

**PROTOCOLO PARA LA OBTENCIÓN DEL VOLUMEN SUMINISTRADO DE  
UNA UNIDAD HIDRÁULICA DE SERVICIO PARA LA EAAV ESP,  
TOMANDO COMO EJEMPLO LOS DATOS CRUDOS DE LA  
MACROMEDICIÓN DISPONIBLES EN EL SECTOR LA ESPERANZA**

**MURUAGA GARZÓN FÉLIX JAVIER  
MURUAGA GARZÓN MARÍA DEL PILAR**

**CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
VICERRECTORIA REGIONAL LLANOS  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE PROYECTOS  
VILLAVICENCIO**

**2017**

**PROTOCOLO PARA LA OBTENCIÓN DEL VOLUMEN SUMINISTRADO DE  
UNA UNIDAD HIDRÁULICA DE SERVICIO PARA LA EAAV ESP,  
TOMANDO COMO EJEMPLO LOS DATOS CRUDOS DE LA  
MACROMEDICIÓN DISPONIBLES EN EL SECTOR LA ESPERANZA**

**MURUAGA GARZÓN FÉLIX JAVIER  
MURUAGA GARZÓN MARÍA DEL PILAR**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Especialista en Gerencia de Proyectos**

**Prof. JAVIER DARÍO PAVA REATIGA  
Asesor de Proyecto**

**CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
VICERRECTORIAREGIONAL LLANOS  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE PROYECTOS  
VILLAVICENCIO  
2017**

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a Dios por darnos la sabiduría, guía y ánimo de cumplir los objetivos profesionales propuestos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a nuestra familia, por la paciencia y apoyo en el cumplimiento de nuestras actividades académicas por el sacrificio de tiempo y atención que eso implica.

A la Universidad UNIMINUTO por los conocimientos adquiridos y la posibilidad de ampliar nuestro horizonte profesional.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	12
1 TITULO DEL PROYECTO	13
1.1 Líneas de Investigación	13
2. RESUMEN EJECUTIVO	14
3. PROBLEMA	16
3.1 Planteamiento Del Problema	16
3.2 Formulación Del Problema	17
4. JUSTIFICACIÓN E IMPACTO CENTRAL DEL PROYECTO	18
5. OBJETIVOS	20
5.1 Objetivo General	20
5.2 Objetivos Específicos	20
6. MARCO REFERENCIAL Y ANTECEDENTES	21
6.1 Marco Teórico	21
6.1.1 Descripción de la compañía	21
6.1.1.1 Objetivos y funciones	22
6.1.1.2 Mecanismos de control	23
6.1.2 Políticas empresariales	25
6.1.3 Volumen suministrado	27
6.1.4 Índice de agua no contabilizada INAC	28

6.1.5	Sectorización	29
6.2	Antecedentes	29
6.2	Descripción de la zona de estudio	34
6.2	Herramienta Gerencial	35
6.3	Marco Conceptual	36
6.4	Marco Legal	39
7	METODOLOGÍA	41
7.1	Tipo de Investigación	41
7.2	Técnicas De Recolección	42
7.3	Universo, Población Y Muestra	42
8	DESARROLLO DEL PROCESO DE MEDICIÓN	43
8.1	Nivel De Macromedición Existente Dentro De La Empresa De Acueducto	43
8.1.1	Nivel de macromedición uno (1)	43
8.1.2	Nivel de macromedición dos (2)	47
8.2	Responsable Emisión De Datos De Macromedición Niveles 1 Y 2	49
8.3	Metodología Para El Mantenimiento Y Aseguramiento De La Calidad De La Información De La Macromedición	50
8.3.1	Mantenimiento	50
8.3.1.1	Mantenimiento preventivo	51
8.3.1.2	Mantenimiento correctivo	56
8.3.1.3	Mantenimiento migratorio	57
8.3.1.4	Plan de mantenimiento	58
8.3.2	Aseguramiento de la calidad de la información de la macromedición	59

8.3.2.1 Plan de aseguramiento de la calidad de la información macromedida	61
8.3.2.2 Indicadores de gestión	61
8.3.2.3 Validez de los resultados	62
8.4 Metodología Para El Procesamiento De La Información De Datos Crudos	63
8.4.1 Registro de datos crudos	63
8.4.2 Consolidación de datos	65
8.4.3 Identificación de datos atípicos	70
8.4.3.1 Desarrollo del método estadístico Diagrama de Cajas	70
8.4.4 Análisis y validación de datos atípicos, anómalos o extraños	73
8.5 Metodología Cálculo Caudal Promedio Diario Y Mensual Del Punto De Medición	78
8.6 Metodología Para El Procesamiento, Análisis Y Validación De La Información	81
8.6.1 Análisis completitud de datos atípicos	81
8.6.1.1 Formato análisis completitud de datos	83
8.6.1.2 Criterios de evaluación completitud de datos	87
8.6.2 Análisis tendencias y desviaciones en la medición	88
8.6.2.1 Formato análisis tendencias y desviaciones de la medición	96
8.6.3 Análisis ocurrencia de daños en redes de distribución mayor o igual a 3” de diámetro	100
9 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	105
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	111

ANEXOS	114
BIBLIOGRAFIA	115



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Estructura código de medición propuesto - entradas y salidas de plantas.	44
<b>Tabla 2.</b> Estructura código de medición propuesto – Vol. suministrado unidad hidráulica.	48
<b>Tabla 3.</b> Código de medición propuesto - puntos materializados para unidades hidráulicas.	48
<b>Tabla 4.</b> Plan de mantenimiento equipos de macromedición	58
<b>Tabla 5.</b> Plan de aseguramiento de calidad de información macromedida.	61
<b>Tabla 6.</b> Criterios de evaluación completitud de datos	87
<b>Tabla 7.</b> Criterios de evaluación ocurrencia de daños	104
<b>Tabla 8</b> Cronograma De Proyecto De Grado 2017	105
<b>Tabla 9</b> Presupuesto requerido para el Proyecto de Grado	106

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación geográfica del área de estudio	34
<b>Figura 2.</b> Localización captaciones y plantas de tratamiento de agua potable EAAV ESP	45
<b>Figura 3</b> Sectorización propuesta para la EAAV ESP – Unidades Hidráulicas.	49
<b>Figura 4</b> Flujograma Metodología para el mantenimiento de los equipos de macromedición	52
<b>Figura 5.</b> Tabla tipo, presentación de datos crudos	63
<b>Figura 6.</b> Tabla tipo, presentación de datos crudos ausentes.	66
<b>Figura 7.</b> Ejemplos tipo, consolidación de datos para casos $\leq$ al 50% en ausencia de datos	67
<b>Figura 8.</b> Ejemplos tipo, consolidación de datos para casos $>$ al 50% en ausencia de datos.	68
<b>Figura 9.</b> Ejemplos tipo, consolidación de datos para casos $\leq$ al 50% en líneas de impulsión.	70
<b>Figura 10.</b> Partes de un diagrama de caja.	73
<b>Figura 11.</b> Relaciones posibles entre vol. suministrado, facturado y usuarios suscritos.	76
<b>Figura 12.</b> Propuesta hoja de cálculo presentación y análisis de datos crudos puntos de medición.	79
<b>Figura 13.</b> Grafica típica presentación de datos crudos por punto de medición.	80

<b>Figura 14.</b> Propuesta hoja de cálculo análisis completitud de datos.	84
<b>Figura 15.</b> Ejemplo grafica tendencia indicador ICDA Sector 9 (La Esperanza).	85
<b>Figura 16.</b> Propuesta hoja de cálculo balance hidráulico diario y mes	90
<b>Figura 17.</b> Propuesta presentación grafica balance hidráulico diario y mes	91
<b>Figura 18.</b> Propuesta presentación grafica balance hidráulico mensual histórico por unidad de distribución	93
<b>Figura 19.</b> Propuesta hoja de cálculo análisis variación en la medición mensual	99
<b>Figura 20.</b> Propuesta tabla de ocurrencia de daños por semestre y mes	102
<b>Figura 21.</b> Propuesta presentación grafica ocurrencia de daños por semestre y mes	103

## INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que el agua es un elemento vital para la supervivencia de la especie humana y que la EAAV es la empresa encargada del suministro de este líquido en su forma potable a las habitantes de la ciudad de Villavicencio, es necesario que se pueda determinar de forma exacta el volumen suministrado a cada sector de la ciudad para garantizar una adecuada prestación de este servicio.

Es propósito de este proyecto diseñar el protocolo para el análisis de los datos de las unidades hidráulicas de suministro arrojados por los macro medidores de forma que éste se convierta en herramienta gerencial para las decisiones administrativas y operativas de la empresa.

En la búsqueda de la información se toman como ejemplo los datos crudos de una unidad hidráulica del sector La Esperanza del año 2015, suministrados por la EAAV, para realizar el análisis completo de datos y poder establecer el protocolo.

Frente a este hecho, en este trabajo es importante dar cumplimiento a la línea de Gestión Social, Participación y Desarrollo Comunitario, por cuanto está enfocada a la determinación del volumen real de agua potable suministrado en busca del bien de toda la comunidad de la ciudad de Villavicencio.

## **1 TITULO DEL PROYECTO**

PROTOCOLO PARA LA OBTENCIÓN DEL VOLUMEN SUMINISTRADO DE UNA UNIDAD HIDRÁULICA DE SERVICIO PARA LA EAAV ESP, TOMANDO COMO EJEMPLO LOS DATOS CRUDOS DE LA MACROMEDICIÓN DISPONIBLES EN EL SECTOR LA ESPERANZA.

### **1.1 Líneas de Investigación**

De acuerdo con el sistema de investigación institucional que dispone la Corporación Universitaria Minuto de Dios, esta investigación se basa en la línea de Gestión Social, Participación y Desarrollo Comunitario, ya que la EAAV ESP provee el agua, elemento vital para la supervivencia del ser humano y que con este protocolo se definirá una forma real de medición del volumen suministrado de este preciado líquido.

