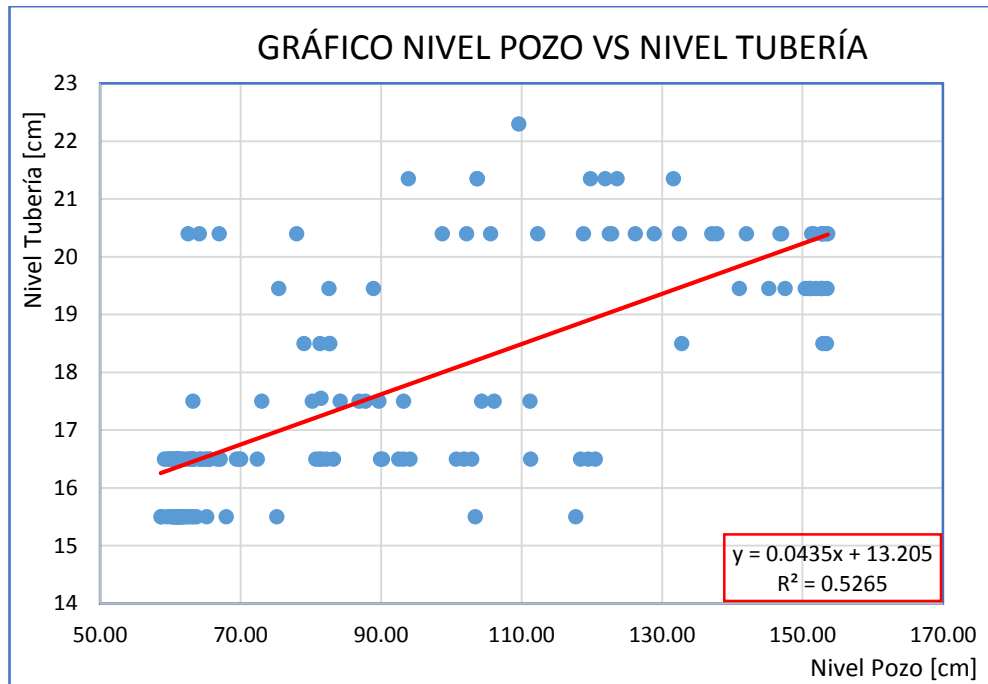


Figura 2.14: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor VI-2

Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.0435x + 13.205$ (Ecu 24)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.5265$

Conclusiones:

Al observar las curvas obtenidas por los sensores instalados en la hora de mayor altura de agua son similares, sin embargo cuando el nivel de agua es menor, el sensor instalado por la Empresa Etapa EP tiene un comportamiento diferente al instalado en la tubería, probablemente porque la onda ultrasónica choca con las paredes del pozo o con la media caña del interior del interceptor. Para el estudio del interceptor se hizo una medición adicional de manera manual en la hora de mayor caudal como es desde las 08:00 horas hasta las 14:00 horas para hallar una relación entre la altura del agua en la tubería y la altura que debería medir el sensor del pozo.

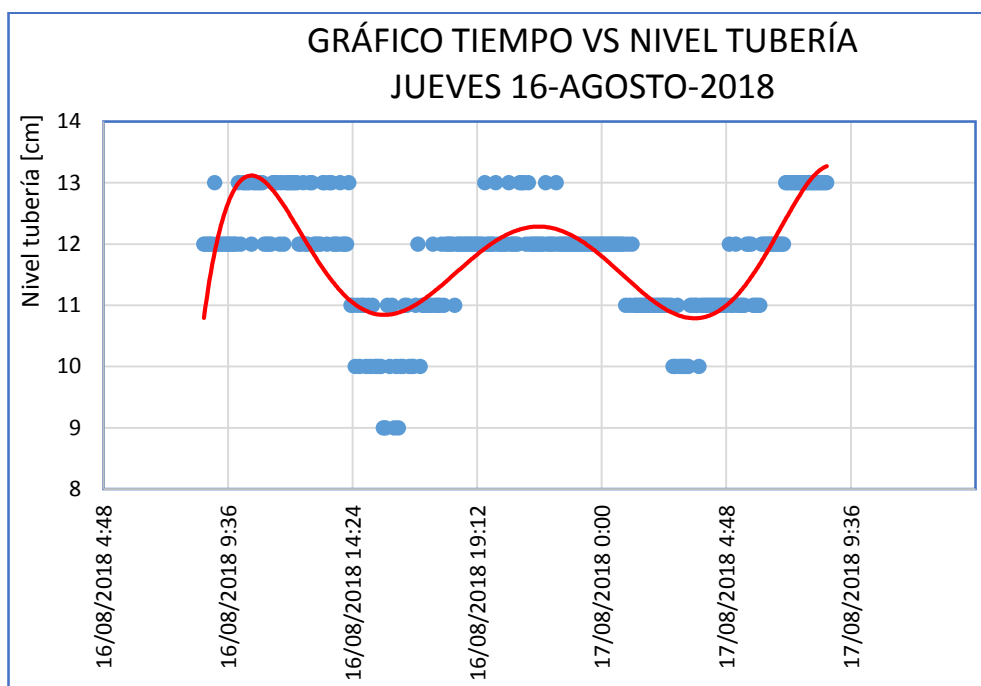
Interceptor IX

Figura 2.15: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor IX, día 1

Fuente: Autores

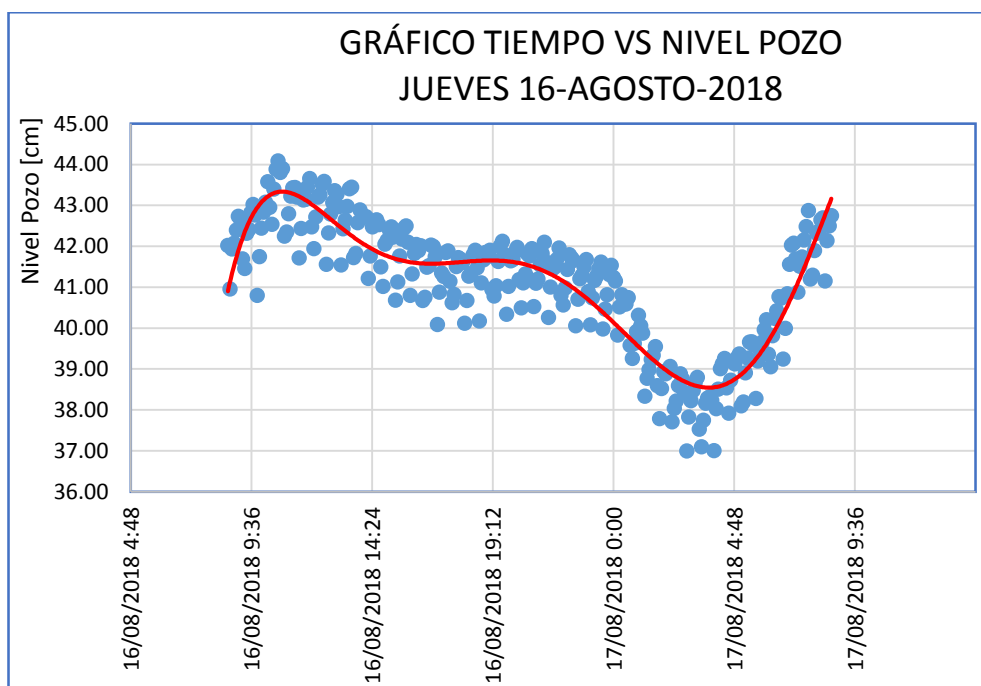


Figura 2.16: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor IX, día 1

Fuente: Autores

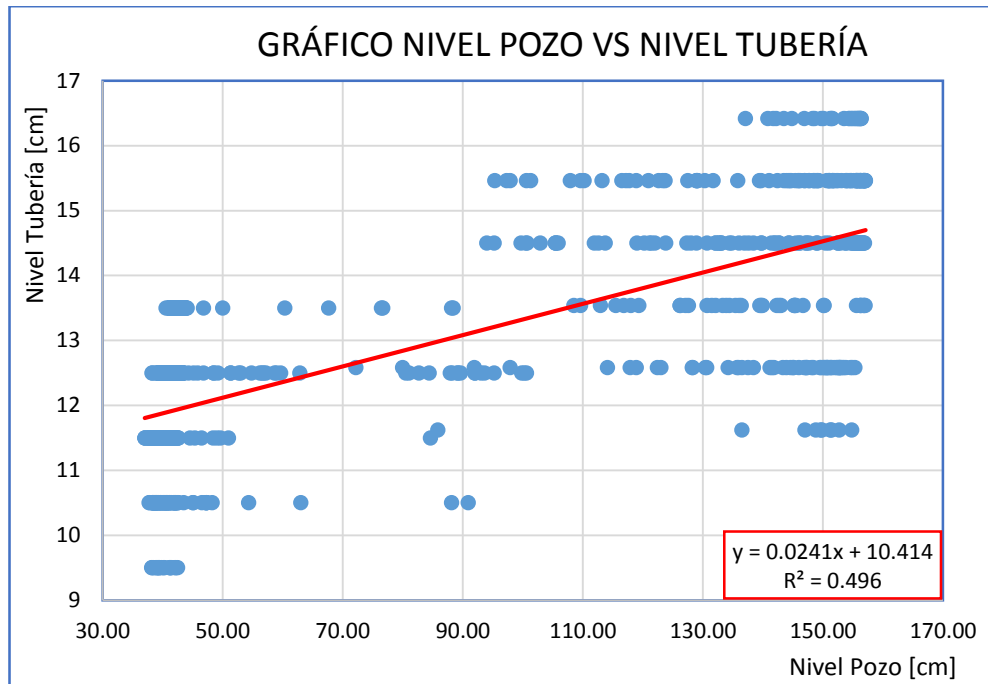


Figura 2.17: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor IX

Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.0241x + 10.414$

(Ecu 25)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.496$

Conclusiones:

Las curvas de tiempo vs altura obtenidas por los dos sensores tienen variación en la curva de tendencia, sin embargo, el coeficiente de correlación tiene un valor cercano al 50%. La hora de mayor altura de agua desde las 10:30 horas hasta las 11:30 horas y la menor altura desde las 03:00 horas hasta las 04:00 horas.

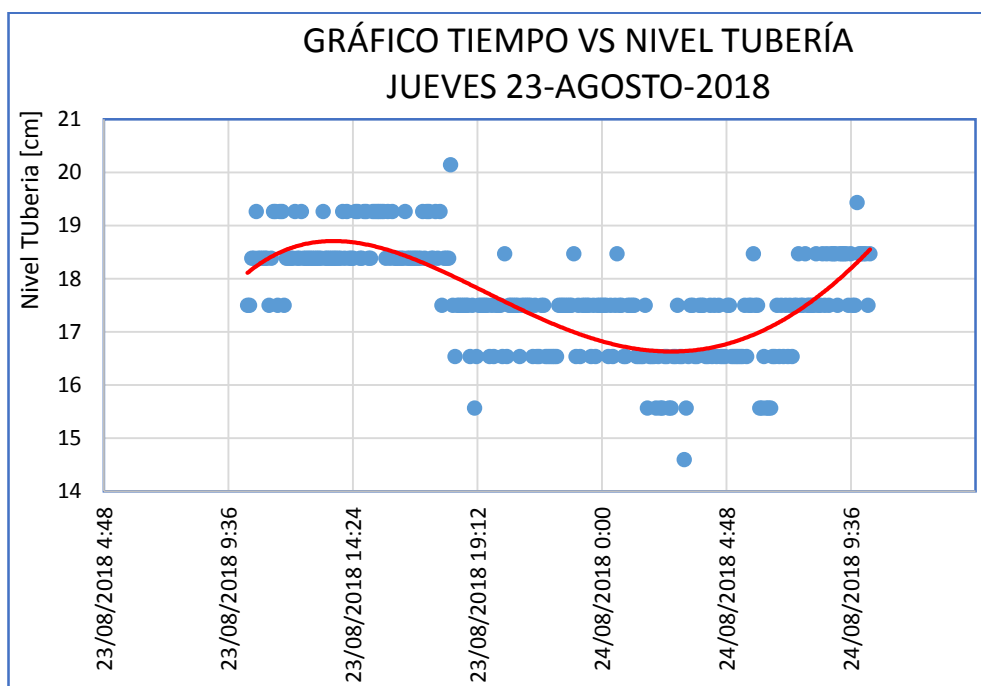
Interceptor X

Figura 2.18: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor X, día 1

Fuente: Autores

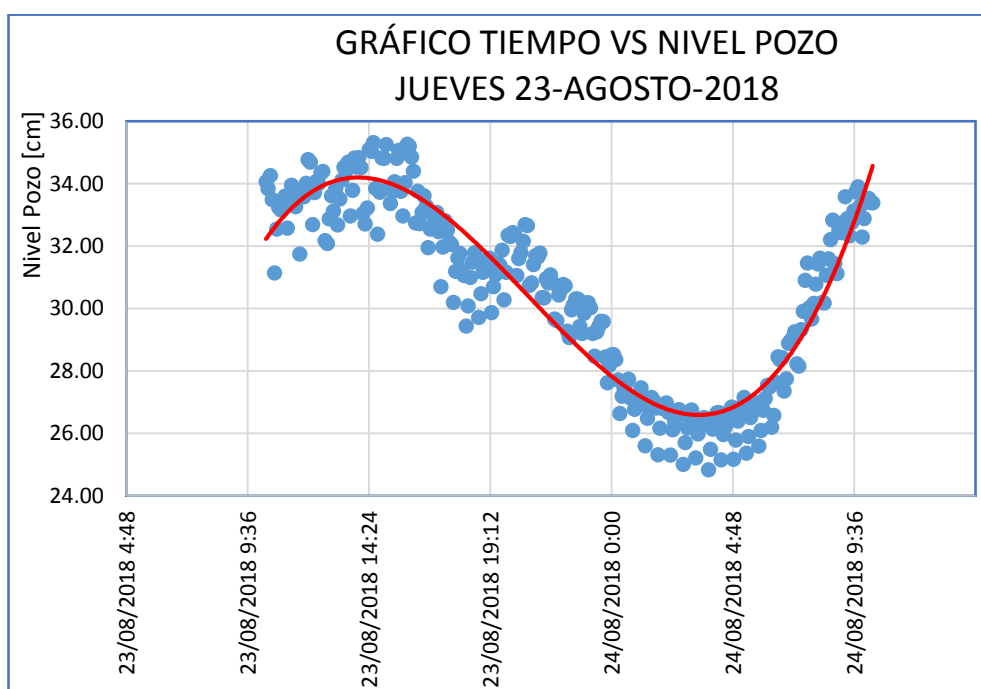


Figura 2.19: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor X, día 1

Fuente: Autores

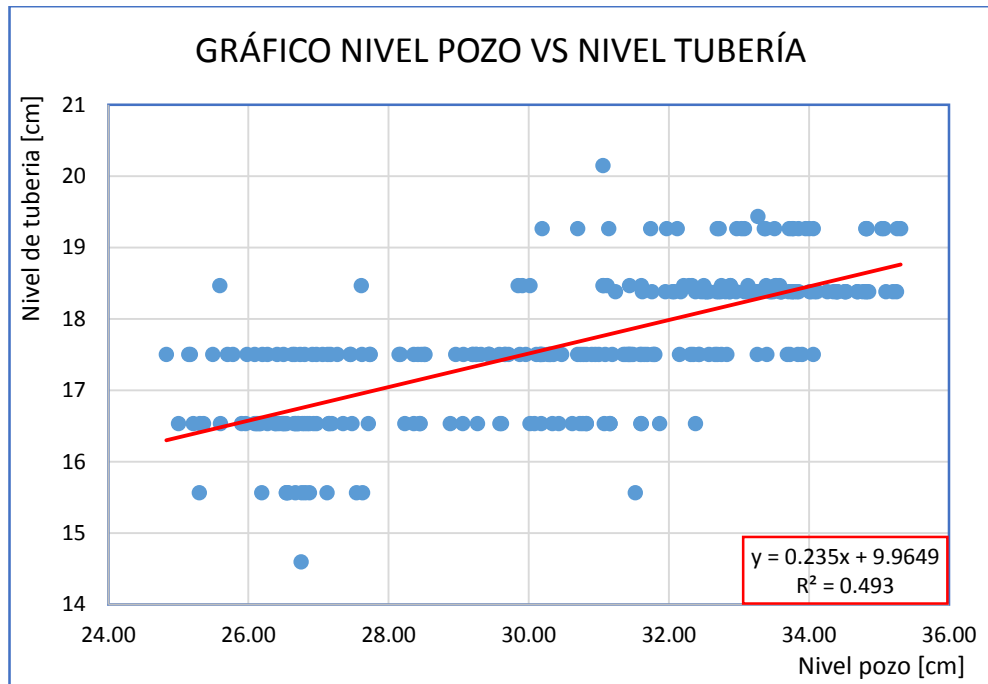


Figura 2.20: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor X

Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.235x + 9.9649$

(Ecu 26)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.493$

Conclusiones:

Las curvas de comportamiento de las alturas de agua con respecto al tiempo en los dos sensores instalados muestran una misma tendencia, los niveles de agua más altos se muestran entre las 12:20 y las 16:10 y los niveles más bajos entre la 1:25 y las 6:25, la correlación de los dos sensores instalados muestra un coeficiente menor pero no alejado del 50%.

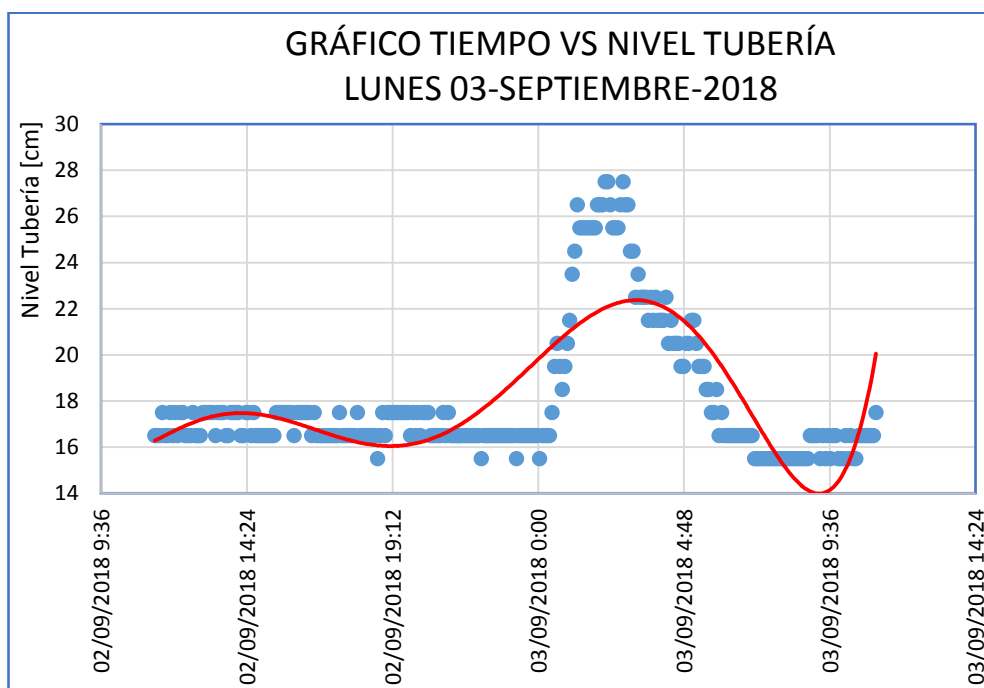
Interceptor XII-A

Figura 2. 21: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XII-A, día 2

Fuente: Autores

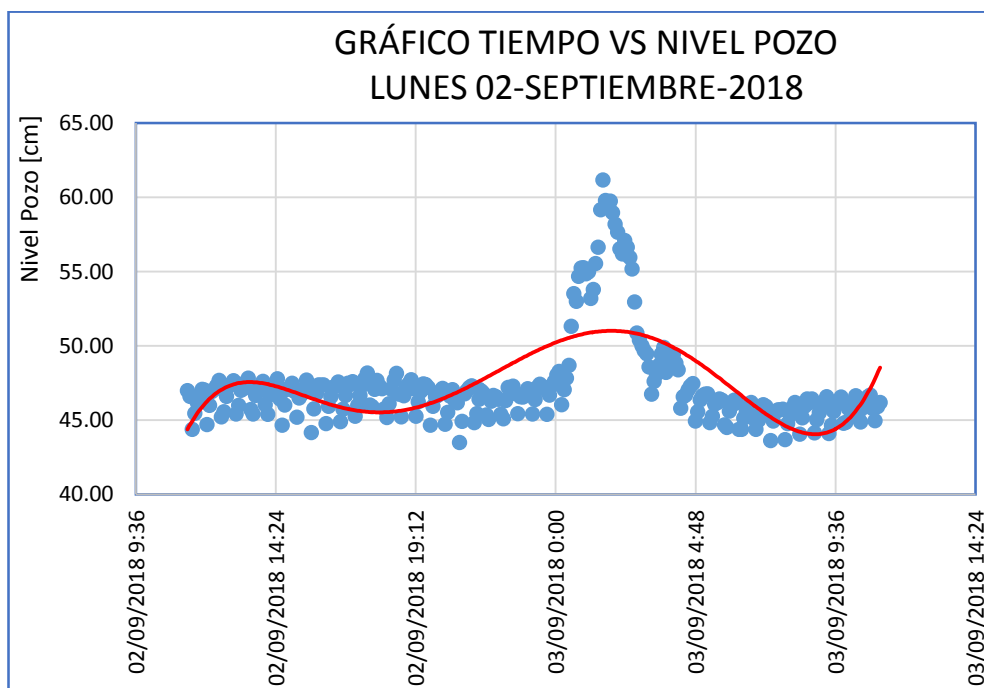


Figura 2.22: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor XII-A, día 2

Fuente: Autores

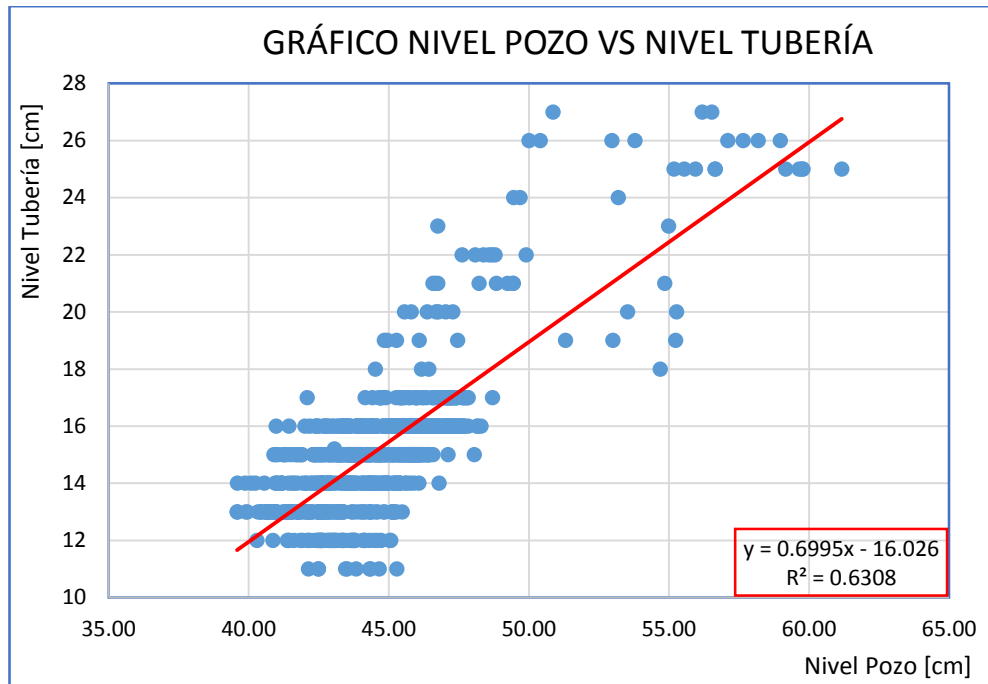


Figura 2.23: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XII-A

Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.6995x - 16.026$ (Ecu 27)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.6308$

Conclusiones:

El comportamiento de las curvas de los sensores instalados en este interceptor son de comportamientos similares mostrando un pico en la altura mayor desde las 01:00 horas hasta las 03:00 horas y la relación de las alturas obtenidas muestran una relación buena con un coeficiente de correlación mayor al 50%

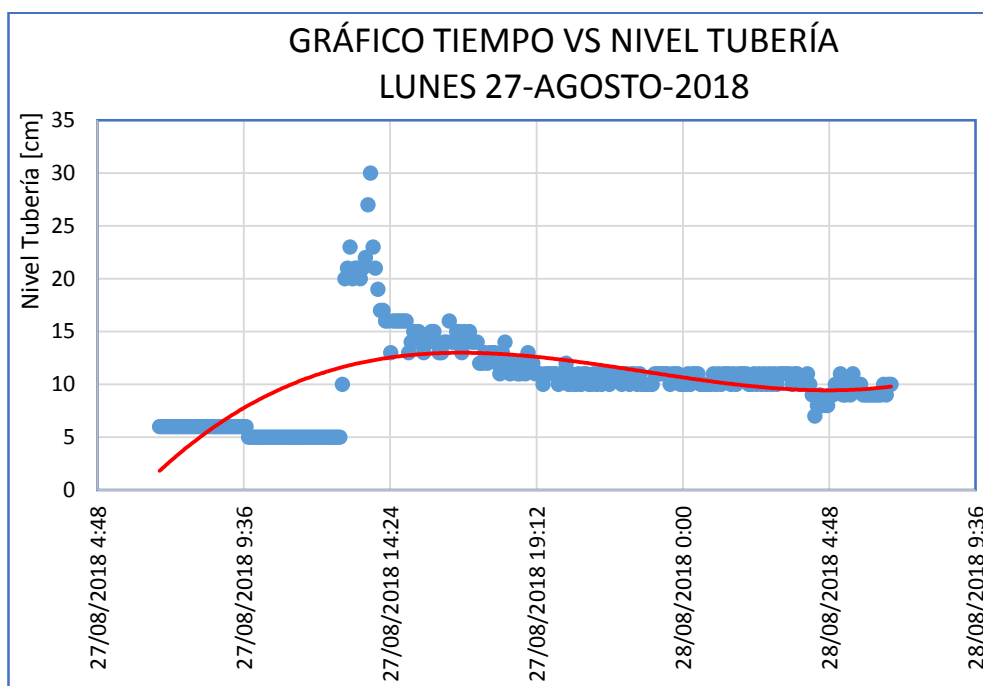
Interceptor XVI

Figura 2.24: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XVI, día 2

Fuente: Autores

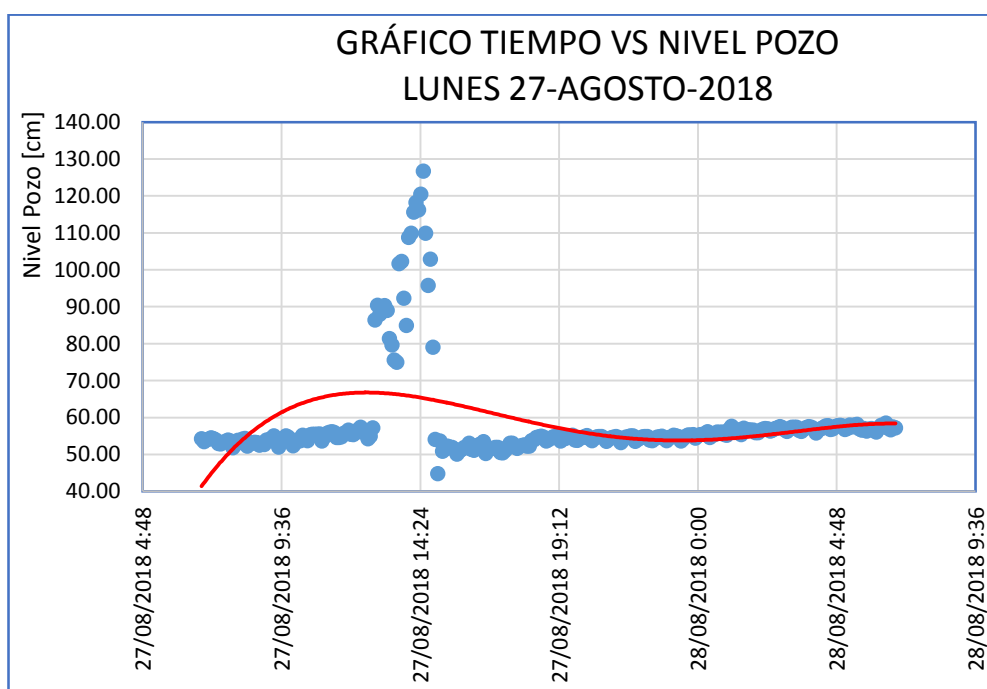


Figura 2.25: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor XVI, día 2

Fuente: Autores

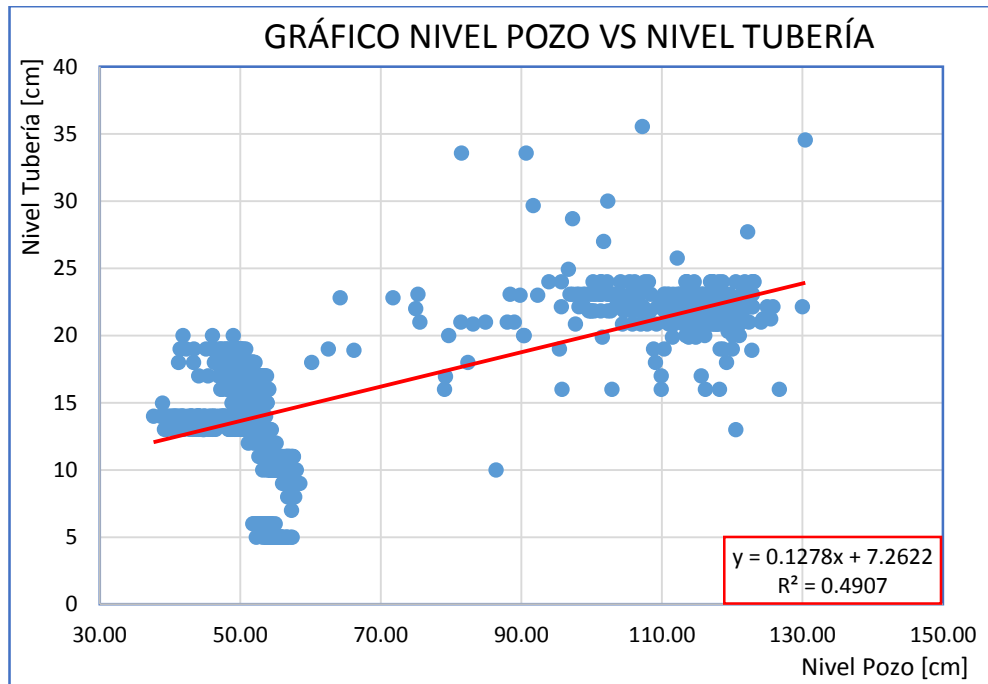


Figura 2.26: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XVI
Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.1278x + 7.2622$ (Ecu 28)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.4907$

Conclusiones:

Las curvas de altura de agua vs tiempo en los dos sensores instalados muestran una tendencia similar con algunos datos dispersos alrededor de las 14:30, las curvas se ajustan a este comportamiento dejando fuera algunos datos, razón por la cual el ajuste de la correlación de los dos sensores instalados no es mayor al 50%.

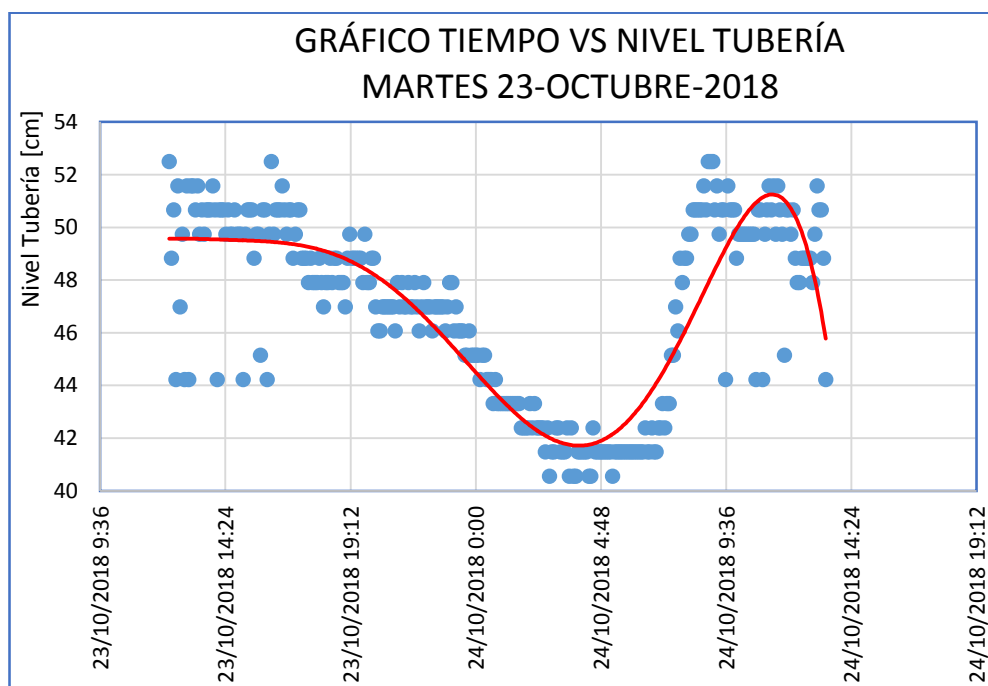
Interceptor XVIII

Figura 2.27: Tiempo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XVIII, día 4