## **2. RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo tiene como fin determinar el volumen de agua suministrado a través de un protocolo que se convertirá en herramienta gerencial para la toma de decisiones en cuanto a identificación de los valores correctos de suministro de agua en los diferentes sectores de la ciudad de Villavicencio. En este caso se toman como referencia los datos crudos de una unidad hidráulica del sector La Esperanza durante el año 2015.

La metodología que se planteó para esta propuesta de investigación, fue de tipo descriptivo y cuantitativo y el instrumento utilizado fueron los datos crudos suministrados por la EAAV respecto a una unidad hidráulica del sector La Esperanza de la ciudad de Villavicencio.

Se realizó el análisis de datos suministrados y se diseñó el protocolo para su análisis de forma que se convierta en herramienta gerencial para futuras tomas de decisiones.

## **Abstract**

This work aims to determine the volume of water supplied through a protocol that will become a managerial tool for decision making in order to identify the correct values of water supply in the different sectors of the city of Villavicencio. In this case, the raw data of a hydraulic unit of the La Esperanza sector during the year 2015 are taken as reference.

The methodology that was proposed for this research proposal was descriptive and quantitative and the instrument used was the raw data provided by the EAAV regarding a hydraulic unit of the La Esperanza sector of the city of Villavicencio.

The data analysis was performed and the protocol was designed for its analysis so that it becomes a managerial tool for future decision making.

### 3. PROBLEMA

#### 3.1 Planteamiento Del Problema

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio, debe calcular el índice de agua no contabilizada y uno de sus componentes, el volumen suministrado, no posee ninguna metodología o proceso de análisis. A pesar que la empresa posee a la fecha registros históricos de mediciones de caudal para el sector La Esperanza, no se realizan procesos de recolección, completitud de datos, análisis y validación de datos y cálculo de volúmenes suministrados, en este caso, para la única unidad hidráulica macro medida por la empresa.

Las consecuencias para la EAAV de no saber qué caudales suministra a cada una de las unidades hidráulicas es alto, ante el impedimento de tener total desconocimiento de qué zonas o áreas perciben o demandan mayor cantidad de agua y por ende mayor pérdida técnica de agua potable. Con el cálculo del IANC se podrían plantear programas de control y reducción de pérdidas, situación que se agudiza sabiendo que el IANC para la ciudad de Villavicencio se estima a la fecha de un 67%.

Con el protocolo que se desarrolla se genera una herramienta para que la EAAV organice, recolecte, analice, valide, calcule y divulge el volumen suministrado a cualquier unidad hidráulica macromedida y con ello estime junto con el volumen



facturado el IANC para finalmente tener las herramientas necesarias de ejecutar programas de control y reducción de pérdidas en las zonas de interés e identificarlas.

### **3.2 Formulación Del Problema**

¿Cuál es el protocolo a seguir para el análisis de los datos registrados en los macro medidores de las unidades hidráulicas de los diferentes sectores de la ciudad de Villavicencio?

#### **4. JUSTIFICACIÓN E IMPACTO CENTRAL DEL PROYECTO**

La problemática actual de saneamiento básico debida al crecimiento desordenado y desbordado de las diferentes poblaciones ha conllevado al desarrollo de infraestructuras físicas orientadas a la optimización de los recursos como el agua, con el fin de mejorar sustancialmente la calidad de vida de los seres humanos y así superar un tema considerado hoy de salud pública (Muruaga, 2017).

Visto así, dicho recurso es cada vez más escaso y costoso y por tal motivo se debe maximizar su utilización como elemento vital y a la vez sacar el mejor provecho y uso adecuado de la infraestructura instalada buscando un beneficio que resulte atractivo económicamente a la empresa como también que sea una alternativa de reducción en el manejo eficiente de tan importante recurso.

La Superintendencia de Servicios Públicos exige a las empresas prestadores del servicio de agua potable calcular y reducir el Índice de Agua No Contabilizada (IANC), situación en que la EAAV se encuentra en proceso, con la materialización de la sectorización hidráulica. Para acompañar este proceso que desarrolla la EAAV y ante la necesidad identificada de no saber como calcular uno de los dos componentes del IANC correspondiente al volumen suministrado y basado en registros históricos de caudal, nace el alcance de este trabajo de grado en plantear un protocolo para la obtención de este componente. (Muruaga, 2017)

Por otro lado de acuerdo a la Resolución 0330 del 8 de Junio de 2017 en su artículo 58 define "que todos los sectores hidráulicos deben contar con equipos de medición de caudal en todas las entradas, así como en todas las salidas hacia otros sectores, siendo así que el cálculo del volumen de agua potable suministrado a cada sector por las mediciones que registre los equipos de caudal es una actividad que debe ser ejecutada por las entidades prestadoras de servicio de agua potable y en el afán de calcular y reducir el Índice de Agua No Contabilizada – IANC que de acuerdo al artículo 44 de la misma resolución no debe superar el 25%, donde es preocupante que para la ciudad de Villavicencio el IANC es de alrededor del 67%. (Acodal, 2017)

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo General**

- Elaborar un protocolo para el análisis de los datos crudos de una unidad hidráulica de servicio que permita conocer el volumen real de agua potable suministrada a un sector específico de la ciudad.

### **5.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar los datos crudos de una unidad de servicio del sector La Esperanza durante el año 2015.
- Plantear un procedimiento de análisis de los datos crudos que arrojan los macro medidores mediante procesos de completitud, identificación de datos atípicos y validación.
- Determinar la importancia de conocer con exactitud el volumen real de agua potable suministrado en una unidad hidráulica de servicio de un sector de la ciudad de Villavicencio.

## **6. MARCO REFERENCIAL Y ANTECEDENTES**

### **6.1 Marco Teórico**

#### **6.1.1 Descripción de la compañía**

La EAAV (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio), es una empresa industrial y comercial de estado del orden municipal que presta los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado sanitario en la ciudad de Villavicencio departamento del Meta hace aproximadamente veinte años, abasteciendo a una población aproximada de 400.000 habitantes con una cobertura del 80% tanto en acueducto como en alcantarillado y adicionalmente en otros servicios como: distribución de gas combustible, energía, telefonía fija pública básica conmutada, telefonía móvil en el sector rural, servicios de telecomunicaciones en el sector rural, recolección y disposición final de basuras, administración y operación de plazas de mercado, alumbrado público y cualquier actividad conexas o complementaria propia de todos estos servicios. (Eaav, 2017)

Se encuentra certificada en todos los procesos bajo las normas ISO 9001:2008 y NTCGP 1000:2009 por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

Icontec para la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. (Eaav, 2017)

#### **6.1.1.1 Objetivos y funciones**

- ✓ Optimizar la infraestructura del sistema de acueducto para garantizar a los usuarios la calidad del agua ofrecida, la continuidad del servicio, el aumento de cobertura y la disminución del índice de agua no contabilizada. (Eaav, 2017)
- ✓ Optimizar la infraestructura del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial para descontaminar las fuentes hídricas que rodean la ciudad, garantizar un sistema de conducción óptima de traslado de aguas desde el lugar que se generan hasta el sitio donde se disponen, mitigar
- ✓ Inundaciones en sitios críticos y optimizar componentes de recolección.
- ✓ Lograr la protección y conservación del recurso hídrico mitigando los impactos ambientales para generar adecuado equilibrio entre naturaleza, partes interesadas y empresa.
- ✓ Garantizar la viabilidad financiera de la empresa diseñando estrategias que maximizan la eficiencia de los recursos y mecanismos que generen nuevos ingresos.

- ✓ Consolidar equipo humano competente que labora en condiciones seguras.
- ✓ Mejorar la confianza y relación con los usuarios y grupos de interés.

### 6.1.1.2 Mecanismos de control

#### Control externo

- ✓ **Superintendencia de servicios públicos domiciliarios:** Realiza las funciones de inspección, control y vigilancia según la ley 142 de 1994. (Eaav, 2017)
- ✓ **Comisión reguladora de agua potable y saneamiento básico:** Unidad adscrita al Ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial que regula la actividad de los prestadores de servicios públicos de acueducto, alcantarillado, aseo y promueve la competencia del sector evita abusos de posición dominante, impulsa sostenibilidad y garantiza la prestación de servicios de calidad con Ampla cobertura y tarifas razonables para los usuarios. (Eaav, 2017)
- ✓ **Contraloría Municipal de Villavicencio:** Ejerce el control fiscal de los recursos del municipio de Villavicencio. (Eaav, 2017)

- ✓ **Concejo Municipal de Villavicencio:** Ejerce el control político y expide normas para promover el desarrollo integral de la ciudad y sus habitantes en cumplimiento de los fines esenciales del derecho. (Eaav, 2017)
- ✓ **Procuraduría General de la Nación:** Máximo organismo del Ministerio Público que vela por el correcto ejercicio de las funciones encomendadas en la Constitución y la ley a servidores públicos. (Eaav, 2017)
- ✓ **Personería Municipal:** Orienta y asesora a los ciudadanos en defensa de sus intereses recepcionando quejas y reclamos referentes al funcionamiento de la administración, eficiencia y continuidad de los servicios públicos. (Eaav, 2017)
- ✓ **Contaduría General de la Nación:** Unidad adscrita al Ministerio de Hacienda y Crédito Público que ejerce inspecciones sobre cumplimiento de normas de la Contaduría General de la Nación e impone medidas o sanciones necesarias por infracción a las mismas. (Eaav, 2017)

### **Control Interno**

**Junta Directiva:** Máximo órgano de dirección de la empresa que evalúa su desempeño basándose en informes de Gerencia y formula y orienta políticas institucionales, planes y programas de la empresa. (Eaav, 2017)



**Control Interno de Gestión:** Evalúa la gestión, el sistema de control interno y el mecanismo de control interno al interior de la empresa. (Eaav, 2017)

**Control Interno Disciplinario:** Adelanta los procesos disciplinarios a funcionarios de la empresa que incurren en faltas disciplinarias de conformidad con la ley 734 de 2002 y la ley 1474 de 2011.

### 6.1.2 Políticas empresariales

- **Ambiental:** La empresa asume como responsabilidad la protección del ambiente y el cumplimiento de los requisitos legales ambientales aplicables y otros requisitos a través de la prevención de la contaminación y el uso racional de los recursos naturales en el marco de la mejora continua. (Eaav, 2017)
- **Servicios:** La empresa presta el servicio con talento humano calificado, atención adecuada, cumplimiento de la normatividad vigente y buscando la satisfacción de las partes interesadas. (Eaav, 2017)
- **Calidad:** La empresa busca la satisfacción del cliente, promoción, prevención, protección de la salud, seguridad de sus trabajadores, cuidado del medio ambiente y responsabilidad social en el marco de la legislación vigente. (Eaav, 2017)

- **Orientación al logro:** Todas las acciones encaminadas al cumplimiento de los objetivos estratégicos con talento humano comprometido. (Eaav, 2017)
- **Comunicaciones:** Comunicación respetuosa, transparente, oportuna y coherente con los grupos de interés a través de los diversos canales de atención. (Eaav, 2017)
- **Gestión del Talento Humano:** Cultura de potencialización y desarrollo de competencias laborales y capacitaciones periódicas. (Eaav, 2017)
- **Responsabilidad Social:** La empresa se comporta como ciudadano corporativo responsable capaz de adelantarse a las necesidades de la sociedad y generar soluciones que contribuyan a la armonía del entorno en el que opera, promoviendo la preservación y conservación del agua como recurso vital para la vida. (Eaav, 2017)
- **Compras de bienes y servicios:** Estandarización de procesos de adquisición de bienes, obras y servicios, mantener procesos de calidad de productos, elección y evaluación de proveedores. (Eaav, 2017)
- **Innovación:** Uso de tecnologías adecuadas que generan beneficios y confiabilidad para los usuarios. (Eaav, 2017)
- **Financiera:** El área financiera de la EAAV administra los recursos garantizando la disponibilidad y su correcta y eficiente ejecución. (Eaav, 2017)

- **Seguridad y Salud en el trabajo:** Cumplimiento de las exigencias legales y reglamentarias vigentes, prevención de lesiones y enfermedades, control de peligros. (Eaav, 2017)
- **Administración del riesgo:** Mecanismos necesarios para evitar, reducir, compartir y asumir riesgos relacionados con el desarrollo de procesos que afecten negativamente a personas, instalaciones, bienes y equipos. (Eaav, 2017)

### 6.1.3 Volumen suministrado

Los volúmenes que intervienen en el proceso de producción y suministro de agua potable son: (Jiménez, 2002)

- **Volumen Captado:** Volumen de agua tomado por la empresa del medio natural.
- **Volumen de pérdidas en aducción.** Volumen de agua intercambiado con el exterior en las tuberías e instalaciones de aducción.
- **Volumen de entrada en las plantas.** Volumen de agua medido en la entrada de las instalaciones de producción de agua potable.
- **Volumen consumido en las plantas.** Volumen de agua requerido para el funcionamiento de las plantas de producción.

- **Volumen suministrado.** Volumen de agua que sale de las plantas de tratamiento hacia la red de distribución.
- **Ajustes al volumen producido.** Volumen de agua necesario para atender servicios no comercializados de carácter público o para mantener el funcionamiento apropiado de la red de distribución. Estos se descuentan del volumen producido para el cálculo del IANC.

#### 6.1.4 Índice de agua no contabilizada INAC

El IANC índice de Agua no contabilizada se relaciona con un indicador el cual nos permite tener un diagnostico que mide la eficiencia general sobre un servicio prestado. (Jiménez, 2002)

Se resume en el volumen total de agua potable que es producida y que no es facturado al usuario final.

En Colombia, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico definió mediante Resolución 12 de 1995, la fórmula para el cálculo del índice de agua no contabilizada, IANC, para una empresa, así: (Jiménez, 2002)

$$\text{IANC} = \frac{\text{Volumen suministrado} - \text{Volumen facturado}}{\text{Volumen suministrado}}$$

Volumen suministrado

### **6.1.5 Sectorización**

Es la segmentación, parcelación, delimitación o división del área de servicio de un sistema de acueducto en unidades de distribución homogéneas, aisladas e independientes, útiles para macro medir volúmenes suministrados, optimizar las condiciones de servicio, calcular el índice de agua no contabilizada (IANC), formular proyectos de control de pérdidas y establecer las causas de estas. Sus divisiones se conocen como zona, sector, subsector, distrito, circuito, sub cuenca, cuenca o micro cuenca, entre otras (Jiménez, 2002).

## **6.2 Antecedentes**

Ante la necesidad de abastecimiento de agua potable a una población concentrada nació la concepción de los sistemas de acueductos urbanos, que históricamente tuvo un predominio técnico en la planificación, diseño y construcción. Actualmente se incluyen nuevos aspectos para los sistemas de acueductos urbanos y de importancia para las empresas prestadoras, como los temas económicos, financieros y ambientales, que en su desarrollo implican generar herramientas en beneficio de la operación, control y optimización de los sistemas de producción y distribución de agua potable, siendo la macro medición protagonista de este tema, como se describe a continuación: (Cruz, Mauricio, 2014)

- Durante la operación, control y optimización de un sistema de acueducto, sin el conocimiento de los volúmenes producidos, distribuidos, vendidos, facturados, cobrados y contabilizados, presiones de servicio y calidad del agua producida, transportada y entregada a los usuarios, resulta imposible para las empresas prestadoras de este servicio tener una compañía auto sostenible, con un servicio óptimo y de alta calidad y con una buena organización, gestión y administración empresarial.
- La sectorización, junto con la macro medición, cumple una estrategia de operación, control y optimización, que comprende la segmentación, parcelación, delimitación o división del área de servicio de un sistema de acueducto en unidades de distribución homogéneas, aisladas e independientes en las cuales es posible macro medir y consolidar volúmenes suministrados, presiones de servicio y parámetros de calidad de agua. Además, con los volúmenes suministrados macro medidos y los volúmenes facturados micro medidos es posible calcular parámetros de calidad como el índice de agua no contabilizada (IANC), que es una herramienta útil para diagnosticar la eficiencia de una entidad prestadora de servicio, estimando las pérdidas relativas de agua potable para cada una de las unidades de distribución definidas para el sistema de redes de acueducto.
- La macro medición permite determinar, analizar y divulgar datos temporales o permanentes de producción, conducción y distribución, relativos a caudales, presiones y parámetros de calidad de agua y a niveles de puntos

significativos dentro del sistema de acueducto, dependiendo de la sectorización.

- Con una sectorización definida sobre el sistema de redes de acueducto urbano y la implementación de la macro medición, las empresas operadoras con los resultados históricos que se deriven de las mediciones de caudal y presión por áreas de servicio, podrán definir actividades puntuales que permitan la búsqueda de fugas y establecer proyectos estructurados en las inversiones de reducción de pérdidas, que implicaría beneficios económicos y mejores balances financieros ante la reducción de pérdidas de agua por fugas, sub medición o consumos fraudulentos.
- Con los registros históricos basados en la macro medición (caudal, presión y calidad de agua), las empresas operadoras podrán predecir el comportamiento hidráulico del sistema, incluso sobre cambios operaciones y daños repentinos. Esto implica reacciones más rápidas del operador, mejor calidad en la operación y control del servicio de acueducto.
- Para un sistema de acueducto urbano la macro medición facilita el diagnóstico, que puede ser específico de elementos de la red de acueducto, tales como capacidad de las redes y elementos hidráulicos, pérdidas de carga, coeficientes de rugosidad, medidas de consumo y detención de fugas. También facilita el planeamiento del sistema, la concepción y ejecución de los diseños nuevos y de optimización, la operación en el conocimiento del comportamiento hidráulico ordinario de los componentes del sistema, el

mantenimiento del sistema y la comercialización del agua potable, todo ello en cumplimiento de las normas técnicas y de calidad.

- Debido al auge en la inversión de sistemas de macro medición, actualmente existe un amplio mercado en equipos que permiten observar la evolución de muchas tecnologías y diseños aplicativos. Existe gran variedad en costos, precisión, de aplicación, dependiendo de la temperatura del fluido, flujo de medición, tamaños de las líneas o simplemente de su entorno hidráulico, como la utilización de equipos a presiones por debajo de la presión atmosférica o en condiciones de altas presiones, lo cual permite la implementación de la macro medición para cualquier condición física, hidráulica y económica particular del sistema de acueducto.
- Las empresas de servicios públicos encargadas del suministro de agua potable están reguladas por entidades del Estado que controlan los monopolios naturales y competencias económicas, la calidad del servicio, la gestión empresarial y tarifaria, que para el caso de un sistema de acueducto la macro medición se convierte en una herramienta que facilita, agiliza, gestiona, opera y controla este recurso natural, de tal forma que las empresas reguladoras puedan diagnosticar, evaluar o controlar un sistema de acueducto en beneficio de una población servida.
- La macro medición dispuesta en un sistema de acueducto consolida un sistema de distribución que garantiza un servicio de calidad y continuidad, con altos beneficios operacionales, económicos, financieros y ambientales ante las acciones de optimización en la reducción de pérdidas de agua en el



sistema, que involucraría racionalidad económica del volumen de agua entregada a los usuarios con el mejoramiento en la disponibilidad del recurso agua, reducción de costos de potabilización, de distribución y de comercialización.