Fuente: Autores

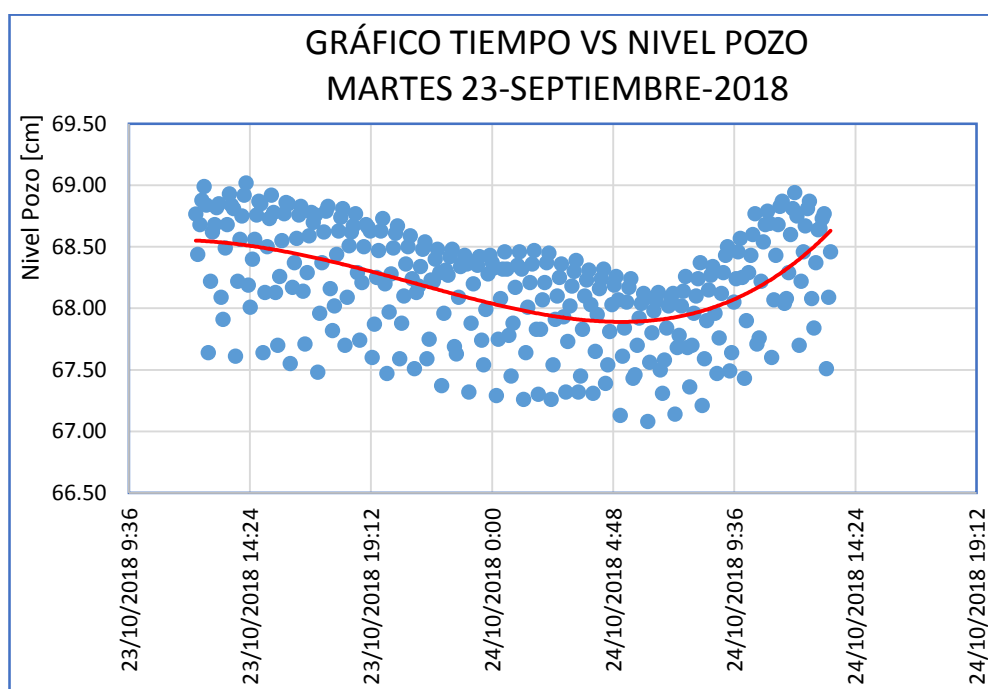


Figura 2.28: Tiempo vs nivel de altura de flujo en el pozo, Interceptor XVIII, día 4

Fuente: Autores

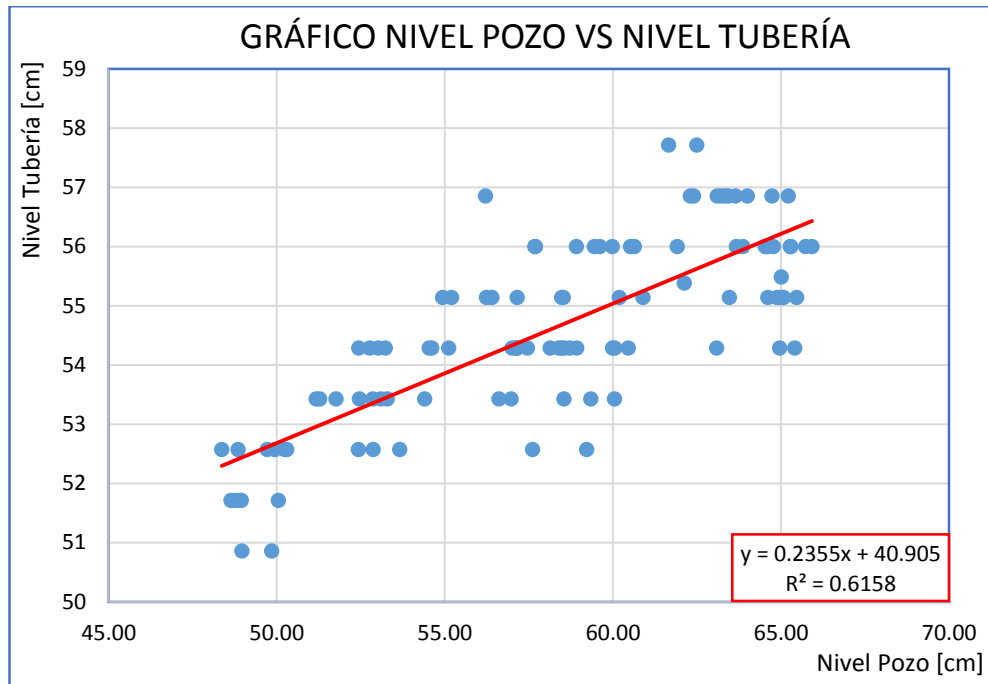


Figura 2.29: Nivel de altura de flujo en el pozo vs nivel de altura de flujo en la tubería, Interceptor XVIII

Fuente: Autores

Resultados:

Ecuación: $y = 0.2355x + 40.905$ (Ecu 29)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.6158$

Conclusiones:

Las curvas de comportamiento de altura en la tubería varían con respecto al comportamiento de la curva del pozo por lo que se consideró un tramo determinado desde las 09:45 horas hasta las 18:15 horas para la relación de las alturas obteniendo como resultado un coeficiente de correlación mayor al 50%

2.3 Ecuación y coeficiente de determinación

Interceptor I

Ecuación: $y = 0.707x + 16.203$ (Ecu 21)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.7392$

Interceptor II

Ecuación: $y = 0.8061x + 4.3207$ (Ecu 22)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.7887$

Interceptor III

Ecuación: $y = 0.9407x - 13.912$ (Ecu 23)

Coefficiente de correlación $R^2 = 0.7786$

Interceptor VI-2

$$\text{Ecuación: } y = 0.0435x + 13.205 \quad (\text{Ecu 24})$$

$$\text{Coeficiente de correlación } R^2 = 0.5265$$

Interceptor IX

$$\text{Ecuación: } y = 0.0241x + 10.414 \quad (\text{Ecu 25})$$

$$\text{Coeficiente de correlación } R^2 = 0.496$$

Interceptor X

$$\text{Ecuación: } y = 0.235x + 9.9649 \quad (\text{Ecu 26})$$

$$\text{Coeficiente de correlación } R^2 = 0.493$$

Interceptor XII-A

$$\text{Ecuación: } y = 0.6995x - 16.026 \quad (\text{Ecu 27})$$

$$\text{Coeficiente de correlación } R^2 = 0.6308$$

Interceptor XVI

$$\text{Ecuación: } y = 0.1278x + 7.2622 \quad (\text{Ecu 28})$$

$$\text{Coeficiente de correlación } R^2 = 0.4907$$

Interceptor XVIII

$$\text{Ecuación: } y = 0.2355x + 40.905 \quad (\text{Ecu 29})$$

$$\text{Coeficiente de correlación } R^2 = 0.6158$$

CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES EN CADA POZO

3.1 Cálculo de caudales en cada interceptor

Para calcular el caudal que circula por las tuberías de estudio, son necesarias las alturas de agua medidas por el sensor, características de la tubería como tipo de material para el coeficiente de rugosidad, diámetro y la pendiente de la tubería del interceptor que se estudia, razón por lo cual se realizó el levantamiento de pendientes en las tuberías de los interceptores.

Una vez determinados los coeficientes de relación en cada uno de los interceptores se procedió a calcular el caudal que fluye por cada uno de los interceptores mediante el uso de la siguiente fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A^{5/3} * S^{1/2}}{n * P^{2/3}} \quad [m^3/s] \quad (\text{Ecu 30})$$

En donde:

Q = Caudal de la sección en m³/s.

A = Área de la sección del fluido en m²

S = Pendiente longitudinal del fluido m/m

n = Coeficiente de rugosidad del material por el cual viaja el fluido.

Pm = Perímetro mojado de la sección de caudal en m.

Ya con los datos levantados en campo la altura de agua en cada tubo, la pendiente son datos con los cuales ya se cuenta para calcularlos de manera directa sin la utilización de tablas que relaciones estos términos.

Área de una circunferencia:

$$A = \pi * r^2 \quad [m^2] \quad (\text{Ecu 31})$$

Dónde: r = radio de la circunferencia.

Área del sector circular:

$$A_{\text{sect}} = \frac{\alpha \text{ rad}}{2} * \frac{D^2}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (\text{Ecu 32})$$

Dónde:

$\alpha \text{ rad}$ = Ángulo del sector circular en radianes

D = diámetro de la circunferencia en m

Perímetro del sector circular:

$$P = R * \alpha \quad [\text{m}] \quad (\text{Ecu 33})$$

Dónde: α = Ángulo del sector circular en radianes

R = radio de la circunferencia en m

Pendiente longitudinal:

Para encontrar la pendiente longitudinal en cada interceptor se levantó la información con el GPS Garmin ETrex 20x en cada interceptor estudiado obteniendo como resultado la altitud de la tapa superficial del pozo y para encontrar la pendiente de la tubería se restó la altitud menos la distancia desde la clave de la tubería hasta la tapa superficial y con este dato ya unas obtenida la distancia entre los pozos como se ilustra en la figura 3.1 se encontró la pendiente longitudinal como se presenta en la siguiente fórmula

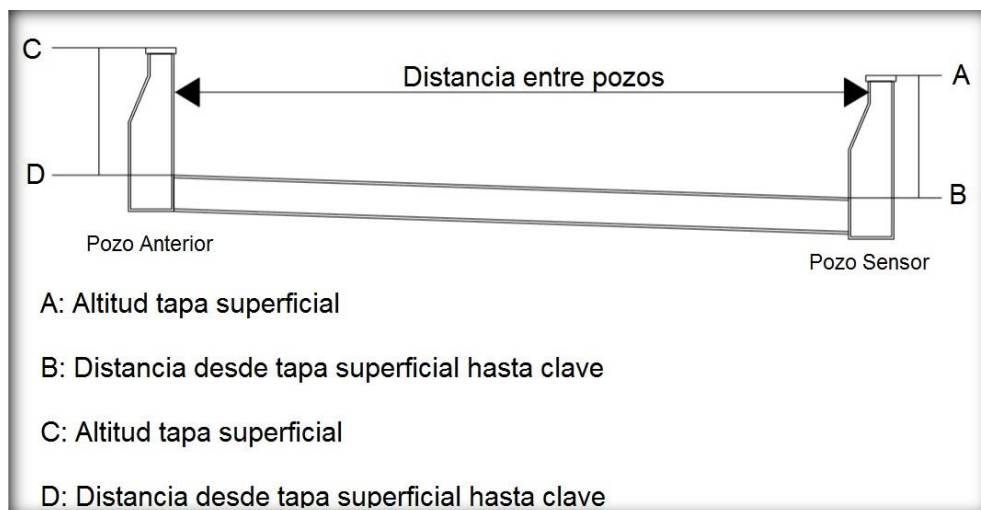


Figura 3.1: Esquema de parámetros para la pendiente entre pozos

Fuente: Autores

$$m \text{ (pendiente)} = \frac{(C-D) - (A-B)}{\text{Distancia entre pozos}} \quad (\text{Ecu 34})$$

Tabla 3.1: Datos geográficos de los pozos con sus respectivas pendientes

INTERCEPTOR	PUNTO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	DIST SUPERF-CLAVE	DISTANCIA	PENDIENTE
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
Interceptor I	sensor	-2.888100	-78.956100	2441.00	2.50	85	0.002
	pozo anterior	-2.888717	-78.956550	2440.00	1.30		
Interceptor II	sensor	-2.909267	-78.991267	2491.00	2.10	36	0.006
	pozo anterior	-2.909400	-78.991567	2491.00	1.90		
Interceptor III	sensor	-2.909700	-78.988700	2490.00	1.60	94	0.009
	pozo anterior	-2.910517	-78.988917	2490.00	0.80		
Interceptor VI-2	sensor	-2.893917	-78.965817	2449.00	2.85	116	0.004
	pozo anterior	-2.894700	-78.966500	2450.00	3.40		
Interceptor IX	sensor	-2.891367	-78.965533	2455.00	3.05	39	0.013
	pozo anterior	-2.891217	-78.965850	2455.00	2.55		
Interceptor X	sensor	-2.885383	-78.956333	2440.00	2.10	130	0.001
	pozo anterior	-2.884717	-78.957300	2444.00	6.00		
Interceptor XII-A	sensor	-2.885600	-78.956200	2441.00	2.40	76	0.001
	pozo anterior	-2.885250	-78.956783	2441.00	2.35		
Interceptor XVI	sensor	-2.908750	-78.989433	2490.00	1.90	95	0.001
	pozo anterior	-2.908800	-78.990283	2492.00	3.80		
Interceptor XVIII	sensor	-2.888200	-78.956133	2441.00	1.60	84	0.004
	pozo anterior	-2.888800	-78.956600	2441.00	1.25		

Fuente: Autores

Una vez que se analizaron las alturas de los pozos como también en las tuberías de llegada en cada interceptor se observó que para el cálculo de caudal se pueden originar dos casos que constan de lo siguiente:

3.2 Caso 1

Cuando la altura de agua (Y) en la tubería es mayor a la longitud del radio.

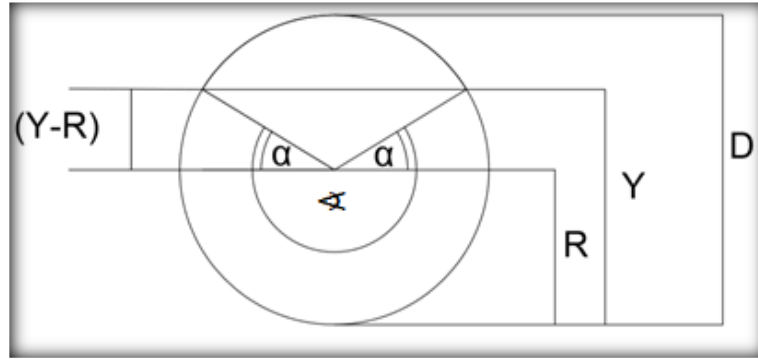


Figura 3.2: Sección de tubería caso uno Y es mayor al radio

Fuente: Autores

En este caso el fluido está por encima del centro de la tubería de sección circular para lo cual el área que ocupa el fluido se calcula de la siguiente manera:

Procedimiento:

$$\text{Alfa } (\alpha) = \arcseno \frac{(Y-R)}{R} \quad [\text{rad}] \quad (\text{Ecu 35})$$

$$\text{Angulo } (\varphi) = \pi + 2 * \alpha \quad [\text{rad}] \quad (\text{Ecu 36})$$

$$\text{Radio} = \frac{D}{2} \quad [\text{m}] \quad (\text{Ecu 37})$$

$$\text{Área fluido} = \sqrt{R^2 - (Y - R)^2} * (Y - R) + \frac{\varphi \text{ rad}}{2} * \frac{D^2}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (\text{Ecu 38})$$

$$S \text{ (pendiente)} = m = \frac{(C-D) - (A-B)}{\text{Distancia entre pozos}} \quad (\text{Ecu 39})$$

n (rugosidad que depende del tipo de material de la tubería)

$$Pm \text{ (perímetro mojado)} = R * \varphi \quad [\text{m}] \quad (\text{Ecu 40})$$

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n * Pm^{\frac{2}{3}}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{Ecu 41})$$

3.3 Caso 2

Cuando la altura de agua (Y) en la tubería es menor a la longitud del radio.

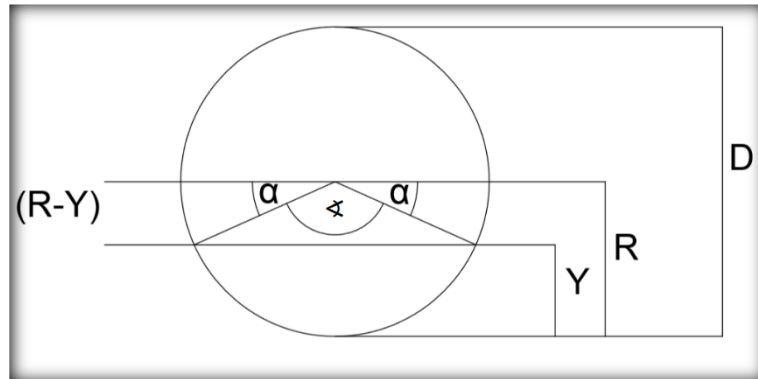


Figura 3.3: Sección de tubería caso dos Y es menor al radio

Fuente: Autores

En este caso el fluido está por encima del centro de la tubería de sección circular para lo cual el área que ocupa el fluido se calcula de la siguiente manera:

Procedimiento:

$$\text{Alfa } (\alpha) = \arcseno \frac{(Y-R)}{R} \quad [\text{rad}] \quad (\text{Ecu 42})$$

$$\text{Angulo } (\varphi) = \pi - 2 * \alpha \quad [\text{rad}] \quad (\text{Ecu 43})$$

$$\text{Radio} = \frac{D}{2} \quad [\text{m}] \quad (\text{Ecu 44})$$

$$\text{Área fluido} = \sqrt{R^2 - (R - Y)^2} * (R - Y) + \frac{\varphi \text{ rad}}{2} * \frac{D^2}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (\text{Ecu 45})$$

$$S \text{ (pendiente)} = m = \frac{(C-D) - (A-B)}{\text{Distancia entre pozos}} \quad (\text{Ecu 46})$$

n (rugosidad que depende del tipo de material de la tubería)

$$P_m \text{ (perímetro mojado)} = R * \varphi \quad (\text{Ecu 47})$$

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n * P_m^{\frac{2}{3}}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{Ecu 48})$$

Para el coeficiente de rugosidad se usó las siguientes tablas para las tuberías de hormigón como para las tuberías de PVC:

(ANDECE, 2017).

(Chow, 1959).