De esta forma se entiende que sin la macro medición e indirectamente sin el cálculo del volumen suministrado a unidades hidráulicas y más allá en la estimación del Índice de Agua No Contabilizada - IANC no hay herramientas necesarias para que las empresas prestadoras del servicio de agua potable puedan operar, controlar o optimizar su sistema de acueducto y, consecuentemente, generar resultados con beneficios económicos, financieros y ambientales.

Las razones para no implementar la macro medición y cálculo del volumen suministrado a las unidades hidráulicas en un sistema de acueducto urbano es ignorar su importancia, la falta de interés en saber lo que está pasando en un sistema de acueducto o en la falta de predecir y reaccionar rápidamente ante cualquier evento atípico del sistema operacional.

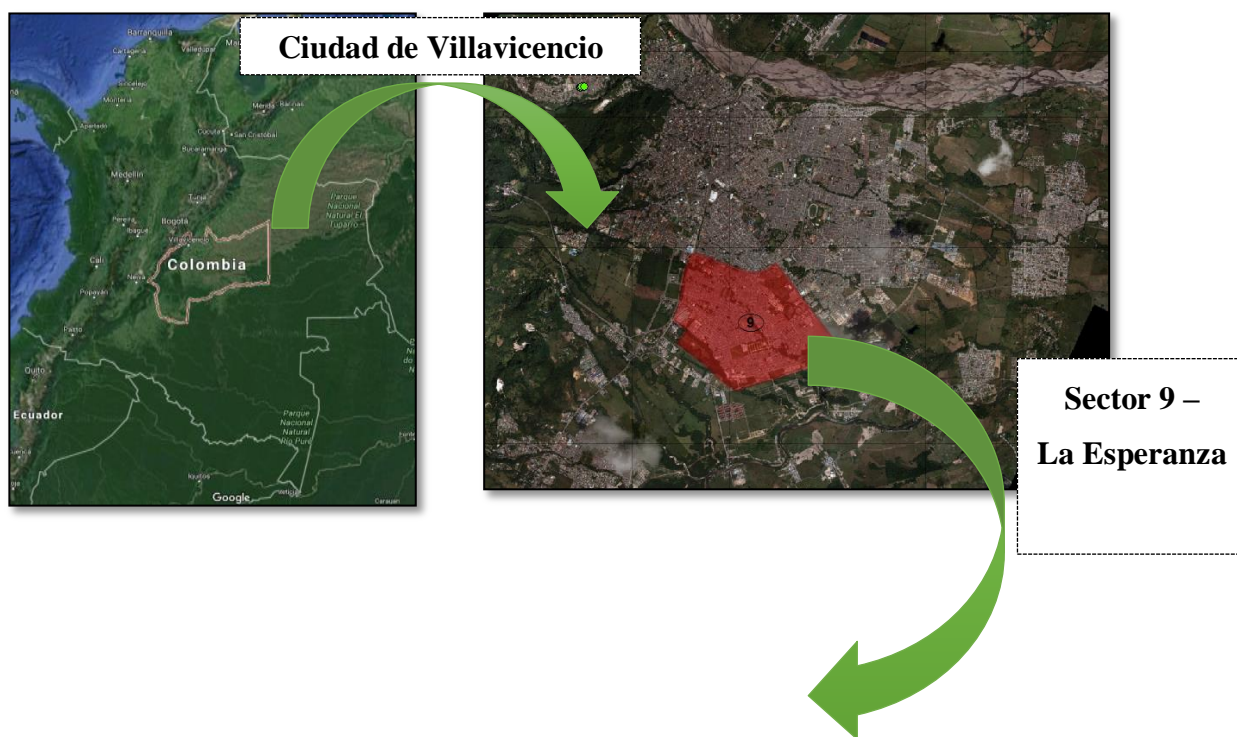
Para la EAAV el no saber qué caudales suministra a cada una de las unidades hidráulicas es preocupante, ante el impedimento de tener total desconocimiento de qué zonas o áreas perciben o demandan mayor cantidad de agua y por ende mayor pérdida técnica de agua potable. Con el cálculo del IANC se podrían plantear programas de control y reducción de pérdidas, situación que se agudiza sabiendo que el IANC para la ciudad de Villavicencio se estima a la fecha de un 67%.

## 6.2 Descripción de la zona de estudio

El área de estudio del presente proyecto de investigación se encuentra en Colombia, en el Departamento del Meta en la ciudad de Villavicencio y Sector La Esperanza del sistema de acueducto de la EAAV ESP.

Su localización geográfica se muestra particularmente en la siguiente figura:

**Figura 1 Ubicación geográfica del área de estudio**





**Fuente:** (Imagen satelital Villavicencio 2012)

## 6.2 Herramienta Gerencial

Tal y como su nombre lo evoca las herramientas gerenciales o administrativas no son más que un auxilio o una serie de técnicas modernas que les permite a los gerentes tomar decisiones cruciales y oportunas ante algún tipo de disparidad o desequilibrio en los procesos productivos, económicos, políticos y sobre todo sociales que constituyen la naturaleza y esencia de la empresa. (Anonimo, 2013)

Este protocolo pretende ser precisamente eso, una herramienta gerencial que permita la toma de decisiones en busca del bien de la comunidad como es el suministro adecuado del agua potable, al permitir analizar el registro del volumen suministrado, las

posibilidades de error en estos registros y adicionalmente la importancia de los adecuados mantenimientos preventivos y correctivos de los macro medidores.

### **6.3 Marco Conceptual**

**Macro medición:** actividad que se utiliza para medir a gran escala (macro) un componente. Para un sistema de acueducto que transporta agua potable en conductos cerrados y a presión se hace medición de caudales, presiones y parámetros de calidad de agua (Jiménez, 2002)

**Índice de agua no contabilizada:** es un indicador que mide las pérdidas relativas de agua potable en una unidad de distribución del sistema de acueducto. Se utiliza para diagnosticar la eficiencia general de una entidad prestadora del servicio de agua potable. Corresponde a la diferencia entre el volumen total del agua tratada y suministrada al sistema de acueducto y el volumen total de agua contabilizada como consumo de los usuarios (Jiménez, 2002)

**Volumen captado:** es el volumen de agua tomado por el operador del sistema de acueducto, generalmente de medios naturales, para suplir las necesidades de una comunidad en particular (Cruz, 2009).

**Volumen producido o suministrado:** es el volumen de agua que sale de las plantas de tratamiento de agua potable hacia la red de distribución y áreas de servicio (Cruz, 2009)

**Volumen facturado:** es el volumen de agua contabilizada como consumo de los usuarios, medida con la micro medición en el sistema de acueducto (Cruz, 2009)

**Unidad de distribución:** se refiere a la unidad o sector hidráulico que define una sectorización: zona, sector, subsector, distrito, circuito, sub cuenca, cuenca o micro cuenca (Cruz, 2009)

**Sectorización:** es la segmentación, parcelación, delimitación o división del área de servicio de un sistema de acueducto en unidades de distribución homogéneas, aisladas e independientes, útiles para macro medir volúmenes suministrados, optimizar las condiciones de servicio, calcular el índice de agua no contabilizada (IANC), formular proyectos de control de pérdidas y establecer las causas de estas. Sus divisiones se conocen como zona, sector, subsector, distrito, circuito, sub cuenca, cuenca o micro cuenca, entre otras (Jiménez, 2002)

**Válvula de cierre permanente:** son válvulas de corte que se disponen sobre la red de distribución para separar de forma permanente las zonas de servicio o sectores hidráulicos (MDE, 2010)

**Válvula de aislamiento temporal:** son válvulas de corte que se disponen sobre la red de distribución para separar temporalmente zonas de servicio o sectores hidráulicos, maniobradas, generalmente de cerradas a abiertas, por el cambio de un servicio o reparaciones en la red (MDE, 2010)

**Volumen por error en la medición:** corresponde a la parte del volumen suministrado y consumido por los usuarios de un sistema o área de servicio, que no factura a causa de la imprecisión original en la sensibilidad o deterioro de exactitud con el tiempo del aparato de medición (Cruz, 2009)

**Fugas visibles:** corresponden a todas aquellas fugas que tiene consecuencias visibles, que permiten ubicar el punto de rotura sobre la tubería y su consecuente reparación (Jiménez, 2002)

**Fugas semi visibles:** son aquellas fugas que producen algunos efectos, sin que éstos permitan rastrear la ubicación exacta del punto de rotura sobre la red (Jiménez, 2002).

**Fugas no visibles:** existen numerosas fugas no visibles, que no presentan algún efecto que pueda ser percibido de manera evidente. No se traduce en presencia de agua superficial (Jiménez, 2002)

**Curvas de consumo:** corresponde a la información horaria de caudales macro-medidos para un área de servicio en particular. (Cruz, 2009)

**Implementación de la macro medición:** corresponde a la ejecución de diseños, obras civiles y suministros e instrumentación de los equipos de macro medición de caudales, presiones y calidad de agua. (Cruz, 2009)

**Transmisor:** son dispositivos electrónicos que procesan la señal que representa la variable física medida por el sensor y la convierten en una señal de salida estandarizada por el sistema para su registro, control o manipulación. También dispone de un indicador que muestra las lecturas de los valores medidos (Cruz, 2009)

#### **6.4 Marco Legal**

##### **- Resolución 0330 del 8 de Junio de 2017**

Artículo 44.: El porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación anterior engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema (como conducciones, aducciones y redes), así como las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable, y no deberá superar el 25%.. (Acodal, 2017)

Artículo 58. Sectorización Hidráulica. Todas las redes deben estar sectorizadas con el fin de lograr la racionalización del servicio. El diseño de la sectorización debe estar basado en los resultados obtenidos en la modelación hidráulica.

Parágrafo. Todos los sectores hidráulicos definidos deben contar con equipos de medición de caudal en todas las entradas, así como en todas las salidas hacia otros sectores. (Acodal, 2017)

**Ley 142 de 1994 (11 de julio) Diario Oficial número 41.433 del 11 de julio de 1994**

SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.



## 7 METODOLOGÍA

### 7.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo explicativa cuantitativa, la cual se implementará en el sector La Esperanza, buscando analizar los datos crudos de una unidad hidráulica con el fin de determinar el volumen de agua suministrada en ese sector y proponer el protocolo a seguir para el manejo gerencial de dichos datos.

La investigación de tipo explicativa ya no solo describe el problema o fenómeno observado sino que se acerca y busca explicar las causas que originaron la situación analizada.

En otras palabras, es la interpretación de una realidad o la explicación del por qué y para qué del objeto de estudio; a fin de ampliar el “¿Qué?” de la investigación exploratoria y el “¿cómo?” de la investigación descriptiva.

La investigación de tipo explicativa busca establecer las causas en distintos tipos de estudio, estableciendo conclusiones y explicaciones para enriquecer o esclarecer las teorías, confirmando o no la tesis inicial. (Camila, 2017)

## **7.2 Técnicas De Recolección**

La entrevista es una técnica que consiste en recoger información mediante proceso directo de comunicación entre entrevistador y entrevistado en el cual el entrevistado responde a cuestiones previamente diseñadas en función de las dimensiones que se pretenden estudiar , planteadas por el entrevistador. (Bernal, 2010)

En este caso se realizó la entrevista con la Gerencia técnica de la EAAV para solicitar los datos crudos del sector La Esperanza a la EAAV registrados durante el año 2015(medio magnético)

## **7.3 Universo, Población Y Muestra**

En este caso el universo a estudiar es el sector La Esperanza en la ciudad de Villavicencio, donde se realizará el análisis de los datos de una unidad hidráulica del sector elegido ya que es el único sector con macro medidores instalados y del cual se tiene registro de datos durante un año completo.

La población a estudiar son los 13.756 usuarios del sector La Esperanza.

La muestra son los datos crudos de una unidad hidráulica del sector La Esperanza, otorgados por la EAAV, los cuales pueden ser vistos en medio magnético debido a la magnitud de la matriz.

## **8 DESARROLLO DEL PROCESO DE MEDICIÓN**

### **8.1 Nivel De Macro medición Existente Dentro De La Empresa De Acueducto**

En la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio de acuerdo a sus proyecciones hechas en sectorización, se pueden identificar dos niveles de macro medición, los cuales pueden ser utilizados para desarrollar los informes de macro medición mensual, donde el nivel No.1 corresponde al más alto o el que mide el total bruto captado y producido por la EAAV E.S.P correspondiente a la macro medición que se deriva de las plantas de tratamiento de agua potable y el nivel No. 2 que corresponde a la macro medición que se deriva de los sectores hidráulicos proyectados y definidos en etapa de diseño, véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y del cual el Sector 9 (Esperanza) se encuentra materializado con el suministro e instalación de 6 macro medidores tipo electromagnéticos.

#### **8.1.1 Nivel de macro medición uno (1)**

Una macro medición antes y después de las plantas de tratamiento el cual mide el volumen mensual total bruto de agua captada y producida por la EAAV E.S.P. La Empresa actualmente mide el caudal producido por la PTAP La Esmeralda con equipos

electromagnéticos y sistema de telemetría ubicados en las tuberías de salida de la planta. Los otros puntos de producción y de captación de agua potable no disponen de esta tecnología, con sistemas que se mide en los mejores casos con canaleta parshall u otro sistema de medición ocular.

Recuerde que a la entrada de las PTAP se le conoce como agua cruda captada y a la salida como agua tratada producida.

Las plantas de tratamiento que intervienen en el proceso de producción de agua potable para la ciudad de Villavicencio y veredas vecinas, y propuesta del código del punto de medición a la entrada y salida en el cálculo del volumen captado y producido de las plantas son:

**Tabla1. Estructura código de medición propuesto - entradas y salidas de plantas.**

<b>Id</b>	<b>Descripción</b>	<b>Código punto de medición propuesto – Volumen Captado (Entrada Plantas)</b>	<b>Código punto de medición propuesto – Volumen Producido (Salida Plantas)</b>
1	<b>Planta La Esmeralda</b>	Bocatoma Q. Honda → MBOC-QH Bombeo Bavaria → MBOC -Bv Bombeo Puente Abadía → MBOC - PA	Línea Club Meta → MPTAP-E1 Línea Hotel Llano → MPTAP-E2 Línea Carabineros → MPTAP-E3 Bombeo Virrey → MPTAP-E4
2	<b>Planta Fuentes Altas</b>	Bocatoma C. Buque → MBOC-CBu Bocatoma C. Maizaro → MBOC-CM	MPTAP-FA1 MPTAP-FA2
3	<b>Pozo Profundo – El Darién</b>	MBOC-ED	MPTAP-ED
4	<b>Pozo Profundo – Saman de la Rivera</b>	MBOC –SR	MPTAP-SR
5	<b>Pozo Profundo – Bosques de Abajam</b>	MBOC –BA	MPTAP-BA
6	<b>Pozo Profundo – El Charrascal</b>	MBOC –EC	MPTAP-EC
7	<b>Planta Caño Blanco</b>	Bocatoma C. Blanco → MBOC-CBI	MPTAP-CBI
8	<b>Planta Caño Grande</b>	Bocatoma C. Grande → MBOC-CG	MPTAP-CG
9	<b>Pozo Profundo – La Reliquia</b>	MBOC –LR	MPTAP-LR

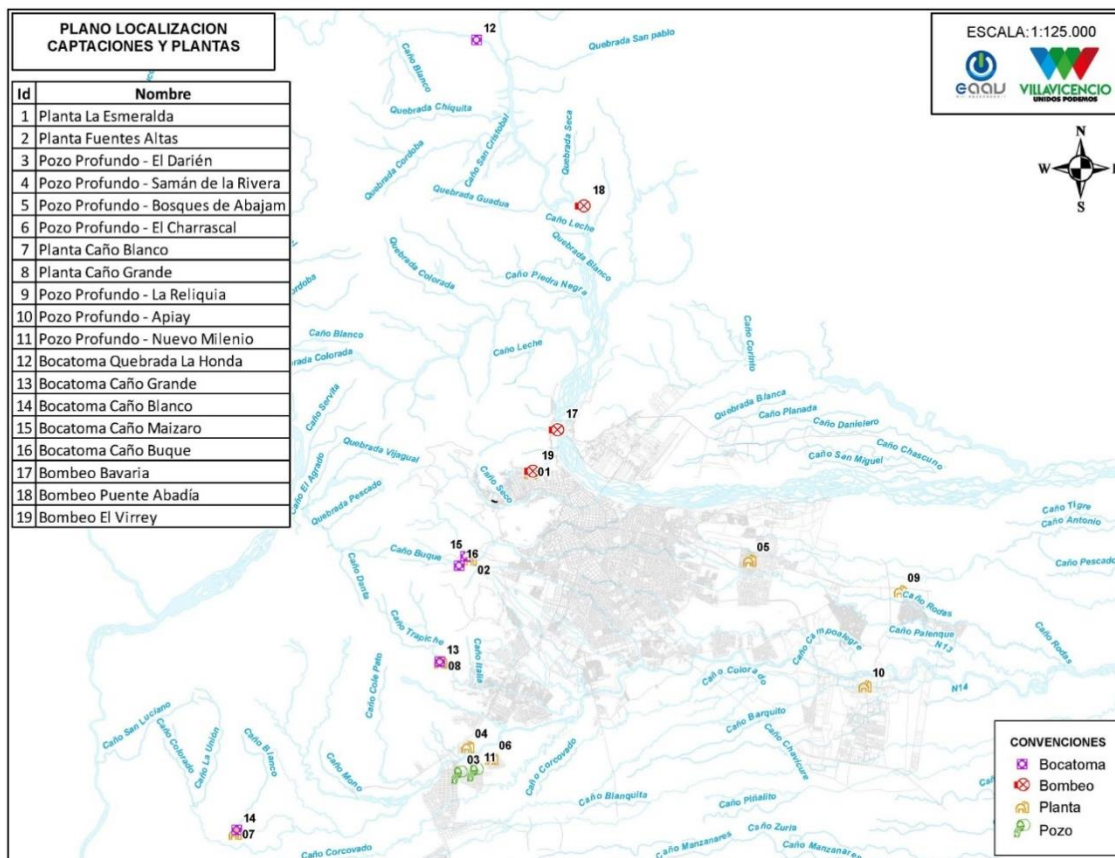
10	Pozo Profundo – Apiay	MBOC –Ap	MPTAP-Ap
11	Pozo Profundo – Nuevo Milenio	MBOC –NM	MPTAP-NM

Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

Con la suma respectiva de las lecturas diarias a la entrada y salida de las plantas de tratamiento se conoce el *volumen mensual total bruto de agua captada y producida* respectivamente por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio.

La Figura 2 caracteriza la ubicación de cada uno de los puntos de captación y producción de agua potable (PTAP) de La Empresa, e igual corresponde a los sitios identificados en la Tabla 1.