Coeficientes n de Manning (Ven-te-Chow, 1959)			
Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
a. Latón, liso	0.009	0.010	0.013
b. Acero			
1. Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de agua de lluvia	0.021	0.024	0.030
A-2. No metal			
a. Lucita	0.008	0.009	0.010
b. Vidrio	0.009	0.010	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, cimbra metálica	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, cimbra en madera lisa	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, cimbra en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
e. Madera			
1. Machihembrada	0.010	0.012	0.014
2. Laminada, tratada	0.015	0.017	0.020
f. Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	0.013	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018

Figura 3.4: Coeficiente n de Manning

Fuente: Ven-te Chow

Coeficientes n de Manning (Continuación)			
Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
g. Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o laqueada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
h. Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.016
i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.020
j. Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra partida suelta	0.020	0.030	0.035

Figura 3.5: Coeficiente n de Manning

Fuente: Ven-te Chow

Tuberías	"n" laboratorio	"n" diseño recomendada
Hormigón	0,009 – 0,011	Red alcantarillado: 0,011-0,012 Red A. residual: 0,012-0,013
HDPE	0.009 – 0,015	Red alcantarillado: 0,012-0,020
PVC	0.009 – 0,011	Red alcantarillado / Red A. residual: 0,011-0,013
Corrugada	0.012- 0,030	0,021 – 0,029

Figura 3.6: Coeficiente n de Manning

Fuente: Andece

3.4 Curvas en cada interceptor de nivel de caudal vs tiempo

En cada interceptor de estudio se calculó el caudal que fluye por la tubería que compone el sistema de alcantarillado y con los datos recopilados en campo y tomando en cuenta consideraciones como la rugosidad que depende del tipo de material de la tubería como es de hormigón en los interceptores I, II, III, IX, VI-2, X y XVIII, como también de PVC en los interceptores XII-A y XVI. Se puede obtuvo como se muestra a continuación las curvas de comportamiento de caudal vs tiempo a lo largo del aforo de cada día.

Interceptor I



Figura 3.7: Tubería del Interceptor I

Fuente: Autores

Material de la tubería: Hormigón

Coefficiente de rugosidad (n): 0.017

Debido que en esta tubería se observa que existe el desgaste del recubrimiento en la parte interior de la tubería como se muestra en la fotografía 3.1 se consideró el coeficiente de rugosidad mayor a lo normal en el hormigón que es de 0.014