**Figura 2. Localización captaciones y plantas de tratamiento de agua potable EAAV ESP**



Fuente: EAAV ESP - SIGVI

### **8.1.2 Nivel de macro medición dos (2)**

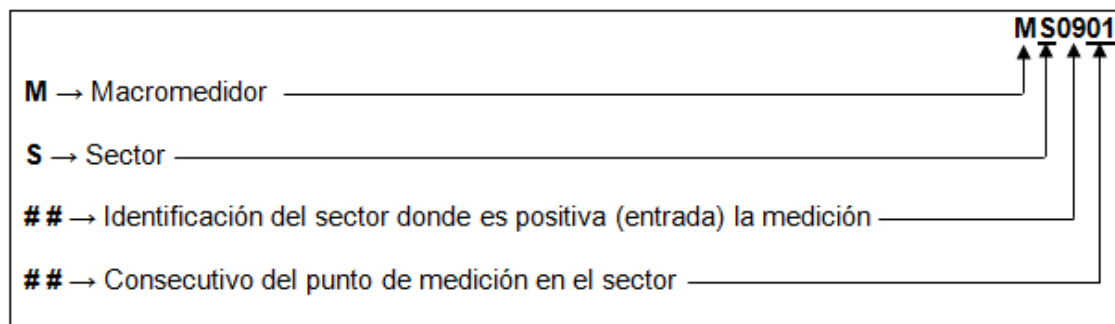
Una macro medición para las unidades hidráulicas y consecuentes en un nivel inferior del anterior (véase numeral 8.1.1 - Nivel de macro medición uno (1)). Como se comentó La Empresa cuenta con una proyección de sectorización, que distribuye las zonas servidas por La Empresa en 14 Sectores Hidráulicos, con la materialización a la fecha con uno de ellos y correspondiente al Sector 9 (Esperanza). La sectorización dispuesta en un nivel 2 se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**de este documento.

Como se comenta La Empresa actualmente cuenta con una infraestructura de equipos de medición sobre las salidas y entradas del Sector 9 con el cual se determina el volumen de agua entregado o suministrado a esta unidad hidráulica. Su medición se efectúa con la ayuda de 6 macro medidores, el cual permite medir el caudal y volumen suministrado medio diario y mensual.

De esta forma la meta de La Empresa es continuar con la implementación de la sectorización y lograr un cubrimiento del 100% capaz de medir el volumen de agua suministrado a cada sector.

El profesional especializado dentro de las recomendaciones, propone la siguiente forma de identificación de los puntos de medición y que facilita realizar un seguimiento histórico a los datos de medición.

**Tabla 2. Estructura código de medición propuesto – Vol. suministrado unidad hidráulica.**



Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

A continuación se presenta la relación de los puntos existentes de medición de caudal y que a la fecha solo miden el volumen suministrado al Sector 9, describiendo el código propuesto por este documento y en el orden dispuesto según proyección de sectorización:

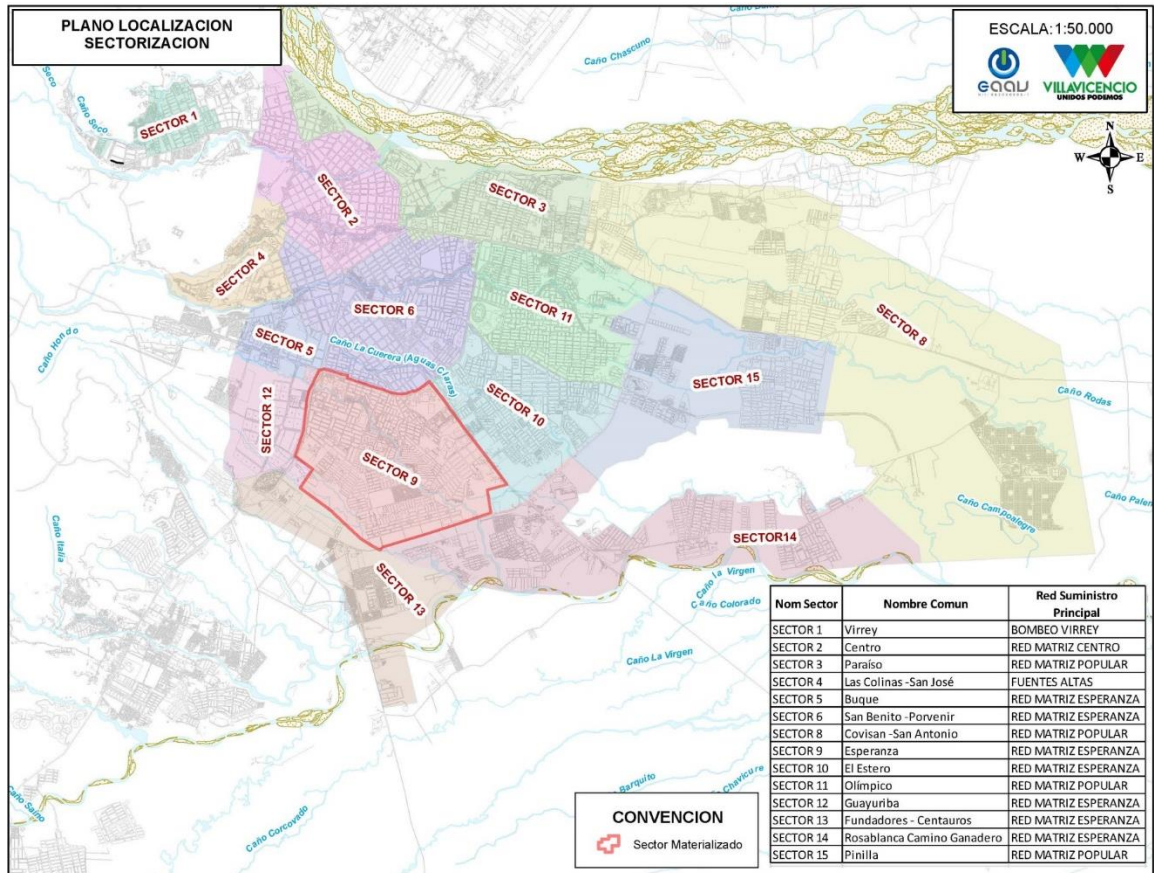
**Tabla 3. Código de medición propuesto - puntos materializados para unidades hidráulicas.**

Sector	Ubicación del macromedidor	Código punto de medición propuesto – Volumen Suministrado unidades hidráulicas
Sector 9	Línea de 14" → Calle 15 con Av. 40 – Llanocentro	MS0901
	Línea de 12" → Calle 15 con Av. 40	MS0902
	Línea de 16" → Calle 15 con Av. 40 – Villacentro	MS0903
Sector 10	Línea de 14" → Calle 15 con Cr. 22 – Postobon	MS1001
	Línea de 8" → Calle 5B con Cr. 22 – Semillano	MS1002
Sector 13	Línea de 8" → Carrera 34 con CL 2 – Acacias	MS1301

Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación



**Figura 3 Sectorización propuesta para la EAAV ESP – Unidades Hidráulicas.**



Fuente: EAAV ESP - SIGVI.

## 8.2 Responsable Emisión De Datos De Macro medición Niveles 1 Y 2

De acuerdo a los niveles de macro medición expuestos en los numerales anteriores (Véase numeral 8.1.1 y 8.1.2), las responsabilidades de la operación, mantenimiento, extracción, procesamiento, divulgación de datos, verificaciones y mantenimientos de los equipos de medición, se distribuyen para las siguientes dependencias de la siguiente forma:

- Nivel de macro medición No. 1 (Total EAAV E.S.P.): Subgerencia Técnica – Dependencias Plantas de Tratamiento de Agua Potable.
- Nivel de Macro medición No. 2A (Sectores Hidráulicos): Subgerencia Técnica – Dependencia Sistema de Información Geográfica de Villavicencio - SIGV.

### **8.3 Metodología Para El Mantenimiento Y Aseguramiento De La Calidad De La Información De La Macro medición**

La Empresa no tiene ningún tipo de reglamento o protocolo que asegure la calidad de la información emitida por las unidades hidráulicas y equipos de medición de caudal. Con este antecedente a continuación se recomienda la ejecución de las siguientes actividades, encaminadas en aumentar la confiabilidad de las mediciones y resultados macro medidos:

#### **8.3.1 Mantenimiento**

Un plan de mantenimiento de un sistema de macro medición implica garantizar la seguridad permanente y el funcionamiento fiable sobre los instrumentos de medida, que varía en su diseño por la definición de la periodicidad de las tareas de mantenimiento, dependiendo del tipo de tecnología instalada en campo y de los planes detallados por cada operador en aspectos como seguridad, procesos en la operación, continuidad del servicio, planes de trabajo, disponibilidad de personal técnico, registros históricos,

aspectos ambientales, entre otros, que cambian con el tiempo y afectan directamente las lecturas de los equipos de medición. (Cruz, Mauricio, 2014)

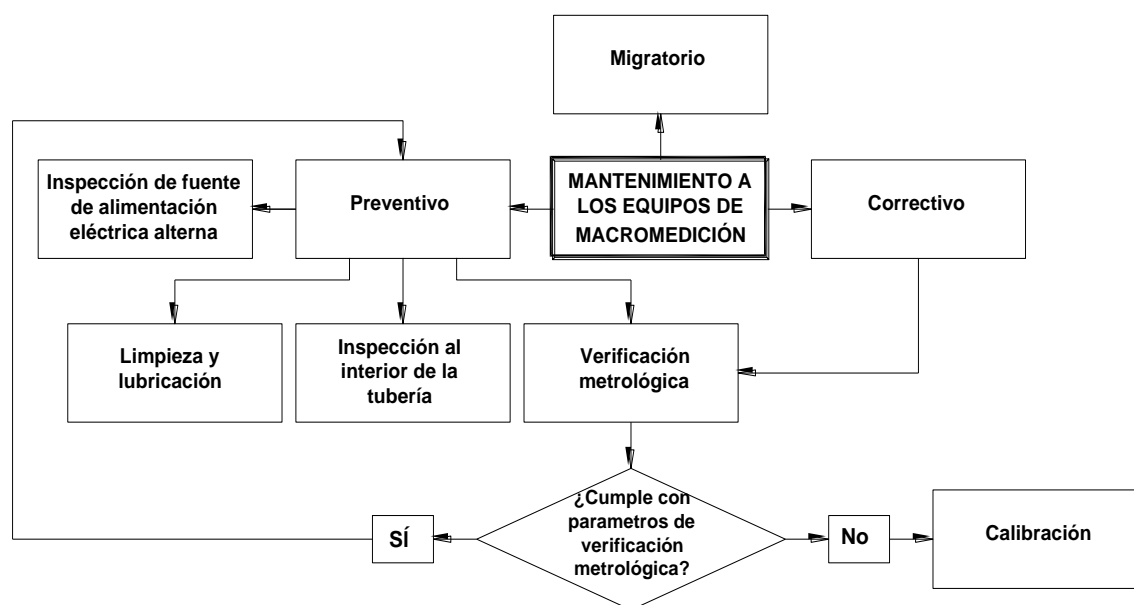
Todas las tareas de mantenimiento son esenciales para garantizar un funcionamiento óptimo y fiable de los instrumentos de medida, esto se puede volver una práctica básica teniendo en cuenta las tareas esenciales que se relacionan en la Figura 4, Figura 4 Flujograma.