Día 1

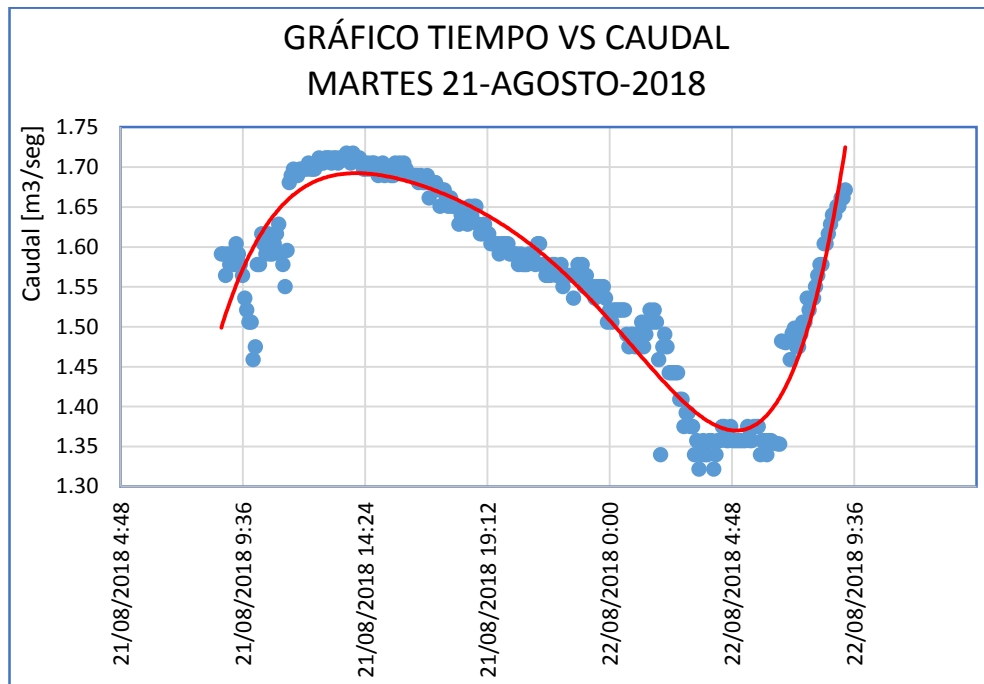


Figura 3.8: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor I, día 1

Fuente: Autores

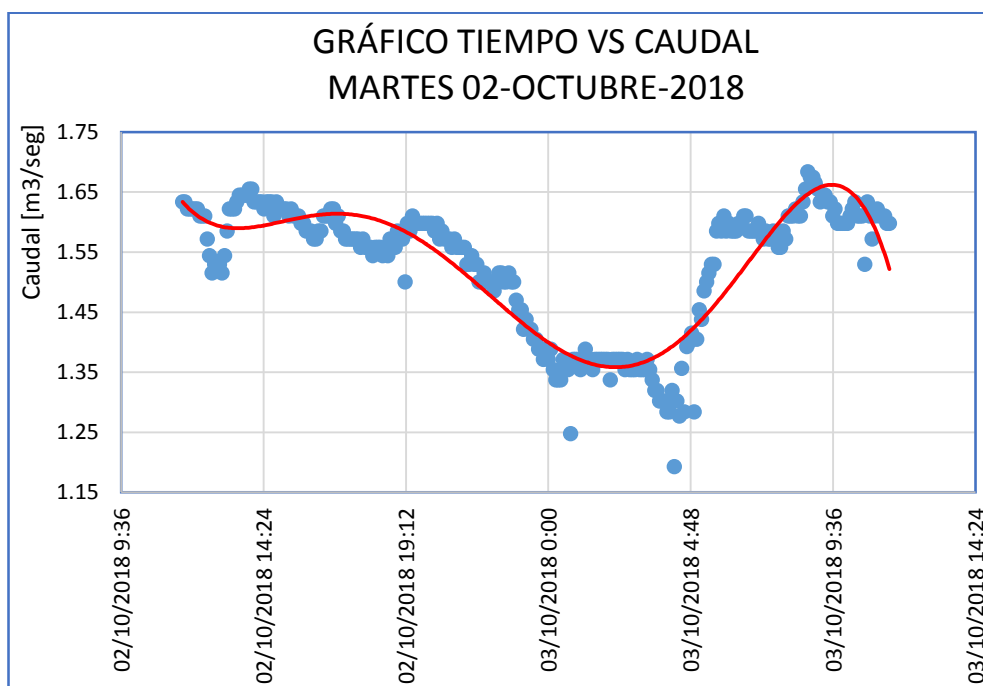
Día 2

Figura 3.9: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor I, día 2

Fuente: Autores

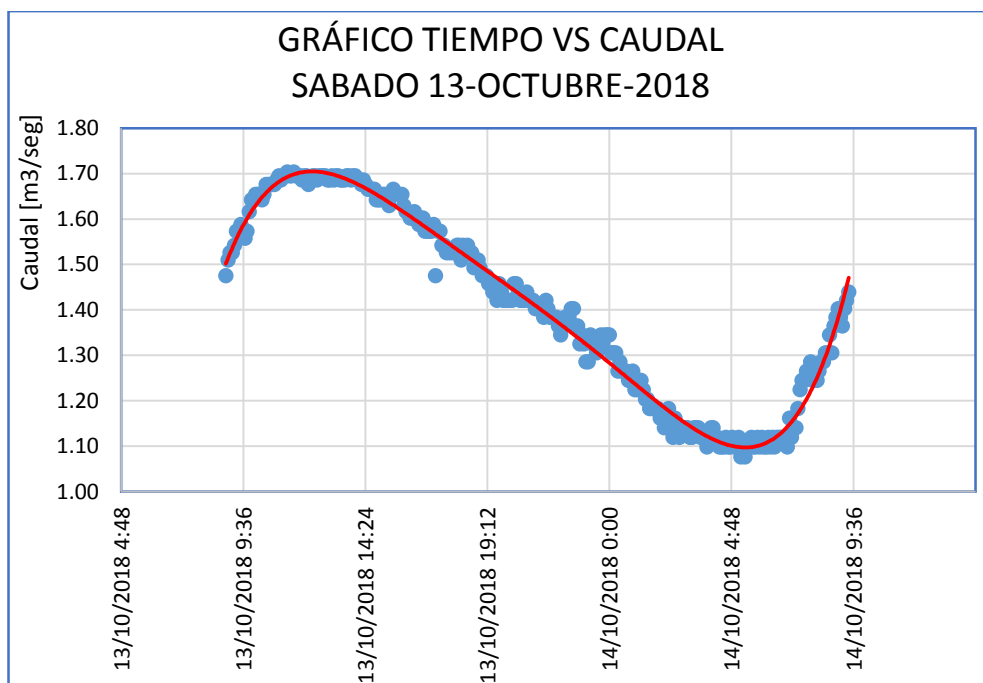
Día 3

Figura 3.10: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor I, día 3

Fuente: Autores

Interceptor II



Figura 3.11: Tubería del Interceptor I

Fuente: Autores

Material de la tubería: Hormigón

Coefficiente de rugosidad (n): 0.014

Día 1

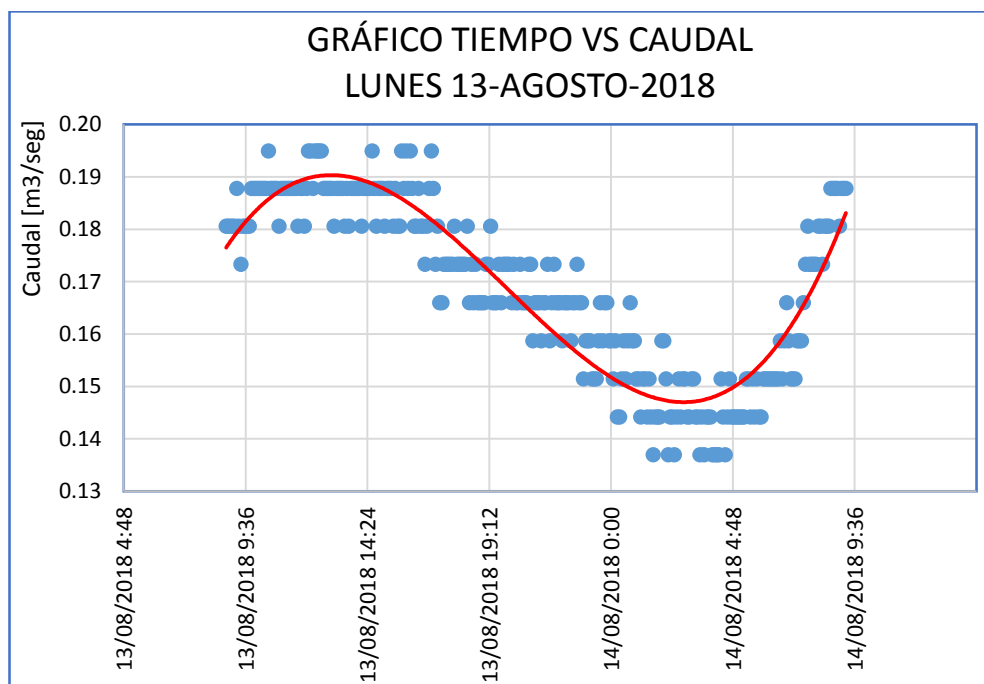


Figura 3.12: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor II, día 1

Fuente: Autores

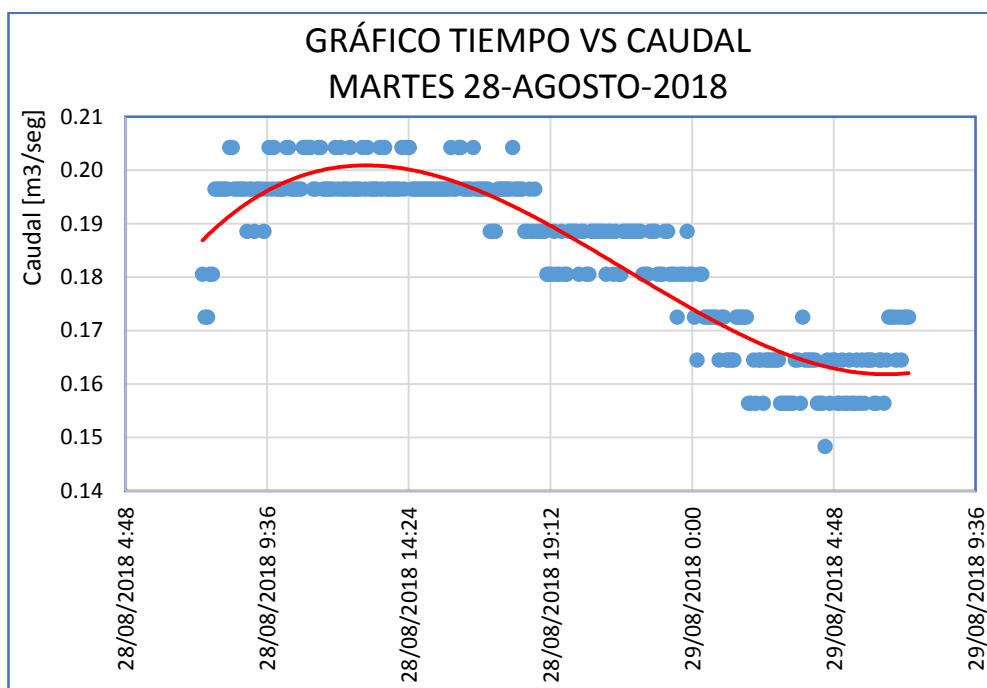
Día 2

Figura 3.13: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor II, día 2

Fuente: Autores

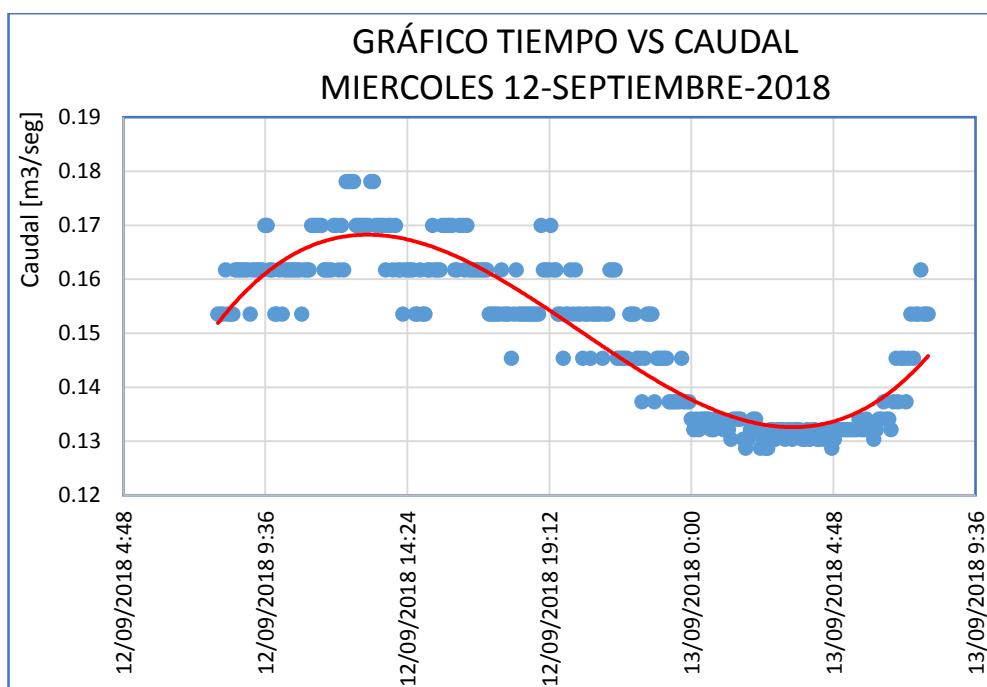
Día 3

Figura 3.14: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor II, día 3

Fuente: Autores

Interceptor III



Figura 3.15: Tubería del Interceptor III

Fuente: Autores

Material de la tubería: Hormigón

Coefficiente de rugosidad (n): 0.014

Día 1

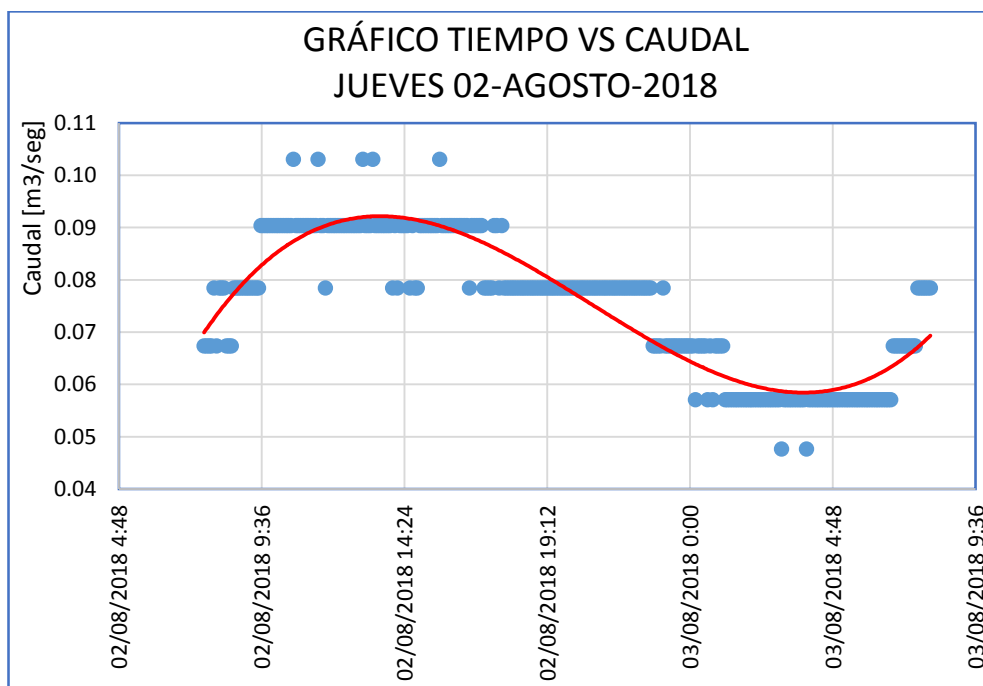


Figura 3.16: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor III, día 1

Fuente: Autores

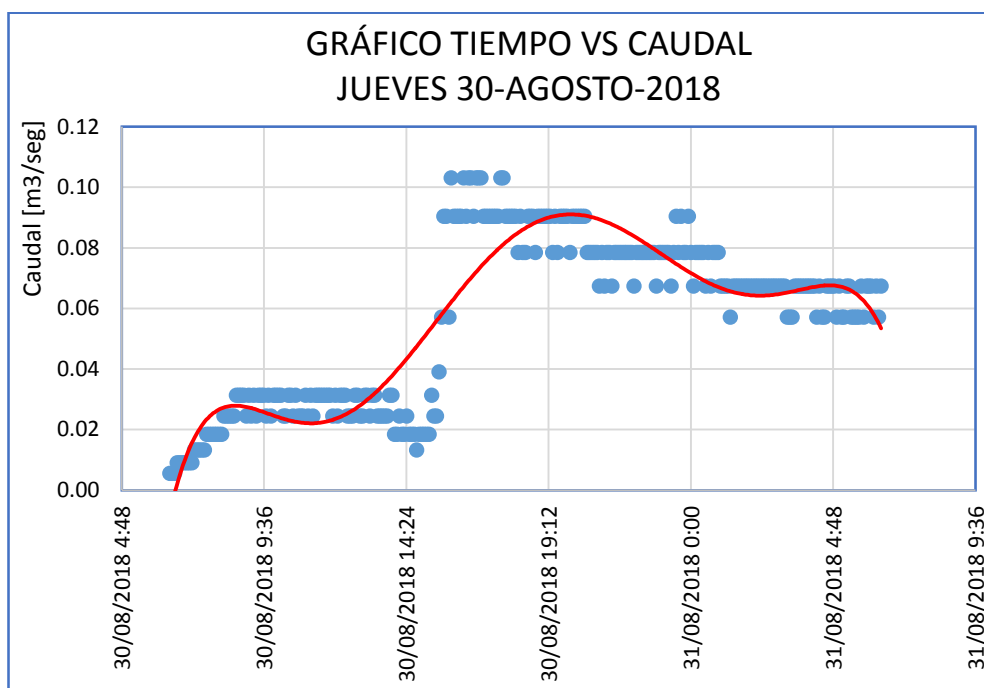
Día 2

Figura 3.17: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor III, día 2

Fuente: Autores

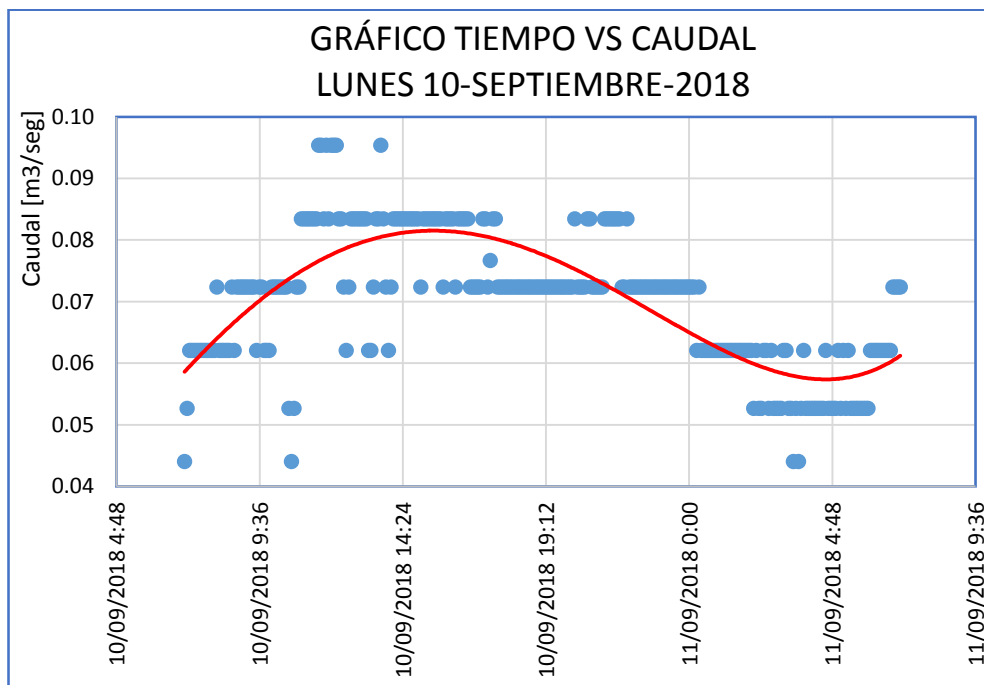
Día 3

Figura 3.18: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor III, día 3

Fuente: Autores

Interceptor VI-2



Figura 3.19: Tubería del Interceptor VI-2

Fuente: Autores

Material de la tubería: Hormigón

Coeficiente de rugosidad (n): 0.014

Día 1

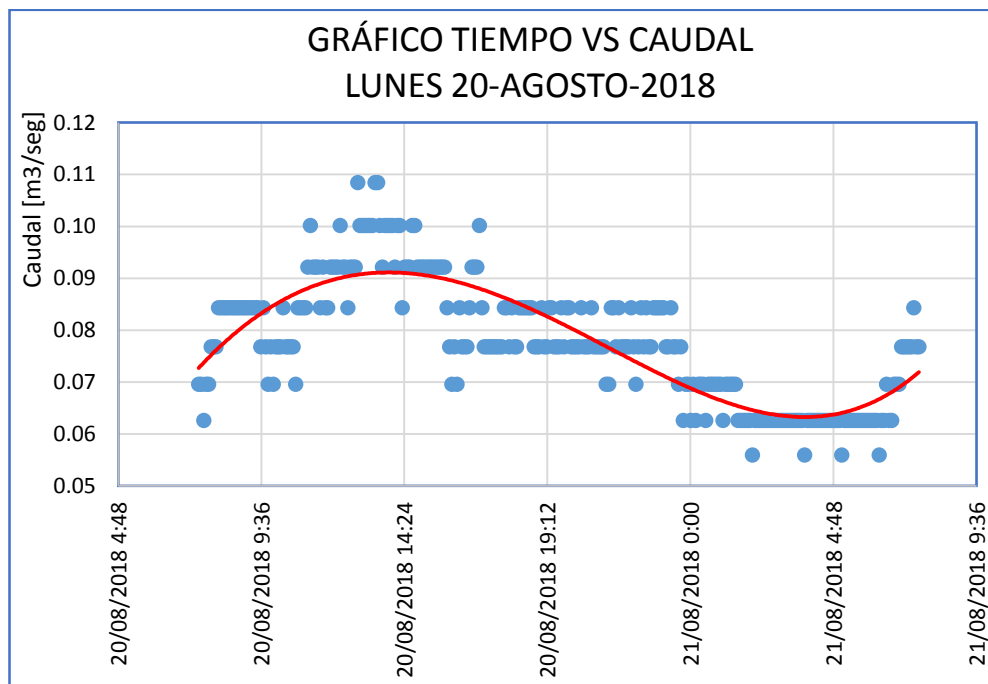


Figura 3.20: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor VI-2, día 1

Fuente: Autores

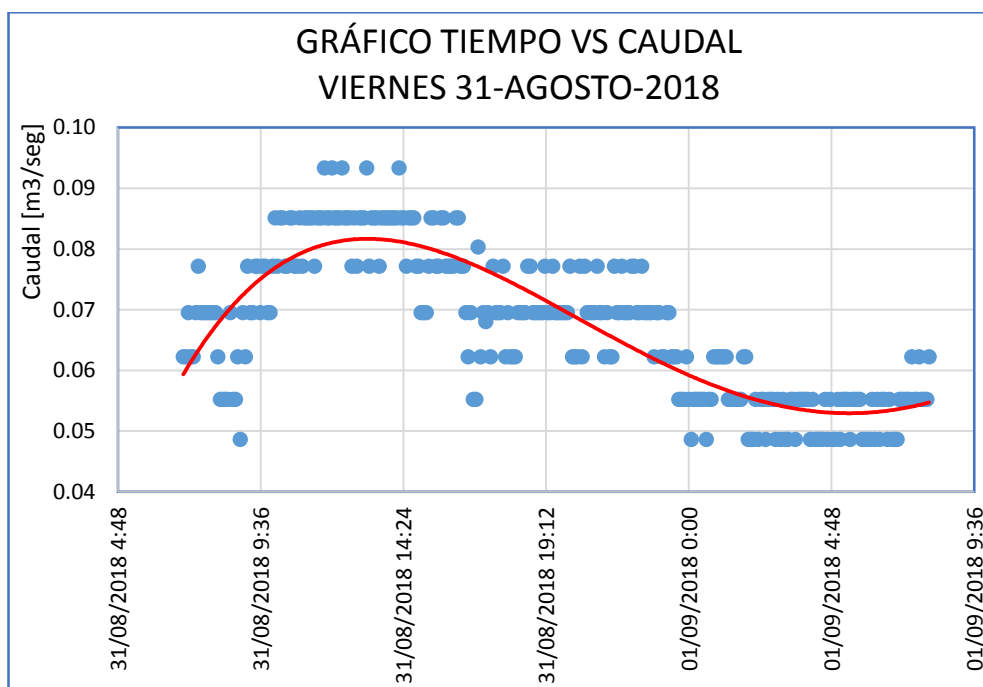
Día 2

Figura 3.21: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor VI-2, día 2

Fuente: Autores

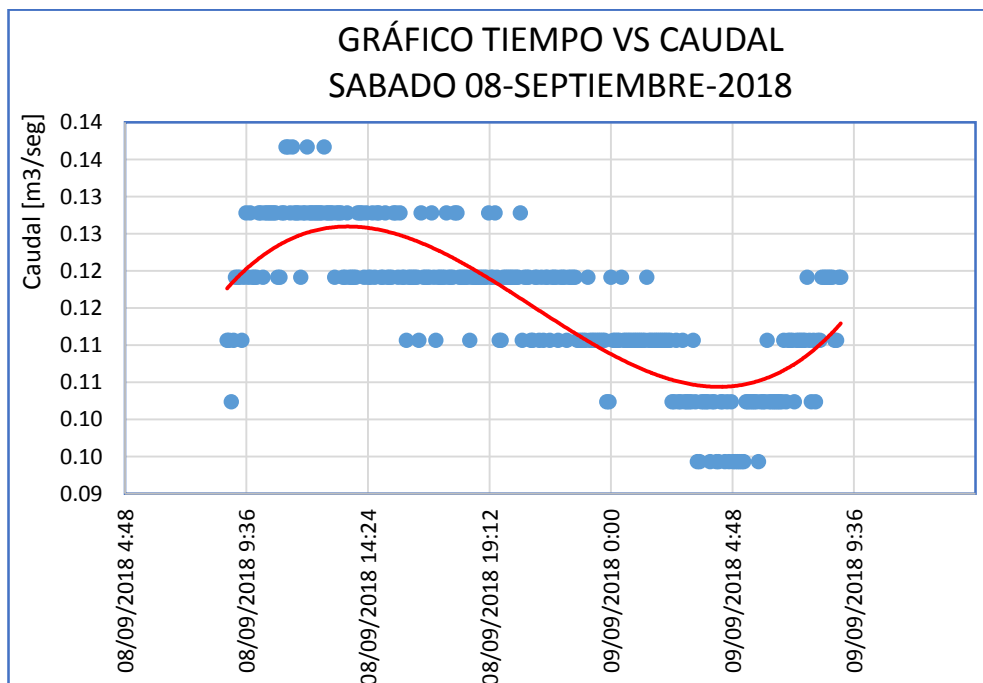
Día 3

Figura 3.22: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor VI-2, día 3

Fuente: Autores

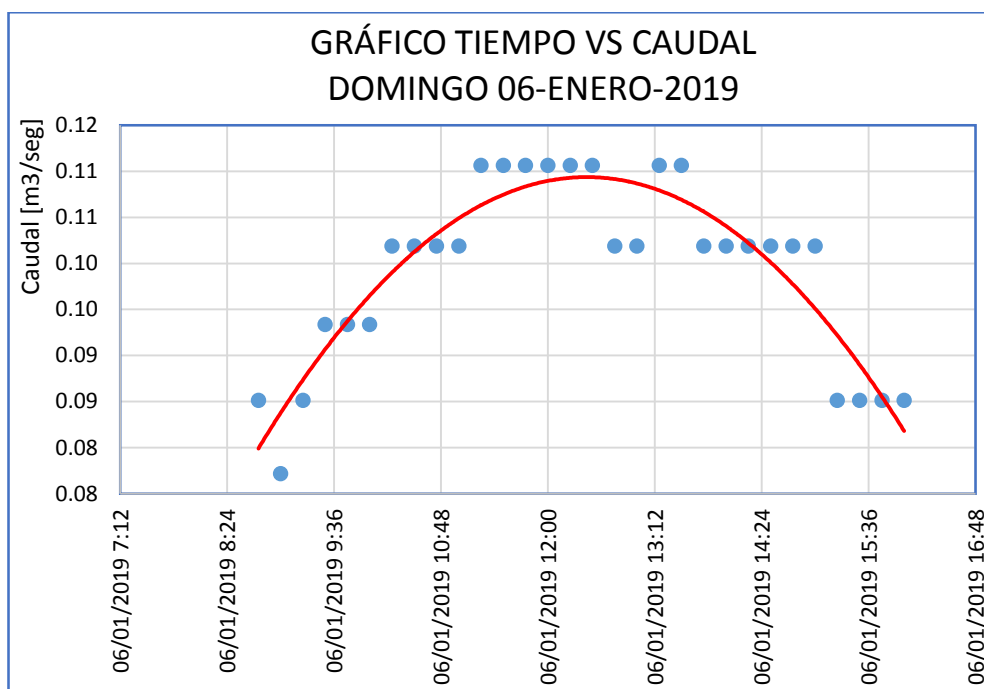
Día 4

Figura 3.23: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor VI-2, día 4

Fuente: Autores

Interceptor IX

Figura 3.24: Tubería del Interceptor IX

Fuente: Autores

Material de la tubería: Hormigón

Coeficiente de rugosidad (n): 0.014

Día 1



Figura 3.25: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor IX, día 1

Fuente: Autor

Día 2

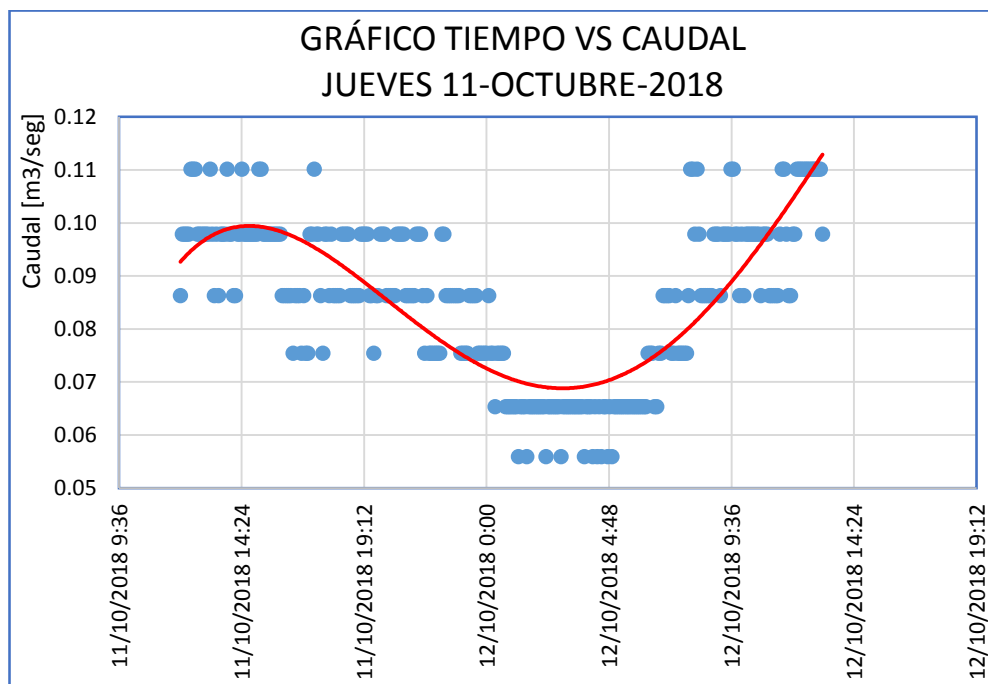


Figura 3.26: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor IX, día 2

Fuente: Autores

Día 3

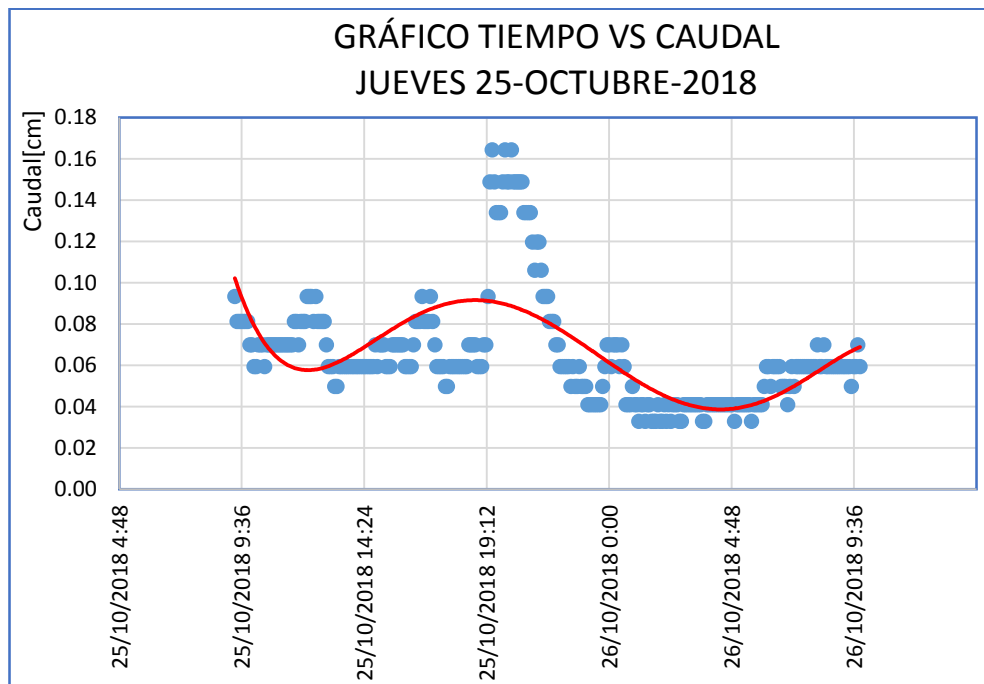


Figura 3.27: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor IX, día 3

Fuente: Autores

Interceptor X



Figura 3.28: Tubería del Interceptor X

Fuente: Autores

Material de la tubería: Hormigón

Coeficiente de rugosidad (n): 0.014

Día 1

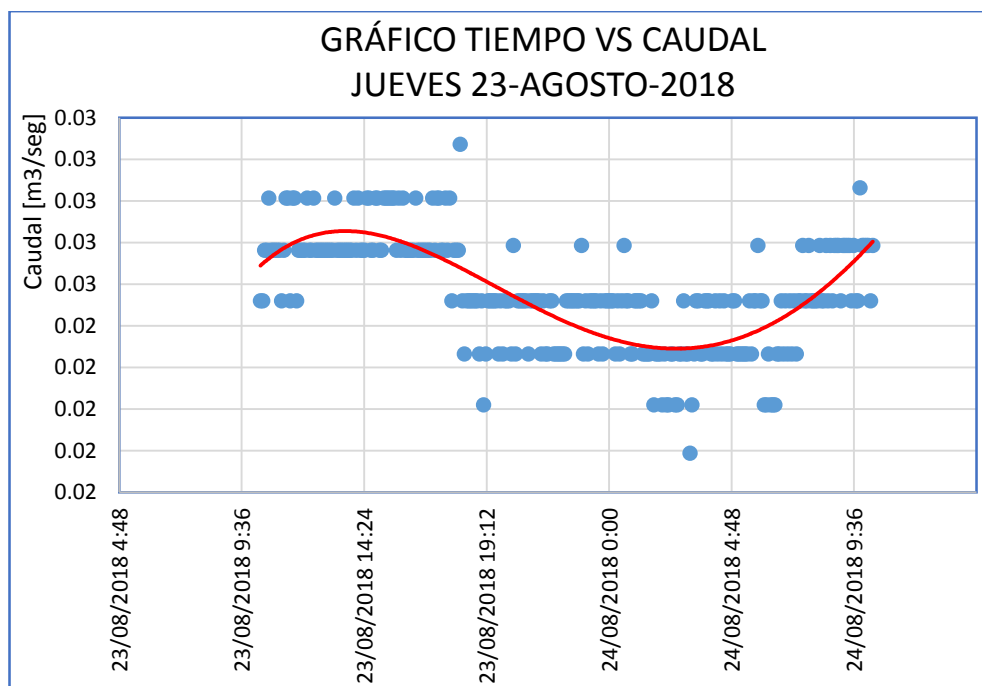


Figura 3.29: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor X, día 1

Fuente: Autores

Día 2

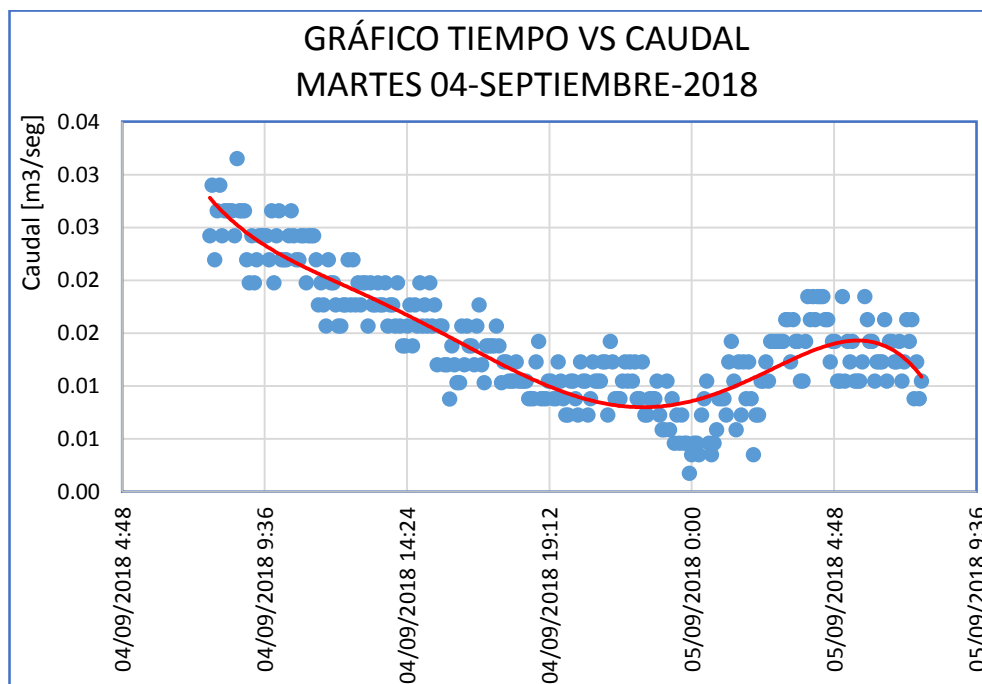


Figura 3.30: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor X, día 2

Fuente: Autores

Día 3

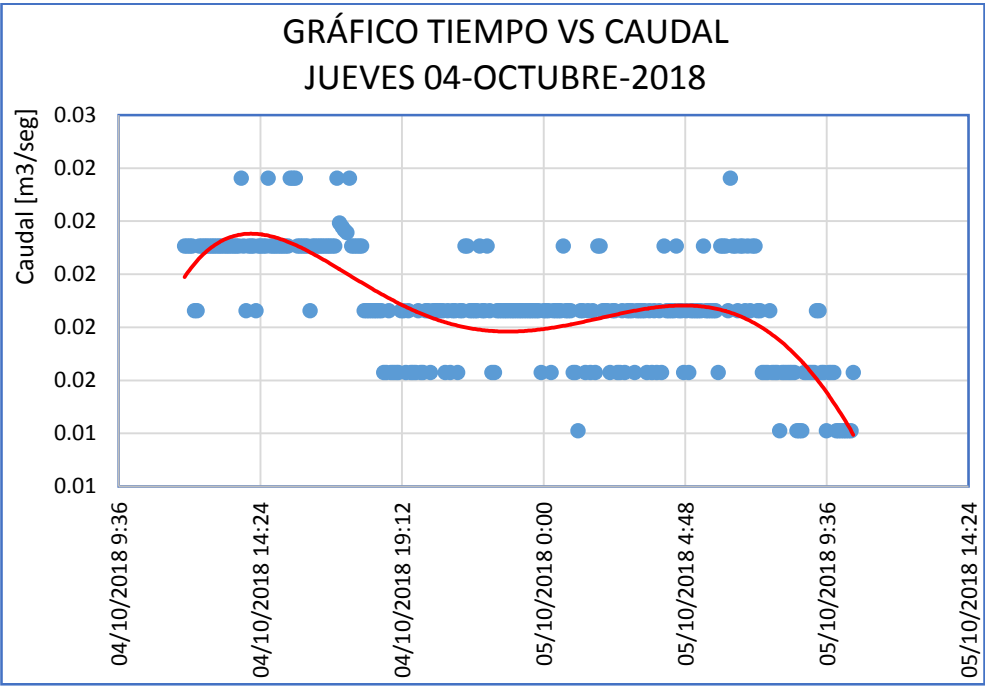


Figura 3.31: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor X, día 3

Fuente: Autores

Día 4

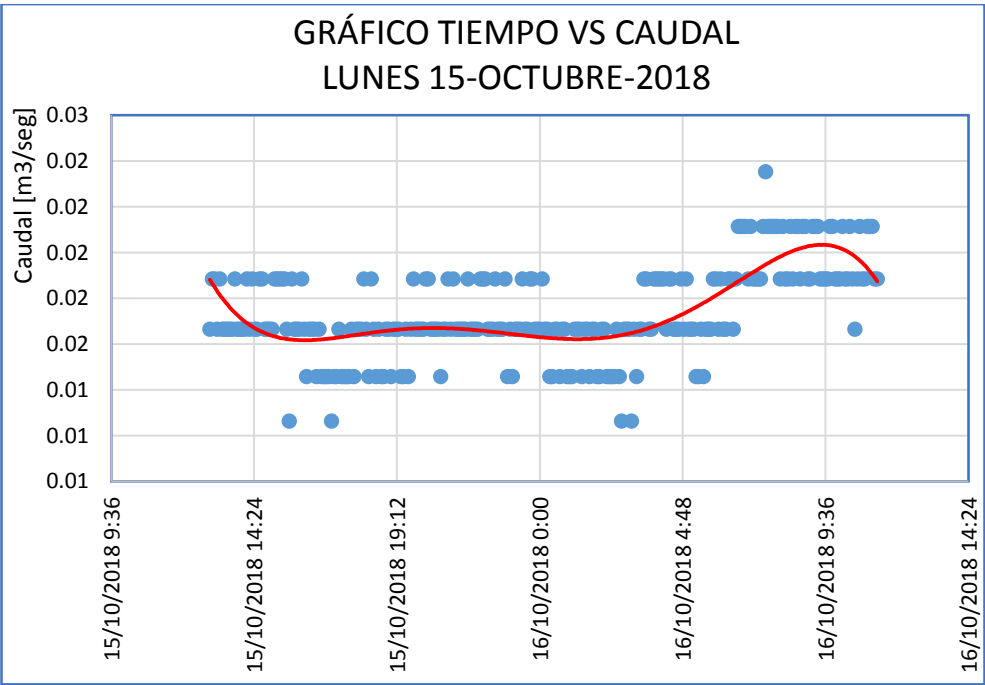


Figura 3.32: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor X, día 4

Fuente: Autores

Interceptor XII-A



Figura 3.33: Tubería del Interceptor XII-A

Fuente: Autores

Material de la tubería: PVC

Coefficiente de rugosidad (n): 0.009

Día 1

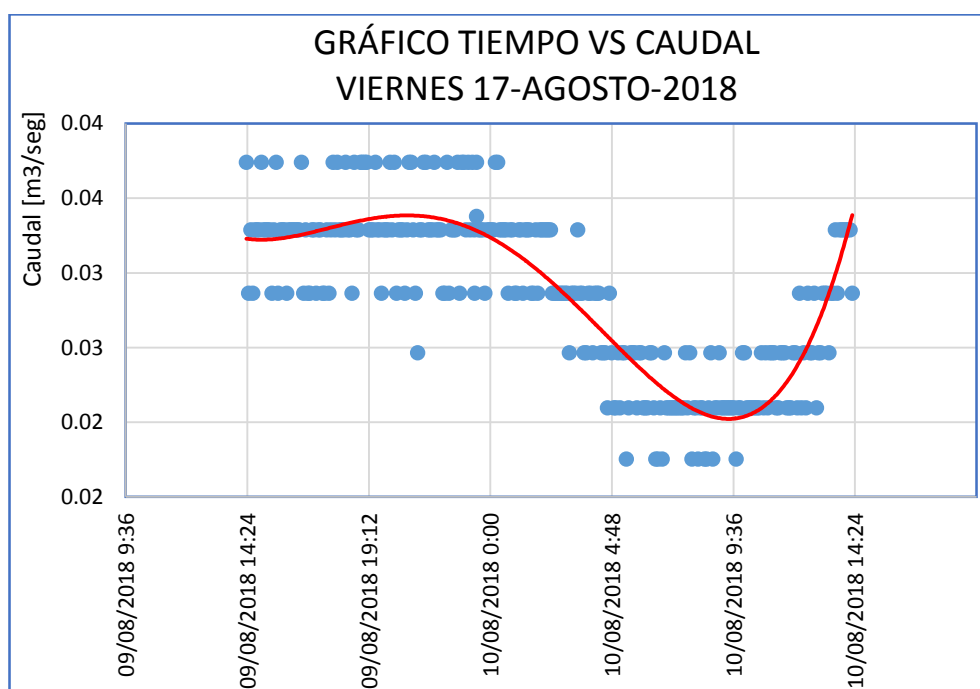


Figura 3.34: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XII-A, día 1

Fuente: Autores

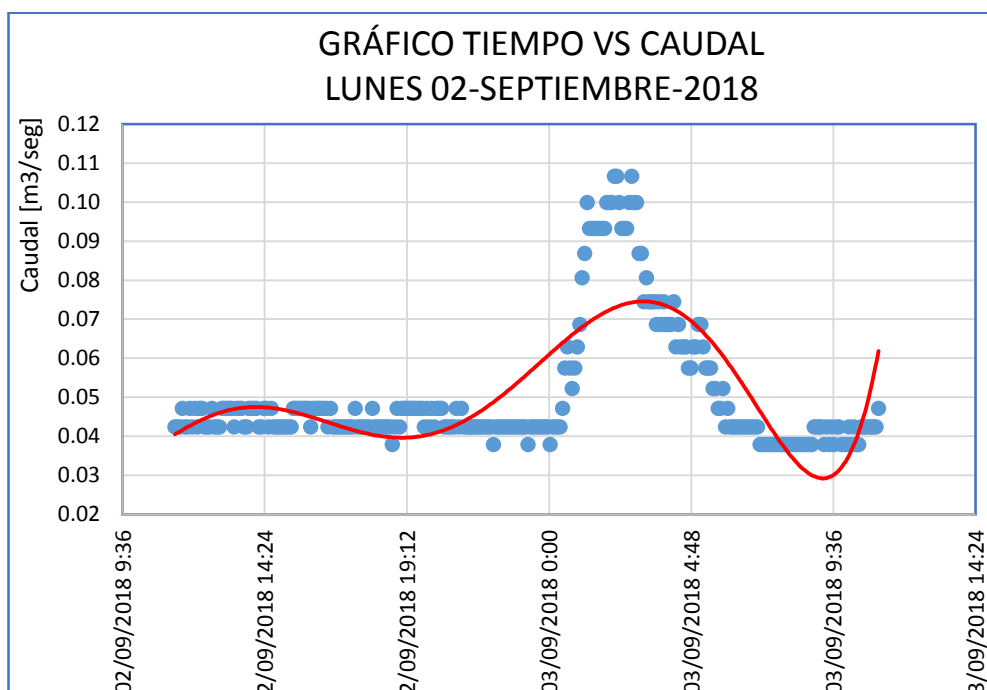
Día 2

Figura 3.35: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XII-A, día 2

Fuente: Autores

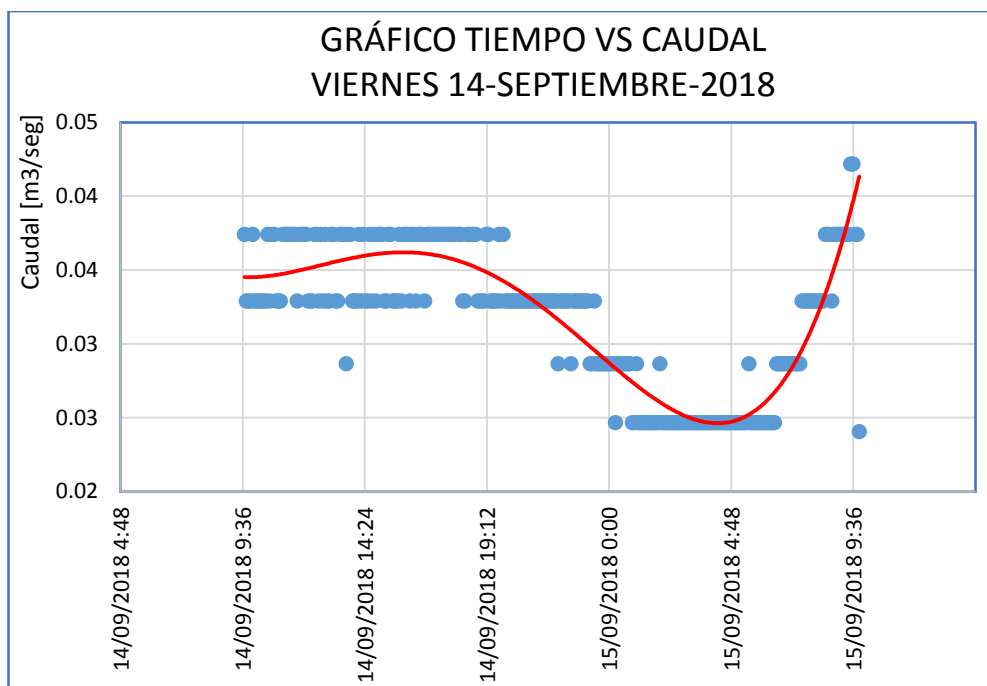
Día 3

Figura 3.36: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XII-A, día 3

Fuente: Autores

Interceptor XVI