### **8.3.1.1 Mantenimiento preventivo**

Hace referencia a una inspección periódica de los dispositivos de medición para evitar tareas de mantenimientos correctivos e innecesarios, lo cual reduce costos en el proceso de operación y evita el riesgo de paros en el proceso de producción.

La periodicidad del mantenimiento preventivo está definida en función de los requisitos específicos de cada dispositivo o tecnología y de los procesos de operación del sistema de acueducto urbano. Por ejemplo, en procesos particulares y aspectos ambientales donde la abrasión es importante por la cantidad considerable de sólidos en suspensión que transporta y que los de equipos de macro medición disponen de partes móviles como los equipos volumétricos o de desplazamiento positivo en la medida de caudal, la periodicidad en el mantenimiento preventivo debe ser más exigente con inspecciones, mantenimientos y calibraciones más regulares, comparado con la disposición de otras tecnologías y bajo estas mismas condiciones.

**Figura 4 Flujograma. Metodología para el mantenimiento de los equipos de macro medición**



Fuente: Mauricio Cruz Gómez (2014).

Como observamos, definir la periodicidad del mantenimiento preventivo para los dispositivos de medición depende de diversos factores, que con el tiempo afectan directamente las lecturas de los equipos, lo cual obedece básicamente a la tecnología instalada en campo y a los procesos de cada operador, de ahí la importancia de una buena práctica en la selección de la tecnología e instalación de los equipos de medición.

Las actividades que involucran una buena práctica de mantenimiento preventivo son las siguientes:

- **Verificación metrológica.** En el desarrollo de un mantenimiento preventivo para cada instrumento de medida, de acuerdo con sus condiciones de uso y

recomendaciones del fabricante, debe establecerse un programa de verificación metrológica que evidencie una señal estable o si existe desviaciones respecto a su correcto funcionamiento.

- **Inspección al interior de la tubería.** Esta actividad garantiza la fiabilidad de cualquier equipo de medición, certificando la no presencia de partículas extrañas que se adhieren a los accesorios de los equipos, lo cual puede ocasionar efectos perjudiciales en los resultados de las lecturas o evidenciar desgastes internos por efectos de la abrasión al interior de la tubería.

Con esta actividad se puede identificar la causa de las desviaciones en las lecturas del equipo de medición, cuyo resultado no siempre es culpa del dispositivo si no que se debe a problemas de disposición de partículas que perturban el normal funcionamiento del dispositivo o alteran la forma y el diámetro de la tubería, que en los equipos de medición de caudal cualquier cambio en sus condiciones aguas arriba o aguas abajo provoca perturbaciones en las lecturas.

- **Limpieza y lubricación.** Durante su funcionamiento cualquier equipo de medición requiere de limpieza o lubricación periódica de sus partes mecánicas y eléctricas, en especial para los equipos que disponen de partes móviles. Si esta actividad no se realiza periódicamente se pueden acelerar los procesos de desgaste e incluso en la reducción de la vida útil del equipo de medición dispuesto en terreno.

- **Inspección de la fuente de alimentación eléctrica alterna.** Para los equipos que requieren una fuente de alimentación alterna para dar continuidad a su funcionamiento en caso de que se suspenda el fluido eléctrico de la fuente principal, es necesario chequear periódicamente esta fuente de alimentación para evitar vacíos y garantizar una continuidad del 100% en las lecturas de medición.

Con el registro histórico y el análisis de las tareas de mantenimiento preventivo es posible reprogramar la periodicidad de las tareas y con los resultados establecer las verificaciones metrológicas del programa de calibración del instrumento de medida.

### **Calibración:**

Consiste en realizar los ajustes necesarios al equipo de medición, ya sean mecánicos o eléctricos, hasta garantizar una discrepancia mínima con la escala de medida del laboratorio de calibración.

La calibración consta, en general, de dos etapas: la primera es la verificación del cero, es decir, el valor de la medida igual a cero y se determina su estabilidad. La segunda etapa consiste en elegir por lo menos dos puntos del campo de valores para verificar la linealidad del equipo. Si el resultado determina que en las señales emitidas por el equipo no hay estabilidad o linealidad deseables, se efectúan los ajustes necesarios hasta garantizar las condiciones óptimas.

Se distinguen tres prácticas de calibración, que son:

- **Calibración en laboratorio.** Consiste en retirar el equipo de su emplazamiento y llevarlo a un laboratorio de calibración debidamente autorizado.

Esta práctica es la menos deseable, porque dependiendo de la infraestructura del sistema de macro medición (disposición de bypass) o el tipo de equipo (equipos electromagnéticos) es necesario suspender el servicio, que se agudiza cuando son tuberías de gran diámetro o redes matrices.

Cabe anotar que esta práctica se complica aún más en Colombia, por la no existencia de laboratorios certificados por el Ministerio de Desarrollo Económico y la Superintendencia de Industria y Comercio en el proceso de calibración de macro medidores de agua.

- **Calibración en campo con herramientas semi-inteligentes.** Consiste en comprobar en campo la ejecución correcta de un contador con herramientas eléctricas y simuladores, desarrollando un proceso operativo normalizado que se ajusta para cada condición dispuesta en terreno y la tecnología del dispositivo.

Este proceso lo deben desarrollar técnicos capacitados y debe contemplar detalles particulares como operación de válvulas de cierre, procedimientos de trabajo, registros de datos, entre otros.

- **Calibración en campo con diferencia.** Es el método más común y consiste en disponer equipos no intrusivos como los ultrasónicos de fijación externa o sondas externas y verificar las funciones de entrada y salida del transmisor. Si se identifican problemas de linealidad o repetibilidad en el dispositivo bajo prueba y no es posible su calibración en campo, el equipo se debe retirar y calibrar en un laboratorio certificado.

### **8.3.1.2 Mantenimiento correctivo**

Este mantenimiento se presenta en los casos donde se identifica discontinuidad en la medición o ausencia de datos, fallas técnicas, evidencia de una señal inestable o desviaciones en el desarrollo de una verificación metrológica, problemas de descargue de datos, incluso durante el desarrollo de mantenimientos preventivos, que el dispositivo no funciona correctamente y es necesario sustituirlo por completo o retirar y reparar alguna de sus partes o piezas.

Durante el mantenimiento correctivo es necesario disponer de personal técnico preparado y de piezas de repuesto o en stock listas para remplazar las averiadas, de tal



forma que los tiempos de reparación y discontinuidad en el servicio sean lo más corto posibles.

Al terminar cualquier reparación o mantenimiento correctivo es conveniente realizar una verificación metrológica del dispositivo para garantizar la medición y el error del mismo.

### **8.3.1.3 Mantenimiento migratorio**

El mantenimiento migratorio hace referencia a la necesidad de renovar el equipo de medición existente por uno de nueva generación o la implementación de otra tecnología, por cumplimiento de su vida útil o para mejorar las condiciones operativas, tales como la precisión en las lecturas, reducir costos en el mantenimiento al no disponer fácilmente de las piezas de repuesto, reducir costos en el consumo eléctrico, que con las nuevas tecnologías podría implicar reducción en el consumo eléctrico, o por innovación.

Este mantenimiento también implica la actualización del software de los equipos de macro medición o de los transmisores en el sistema Scada.

## 8.3.1.4 Plan de mantenimiento

Tabla 4. Plan de mantenimiento equipos de macro medición

Tipo de mantenimiento		Grupos (caudal)								Grupos (presión)	
		A	B	C	D	E	F	G		H	I
								G1	G2		
Preventivo	Verificación metrológica	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada 2 años	Cada año	Cada año (*)	N/A	N/A
	Calibración	Cada 3 años o cuando amerite	Cada 3 años o cuando amerite	Cada 5 años o cuando amerite	Cada 5 años o cuando amerite	Cada 7 años o cuando amerite	Cada 7 años o cuando amerite	Cada 7 años o cuando amerite	Cada 7 años o cuando amerite	Cada año	Cada 5 años
	Inspección al interior de la tubería	Cada año	N/A	Cada año	Cada año	Cada año	Cada 2 años	Cada 2 años	Cada 2 años	N/A	N/A
	Limpieza o lubricación	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada 2 años	Cada año	Cada 2 años	N/A	Cada año
	Inspección de fuente de alimentación eléctrica alterna	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada 3 meses	N/A	Cada año
Correctivo	Mantenimiento por fallo completo del equipo o reparación de alguna de sus partes o piezas.	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite	Cuando amerite
	Verificación metrológica	Se debe efectuar cada vez que aplique el mantenimiento correctivo									
Migratorio	Renovación de equipo por nueva generación	Se debe evaluar la renovación del equipo entre los 5 y 10 años de funcionamiento									
	Implementación de otra tecnología	Se debe justificar después de los 10 años de uso o funcionamiento del equipo									
	Actualización de software	Cada 6 meses									

Leyenda:

N/A	No Aplica	Grupo A: equipos de presión diferencial (PD)	Grupo F: equipos electromagnéticos
		Grupo B: equipos de sección variable (rotámetros)	Grupo G1: equipos ultrasónicos método Doppler
		Grupo C: equipos volumétricos o de desplazamiento positivo (PD)	Grupo G2: equipos ultrasónicos método tiempo de tránsito
		Grupo D: equipos de turbina	Grupo H: manómetros
		Grupo E: equipos vortex	Grupo I: data Logger de presión

Nota:

(\*) Para los equipos ultrasónicos de fijación externa o sondas externas se recomienda una verificación metrológica cada seis meses.