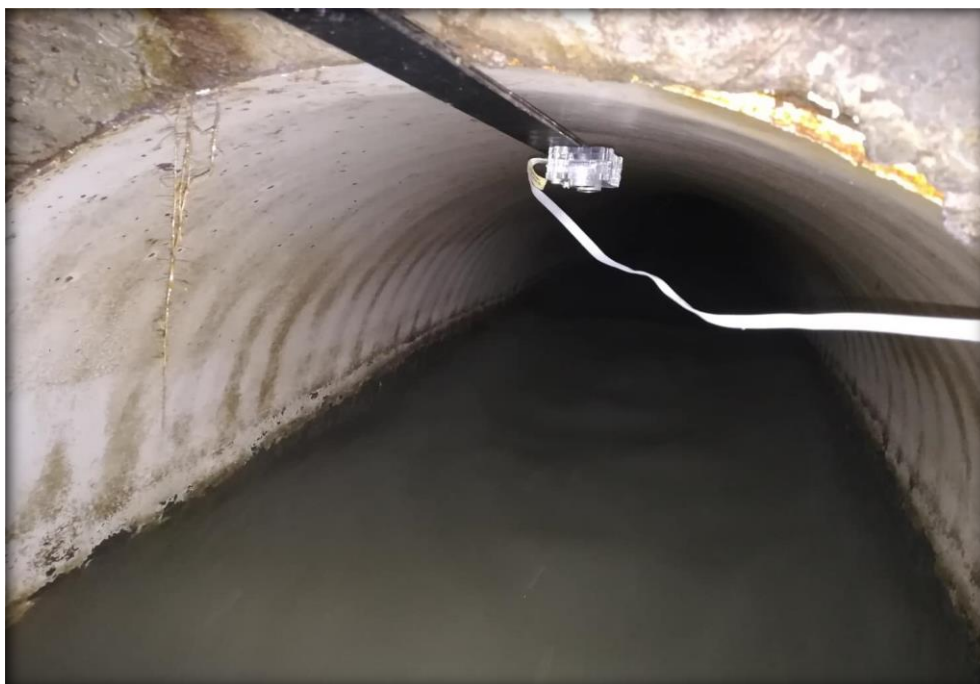


Figura 3.37: Tubería del Interceptor XVI

Fuente: Autores

Material de la tubería: PVC

Coefficiente de rugosidad (n): 0.009

Día 1

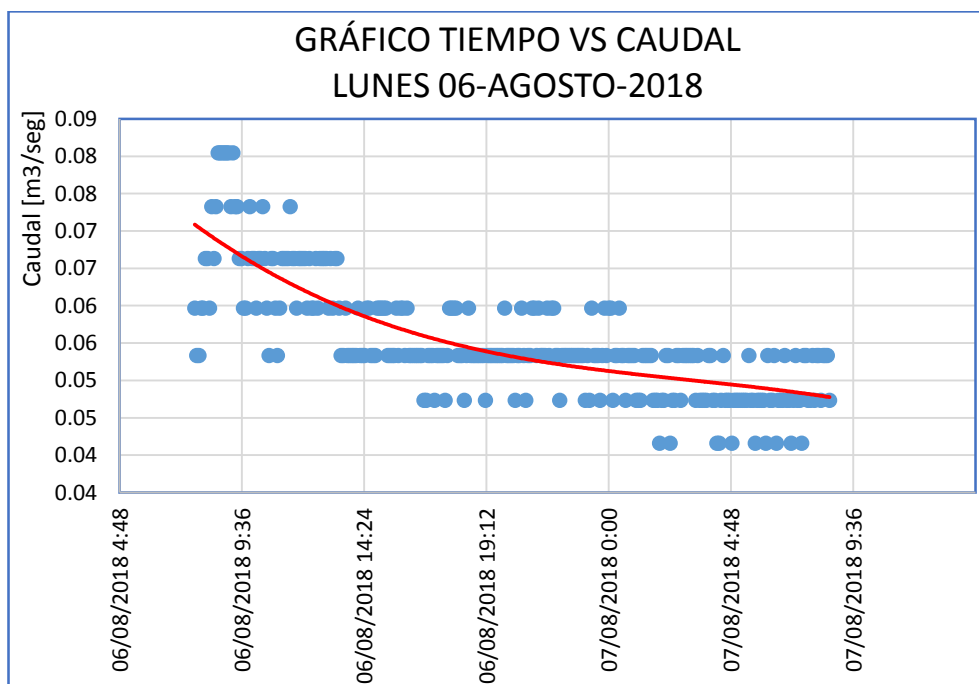


Figura 3.38: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVI, día 1

Fuente: Autores

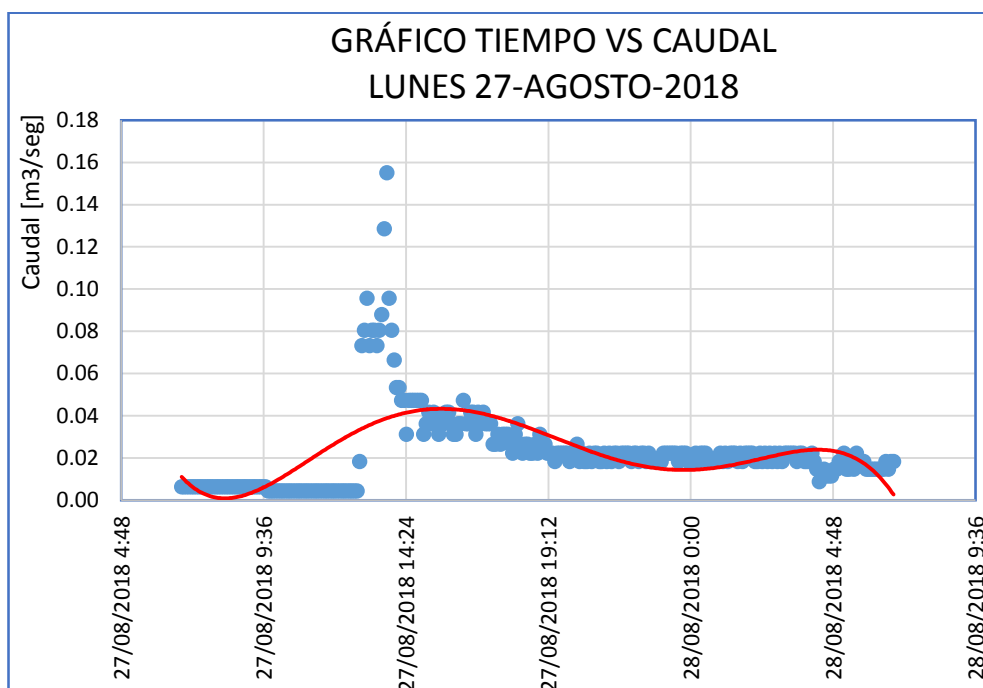
Día 2

Figura 3.39: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVI, día 2

Fuente: Autores

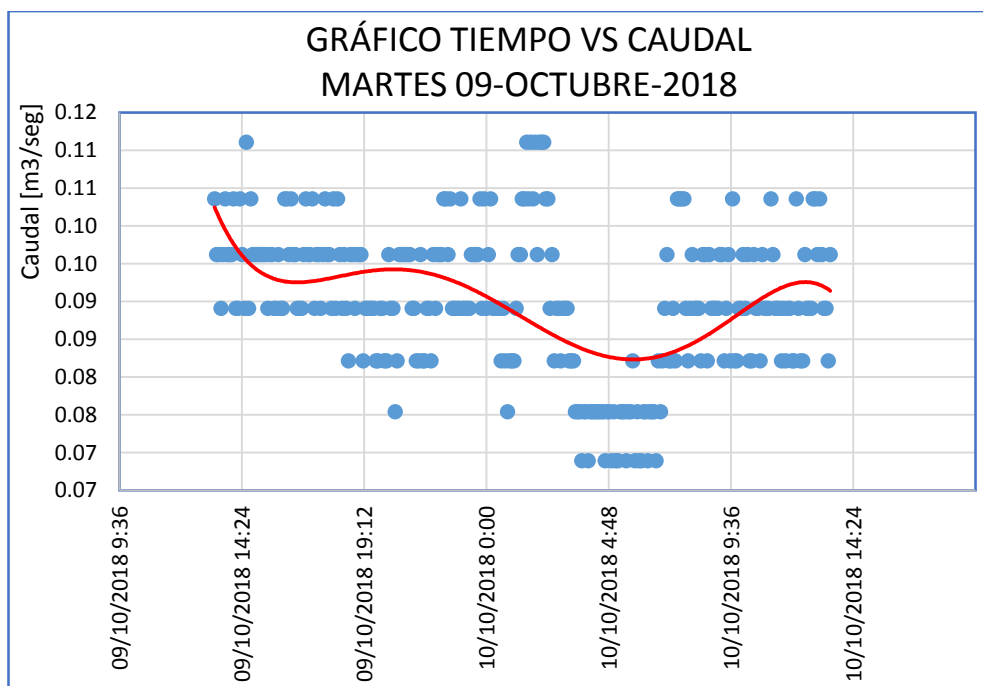
Día 3

Figura 3.40: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVI, día 3

Fuente: Autores

Día 4

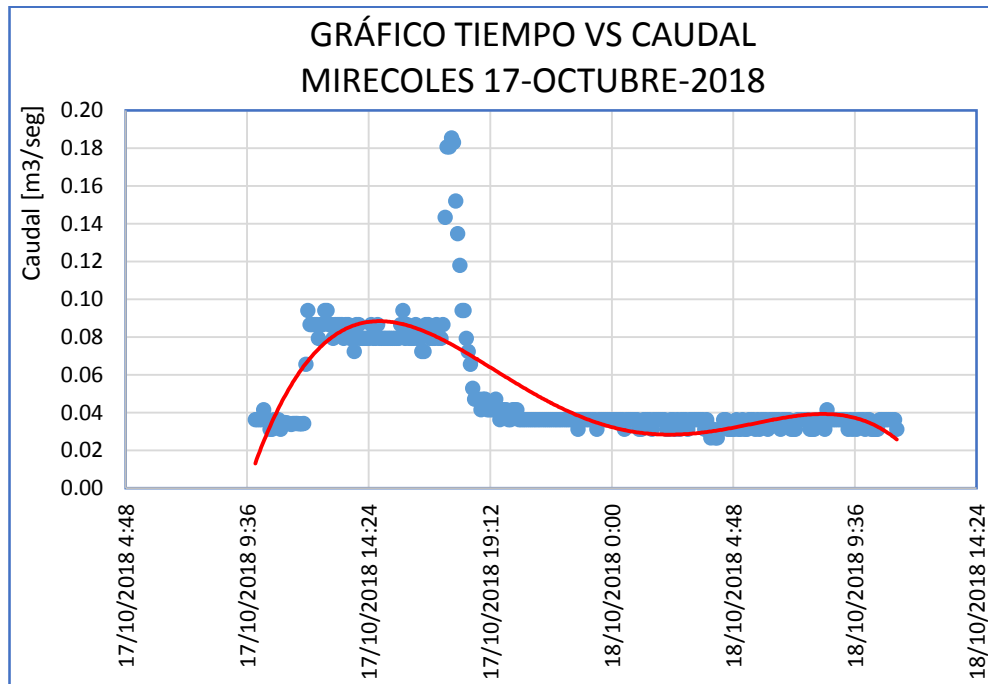


Figura 3.41: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVI, día 4

Fuente: Autores

Interceptor XVIII



Figura 3.42: Tubería del Interceptor XVIII

Fuente: Autores

Material de la tubería: Hormigón

Coeficiente de rugosidad (n): 0.014

Día 1

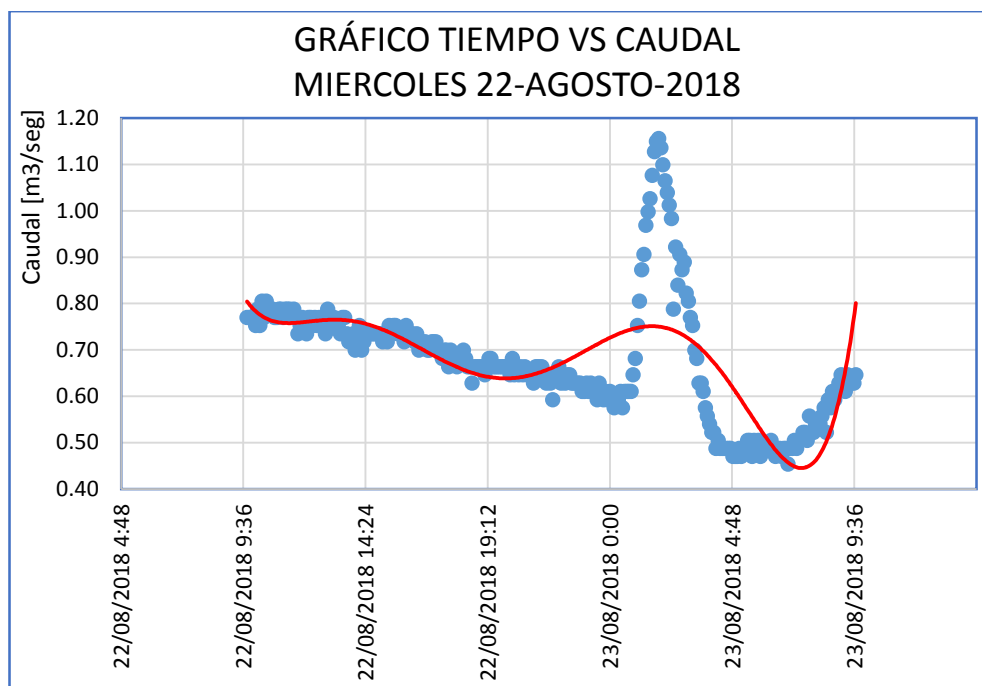


Figura 3.43: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVIII, día 1

Fuente: Autores

Día 2

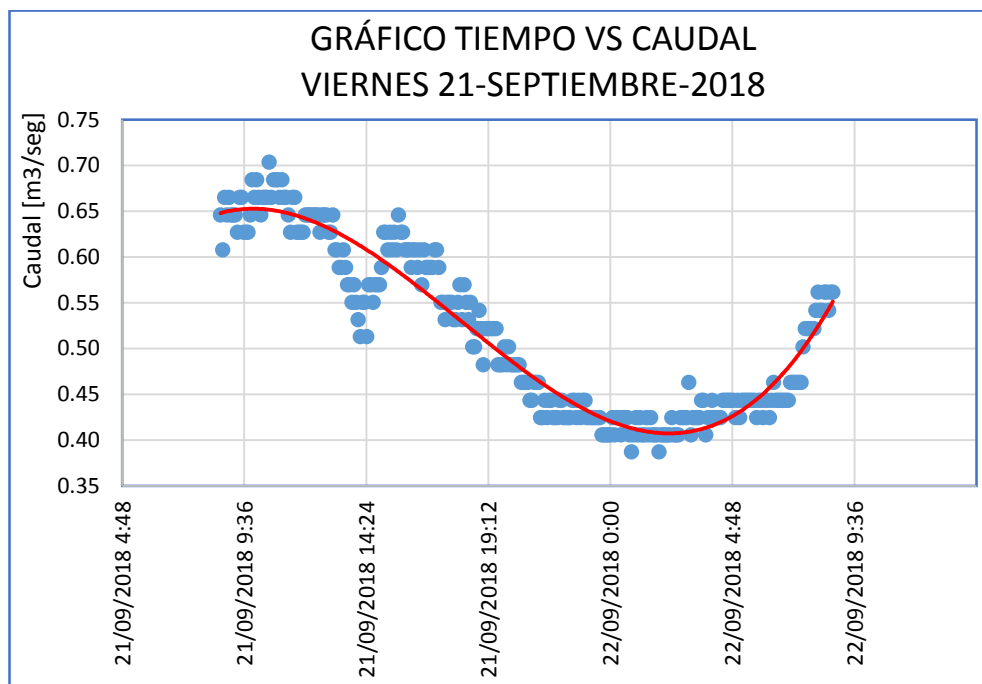


Figura 3.44: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVIII, día 2

Fuente: Autores

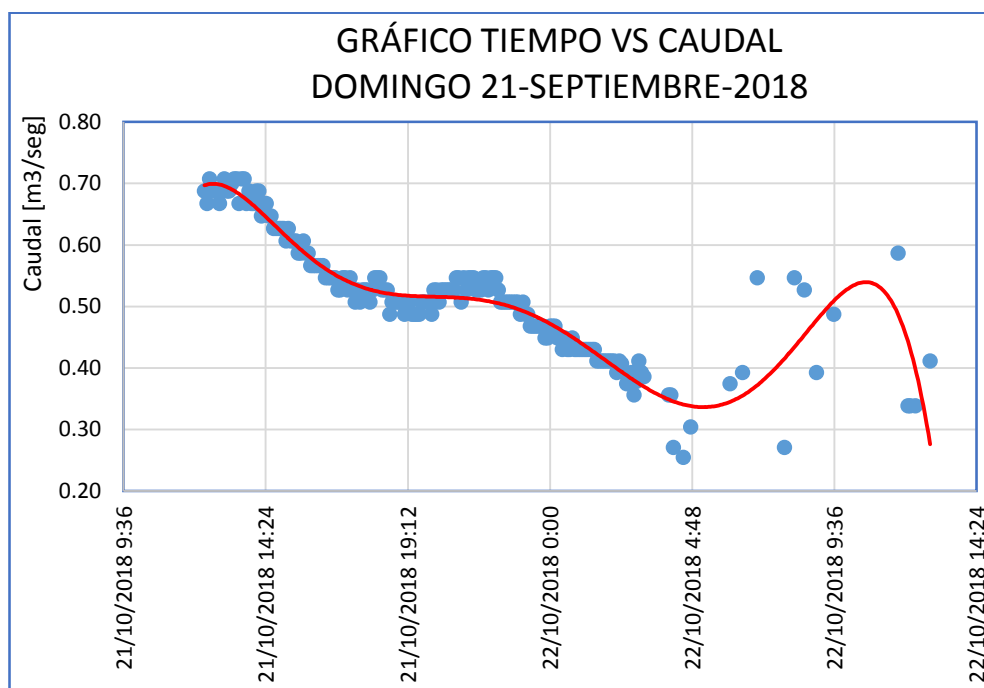
Día 3

Figura 3.45: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVIII, día 3

Fuente: Autores

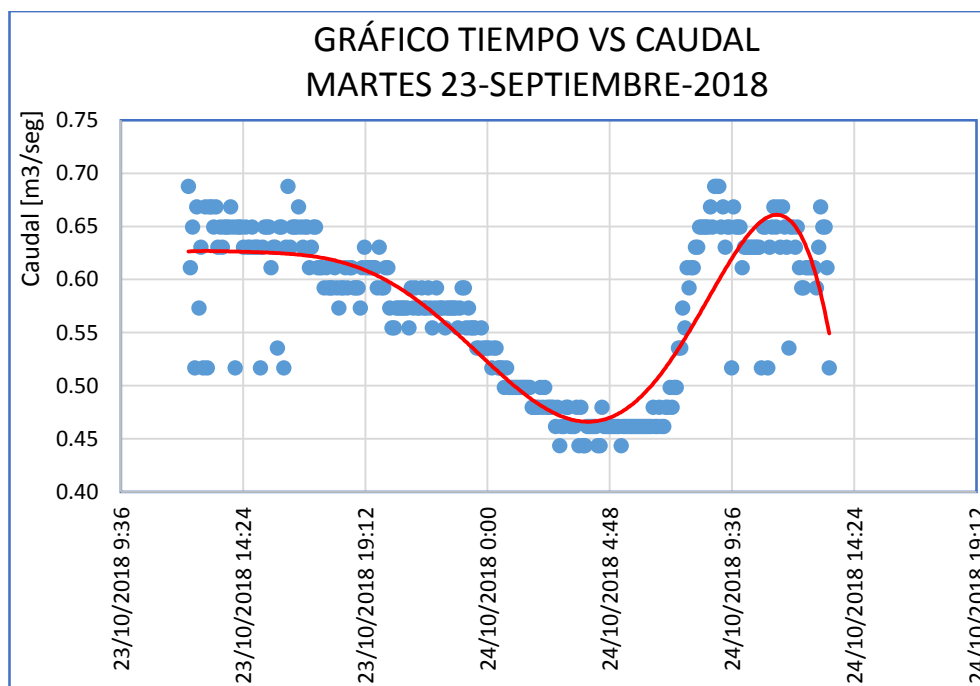
Día 4

Figura 3.46: Tiempo vs nivel de altura de caudal en la tubería, Interceptor XVIII, día 4

Fuente: Autores

Con los caudales cálculos se obtuvo la curva de comportamiento en cada una de las tuberías que componen el sistema de alcantarillado estudiado en los cuales se puede ver los tramos en los cuales el nivel del caudal es el máximo como el mínimo a lo largo del día de aforo.

3.5 Caudal en cada interceptor estudiado

Con los valores de máximo caudal calculados en cada uno de los interceptores estudiados se obtuvo la tabla 3.2 en el cual se observa el valor de altura de agua cuando el caudal es el máximo y también cual es la relación $\frac{y}{D}$ obtenida.

Tabla 3.2: Resumen de los caudales en cada interceptor

INTERCEPTOR	DIAMETRO [cm]	ALTURA DE AGUA EN LA TUBERIA [cm]	y/D	CAUDAL [m ³ /s]
Interceptor I	125	112	0.896	1.72
Interceptor II	50	33	0.660	0.20
Interceptor III	85	16	0.188	0.10
Interceptor VI-2	60	26	0.433	0.14
Interceptor IX	65	20	0.308	0.16
Interceptor X	50	20	0.400	0.03
Interceptor XII-A	65	27	0.415	0.10
Interceptor XVI	65	36	0.554	0.19
Interceptor XVIII	90	81	0.900	1.16

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

En los interceptores estudiados la relación entre las alturas de agua de los dos sensores ultrasónicos, (tubería y pozo) mostraron comportamientos similares en los siguientes interceptores I, II, III, VI-2, XII-A, XVIII, lo que permitió obtener ecuaciones con coeficientes de correlación mayores al cincuenta por ciento. En los interceptores IX, X, XVI los coeficientes de correlación obtenidos son menores al cincuenta por ciento, sin embargo están bastante cerca de este valor.

Con la recopilación de información en campo se observó el comportamiento hidráulico de los interceptores, cuando existe lluvia las tuberías de los interceptores I, II, VI-2, IX, XVIII trabajan a sección llena dificultando el levantamiento de información.

Una vez obtenida la información completa de los interceptores de estudio se obtuvieron los caudales y se observó que los resultados son coherentes con la realidad y con los datos de los aforos realizados por la empresa ETAPA EP.

RECOMENDACIONES

Cuando se analizó los datos levantados en cada uno de los interceptores de estudio se observó que los comportamientos de las alturas del agua son similares pero los datos que se obtiene con el sensor de altura instalado por la Empresa Etapa EP muestra irregularidades ya que la altura que se obtiene por este sensor en algunos interceptores es mayor al diámetro de la tubería de llegada al pozo lo que no es coherente ya que varía con la información levantada en campo

Interceptor VI-2: de la información recolectada de alturas de agua de los sensores instalados (anexo 5) se observa que las mediciones del sensor de la Empresa Etapa Ep están por encima del diámetro de la tubería con una diferencia hasta 93 cm, lo que no corresponde con la realidad, además, en caudales bajos el sensor no mide bien la altura del agua, probablemente porque la onda ultrasónica rebota en la media caña de hormigón que tiene el pozo de revisión. Se recomienda revisar la instalación del sensor de nivel colocado en el pozo de este interceptor.

Interceptor IX: las alturas de agua obtenidas por el sensor instalado por la Empresa Etapa EP (anexo 6) varía con respecto al diámetro de la tubería siendo hasta 92 cm mayor, lo que significa que la tubería trabaja a sección llena lo que no está de acuerdo a lo que sucede en la realidad, por esta razón se recomienda revisar la calibración o la ubicación del sensor de nivel instalado en el pozo.

Interceptor XVI: los datos obtenidos por los sensores instalados en este interceptor (anexo 10), indican que la información de las alturas de agua recolectadas por el sensor instalado por la empresa Etapa EP es mayor al diámetro de la tubería y registra alturas con una diferencia de hasta 61cm, lo que implica que la tubería trabaja a sección llena y esto no concuerda con la información levantada en campo. Se recomienda revisar la calibración y ubicación del sensor de nivel instalado por la empresa Etapa EP.

Bibliografía

- ActivaGPS. (2018). ActivaGPS. Recuperado el 26 de Enero de 2019, de ActivaGPS: <https://www.activagps.com/gps-portatil/2854-garmin-etrex-20x-.html>
- Alfaro, M., Carranza, L., & Gonzalez, I. (2012). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, aguas lluvias y planta de tratamiento de aguas residuales para el area urbana del municipio de San Isidro, departamento de cabañas. San Salvador. Obtenido de http://ri.ues.edu.sv/1698/1/DISE%C3%91O_DEL_SISTEMA_DE_ALCANTARILLADO_SANITARIO%2C_AGUAS_LLUVIAS_Y_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RE.pdf
- ANDECE, (. N. (2017). Cálculo hidráulico en sistemas de saneamiento - coeficiente de rugosidad. Madrid. Recuperado el 10 de Febrero de 2019
- Chow, V. T. (1959). Hidraulica de canales abiertos. New York: McGraw-hill.
- Chugnas, I., Avalos, C., Mantari, F., & Cruz, W. (2015). Determinacion experimental del coeficiente de rugosidad de manning superficies granulares mediante la simulación de un cause natural de seccion rectangular. Perú.
- Contreras, L. (2013). Blog historia de la informatica. Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de Blog historia de la informatica: <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>
- Etapá EP. (2018a). Etapa EP. Recuperado el 13 de Octubre de 2018, de Etapa EP: <https://www.etapa.net.ec/Informaci%C3%B3n/Quienes-somos>
- Etapá EP. (2018b). Etapa EP. Recuperado el 13 de Octubre de 2018, de Etapa EP: <https://www.etapa.net.ec/Informaci%C3%B3n/Saneamiento/Colectores-e-interceptores>
- González, A. (2013). Panamahitek. Recuperado el 22 de Marzo de 2019, de Panamahitek: <http://panamahitek.com/arduino/>
- Granlund, D., & Brännström, R. (2012). Smart City: The Smart Sewerage. 37th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks - Workshops, 856-859. Recuperado el 12 de Octubre de 2018
- Ibertrónica. (2018). Sistemas Oibertonoca. Recuperado el 20 de Febrero de 2019, de Sistemas Oibertonoca: <https://www.ibertronica.es/modulo-sensor-ultrasonidos-hc-sr04-para-arduino.html>
- Larriva, J., Fernandez de Cordova, J., & Calle, P. (2018). Monitoreo de interceptores, tanques de reserva y presiones en ETAPA EP. XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 439.
- Moncayo, J. (2011). Descripción de la Ciudad de Cuenca. Recuperado el 26 de Enero de 2019, de Descripción de la Ciudad de Cuenca: <https://jmoncayo1889.wordpress.com/category/descripcion-de-la-ciudad-de-cuenca-ecuador/>

- Naylamp Mechatronics. (2016). Naylamp Mechatronics. Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de Naylamp Mechatronics: https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-s.html
- Omega engineering inc. (2003). Omega a speciris company. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de Omega a speciris company: <https://cl.omega.com/prodinfo/medicion-de-nivel.html>
- OPS, (. P. (2005). Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Recuperado el 23 de Octubre de 2018, de <http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>
- Proserquisa. (2016). proserquisa.com. Obtenido de <http://cursoarduino.proserquisa.com/wp-content/uploads/2016/10/Tutorial-13-Modulo-sensor-Ultrasonico.pdf>
- Sánchez. (2005). Proyecto de sistemas de alcantarillado.
- See, C., Horoshenkov, K., Tait, S., Abd-Alhameed, R., Hu, Y., Elkhazmi, E., & Gardiner, J. (2009). A Zigbee based wireless sensor network for sewerage monitoring. 2009 Asia Pacific Microwave Conference, 731-734. Recuperado el 15 de Octubre de 2018
- Villón, M. (2007). Hidráulica de canales. En ., Villón Béjar, Hidráulica de canales (pág. 79). lima: Editorial Villón.

ANEXOS

Anexo 1: Programación del software Arduino para la recopilación y calibración de los datos levantados en campo

```
#include <Wire.h>

#define SLAVE_ADDRESS 0X04

int number = 0;
int u = 0;
int count = 0;
unsigned int dsum = 0;
int d_send = 0;

/////////////////////////////////
double coef = 0.94;
/////////////////////////////////

const int Trigger = 9; //Pin digital 9 para el Trigger del sensor
const int Echo = 10; //Pin digital 10 para el Echo del sensor

long t; //timepo que demora en llegar el eco
long d; //distancia en centimetros

void setup() {
  //Definir variables para I2C
  Wire.begin(SLAVE_ADDRESS);
  Wire.onReceive(receiveData);
  Wire.onRequest(sendData);
  Serial.println("Ready!");

  //Serial.begin(9600);//inicializamos la comunicación

  pinMode(Trigger, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
  digitalWrite(Trigger, LOW); //Inicializamos el pin con 0
  Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
```

```

digitalWrite(Triple, HIGH);
delayMicroseconds(10);    //Enviamos un pulso de 10us
digitalWrite(Triple, LOW);
t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
d = t/59*coef;            //escalamos el tiempo a una distancia en cm
u = number;
if (count < 300)
{
    dsum = dsum + d;
    count = count + 1;
}
if (count == 300)
{
    d_send = dsum/count;
    dsum = 0;
    count = 0;
}

Serial.print("count: ");
Serial.print(count);    //Enviamos serialmente el valor de la distancia
Serial.println();
Serial.print("Dsum: ");
Serial.print(dsum);    //Enviamos serialmente el valor de la distancia
Serial.println();
Serial.print("Distancia: ");
Serial.print(d);    //Enviamos serialmente el valor de la distancia
Serial.print("cm");
Serial.println();
Serial.print("Recibido: ");
Serial.print(u);
Serial.println();
Serial.print("Data send: ");
Serial.print(d_send);
Serial.println();
delay(1000);    //Hacemos una pausa de 100ms
}

void sendData(){
    byte dataSend[] = {d_send};
    Wire.write(dataSend, 3);
}

```

```
void receiveData(int byteCount){  
    while(Wire.available()) {  
        number = Wire.read();  
        //Serial.print("\t");  
        //Serial.print(number);  
    }  
}
```

Anexo 2: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor I

Anexo 3: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor II

Anexo 4: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor III

Anexo 5: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor VI-2

Anexo 6: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor IX

Anexo 7: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor X

Anexo 8: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor XII-A

Anexo 9: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor XVI

Anexo 10: Anexo digital, tabla en el software Excel interceptor XVIII

Anexo 11: Tabla de comparación de aforos

Caudal aforado por Etapa Ep			Caudal calculado tesis		
Interceptor	Altura en la tubería	Caudal	Interceptor	Altura en la tubería	Caudal
I	1.06	1.65	I	1.01	1.59
	1.12	1.72		1.04	1.63
	1.08	1.70		0.94	1.47
II	0.37	0.22	II	0.30	0.18
	0.27	0.23		0.30	0.18
	0.32	0.29		0.27	0.15
III	0.24	0.17	III	0.13	0.07
	0.20	0.21		0.04	0.01
	0.25	0.32		0.10	0.04
VI-2	0.22	0.08	VI-2	0.18	0.07
	0.30	0.10		0.17	0.06
	0.30	0.14		0.23	0.11
IX	0.38	0.54	IX	0.12	0.06
	0.25	0.27		0.14	0.08
	0.21	0.21		0.15	0.09
X	0.13	0.87	X	0.17	0.01
	0.14	0.73		0.17	0.01
	0.14	0.73		0.16	0.01
XII-A	0.15	0.68	XII-A	0.16	0.04
	0.14	0.61		0.16	0.04
	0.15	0.68		0.16	0.04
XVI	0.22	0.08	XVI	0.18	0.06
	0.07	0.01		0.06	0.01
	0.26	0.17		0.24	0.10
XVIII	0.70	0.64	XVIII	0.56	0.77
	0.44	0.29		0.50	0.65
	0.37	0.17		0.52	0.69