Fuente: Mauricio Cruz Gómez (2014).

La Tabla 4 muestra una comparación de los diversos tipos de tecnología y equipos de macro medición frente a los tiempos recomendados en periodos de mantenimientos preventivos, correctivos o migratorios, el cual ayuda en el desarrollo de una primera versión del diseño de un plan de mantenimiento para los equipos de macro medición dispuestos en terreno.

### **8.3.2 Aseguramiento de la calidad de la información de la macro medición**

Además de las actividades de mantenimiento al sistema de macro medición (véase numeral 8.3.1) existe otro proceso que asegura la calidad de su información, que es garantizar que las unidades de distribución macro medidas cumplan las condiciones de ser hidráulicamente estancas, de tal manera que no existan alimentaciones imprevistas y se realicen cuantificaciones con una calidad óptima y de precisión en la estimación de índices, ejemplo índice de agua no contabilizada (IANC).

Esto implica que, además de tener unos equipos en óptimas condiciones por el desarrollo de un plan de mantenimiento, es necesario garantizar y saber qué se está midiendo, esto se logra únicamente con el funcionamiento correcto de las unidades de distribución y, por ende, de la sectorización hidráulica del sistema de acueducto.

Para garantizar un funcionamiento correcto de las unidades de distribución es necesario que el operador del sistema de acueducto realice las siguientes actividades, garantizando que las unidades de distribución macro medidas sean hidráulicamente estancas:

- **Pruebas de aislamiento preliminar.** Esta actividad concierne a una revisión periódica de todos los límites de las unidades de distribución, donde el operador realiza pruebas de aislamiento preliminar para establecer las condiciones de aislamiento de las válvulas de cierre permanente (VCP) o tapones que constituyen el límite, verificando que no tengan paso hacia o desde la unidad de distribución aledaña.
- **Pruebas de aislamiento total.** Esta prueba también es de uso periódico y consiste en verificar la ausencia de servicio de los usuarios localizados al interior y a lo largo del límite de la una unidad de distribución.

Esta prueba se inicia con el cierre de las alimentaciones principales de la unidad de distribución, seguido de la apertura de los hidrantes o purgas predefinidos para el drenaje total y, si no existen suficientes puntos de drenaje, se procede a realizar la prueba en horas diurnas y se efectúa el drenaje únicamente a través de las acometidas domiciliarias.

Con la instalación de manómetros al interior de la unidad de distribución y otros por fuera del límite y finalizado el vaciado del agua contenida en las tuberías internas se verifican las lecturas de presión en los manómetros internos preinstalados. Con un chequeo de mediciones iguales a cero (0) m.c.a. se garantiza el aislamiento total de la unidad de distribución, en caso contrario, si algún

manómetro registra una presión remanente significa que puede existir un cruce o pase no identificado que debe controlarse para garantizar el aislamiento total o la estanqueidad total de la unidad de distribución.

### 8.3.2.1 Plan de aseguramiento de la calidad de la información macro medida

La Tabla 5 muestra los periodos recomendados para garantizar que las unidades de distribución macro medidas sean hidráulicamente estancas y de esta forma se aumente la confiabilidad de las lecturas transmitidas por el sistema de macromedición.

**Tabla 5. Plan de aseguramiento de calidad de información macro medida.**

<b>Actividad</b>	<b>Recomendación</b>
Pruebas de aislamiento preliminar	Revisión bimestral de las válvulas de cierre permanente (VCP) de la unidad de distribución medida o cuando el análisis a las desviaciones presentadas en las macromediciones lo amerite.
Pruebas de aislamiento total	Ejecución bianual de pruebas de aislamiento total de la unidad de distribución medida o cuando el análisis a las desviaciones presentadas en las macromediciones lo amerite.

Fuente: Mauricio Cruz Gómez (2014)

### 8.3.2.2 Indicadores de gestión

Para controlar la gestión de la producción de información se deberá cumplir con los siguientes indicadores de gestión, el cual será explicado su obtención en capítulos posteriores:

- Índice de Completitud de Datos Atípicos – ICDA  $\leq 5.0\%$ .
- Índice de Variación Mensual de la Macro medición – IVMM  $\leq 2.0\%$ .
- No superar el promedio de ocurrencia de daños en redes de distribución mayores o iguales a 3” en el mes de evaluación, en comparación con el promedio de ocurrencia de daños del semestre anterior al mes de evaluación.
- Cumplimiento  $\geq 99\%$  de las actividades definidas en el aseguramiento de la calidad de la información.

### **8.3.2.3 Validez de los resultados**

Para que los resultados obtenidos del sistema de macro medición sean válidos deberán cumplirse las actividades encaminadas al aseguramiento de la calidad de la información, dentro del porcentaje indicado, y obtenerse, mensualmente, los indicadores definidos.

La utilización de resultados con indicadores por debajo de los definidos estará sujeta al criterio de cada área responsable de la producción de los mismos.

## 8.4 Metodología Para El Procesamiento De La Información De Datos Crudos

Este numeral presenta procedimientos en el registro de datos crudos, completitud de datos de un registro histórico, identificación, análisis y validación de datos atípicos, evaluación de comportamientos, tendencias y desviaciones de los registros históricos, que se obtiene con el sistema de macro medición de un sistema de acueducto urbano.

### 8.4.1 Registro de datos crudos

Se recomienda la siguiente estructura sistemática de los datos crudos para cualquier tipo de medida, caudal, presión o calidad de agua y nivel sobre una red matriz o primaria, secundaria o menor, para cada mes de operación.

**Figura 5. Tabla tipo, presentación de datos crudos**

Col -1	Col -2	Col -3	Col -4	Col -5	Col-6						
Unidad de distribución	Dirección del punto de medición	Código punto de medición	Tipo de lectura (Caudal, presión, calidad de agua)	Fecha (día/mes/año)	Lecturas (describir la unidad)						
					L1	L2	L3	...	...	L47	L48
					00:00	00:30	00:60	...	...	23:00	23:30

Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

## Especificaciones

- **Columna 1.** Código de la unidad de distribución, suministrado por el diseño y la implantación de la sectorización del sistema del acueducto urbano.
- **Columna 2.** Dirección del punto de macro medición, según nomenclatura vial o descripción de lugares cercanos.
- **Columna 3.** Código del punto de medición, suministrado por el diseño y la implantación de la sectorización del sistema del acueducto urbano. Este código debe identificar fácilmente la unidad de distribución que se está midiendo, así como el tipo de medida (caudal, presión o cualquier parámetro de calidad de agua fisicoquímico y microbiológico, para Colombia véase Resolución 2115 de 2007).
- **Columna 4.** Tipo de lectura, caudal, presión o de calidad de agua (parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para Colombia véase Resolución 2115 de 2007).
- **Columna 5.** Fecha de la toma de lectura en formato DD/MMM/AAAA.
- **Columnas 6.** Corresponde a los tiempos de registro con los cuales se guarda la información. Se recomiendan registros de medición de caudales y presión cada treinta (30) minutos y para las mediciones de calidad de agua la frecuencia y el número de muestras de control se debe realizar según la normatividad ambiental vigente (para Colombia véase Resolución 2115 de 2007 – Capítulos V y VI).



En estas columnas se debe exigir la descripción de la unidad de medición de los datos dispuestos en la tabla.

#### **8.4.2 Consolidación de datos**

Registrada la información obtenida en terreno, como se describe en el numeral 8.4.1 - Registro de datos crudos, es fácil que el operador o supervisor del sistema de macro medición en el área de control identifiquen la ausencia de datos o vacíos de información.

Identificada la ausencia de información, producto de errores en el sistema de comunicación, interferencia en las mediciones causada por robos, fallas en la alimentación eléctrica principal y alterna o por actividades de mantenimiento, entre otros, se debe proceder a la completitud de datos faltantes, de acuerdo con el procedimiento que se plantea a continuación (Cruz, 2009).

- **Caso 1.** A la cantidad de datos faltantes en el mes inferior o igual al 50%, para los equipos de medición de caudal o presión que se encuentren a la salida de un tanque de almacenamiento o sobre un punto de red matriz o de distribución, sin incluir puntos sobre las líneas de impulsión, se recomienda ajustar los valores ausentes con el promedio de las mismas horas y días de la semana del mismo mes considerado, y si existen días festivos en el periodo de ajuste se debe realizar el promedio de los datos usando los valores de caudal promedio de los días domingos y festivos del mes que se analiza.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan cuatro ejemplos de completitud de datos típicos, que aplican para el caso de datos faltantes en el mes inferior o igual al 50%.

- **Caso 2.** A la cantidad de datos faltantes en el mes superior al 50% y para los equipos de medición de caudal o presión que se encuentren a la salida de un tanque de almacenamiento o sobre un punto de la red matriz o de distribución, sin incluir los puntos sobre las líneas de impulsión, se recomienda ajustar los valores ausentes utilizando los promedios diarios de los registros históricos del mes anterior, teniendo en cuenta los mismos días y horas de la semana del mes analizado.

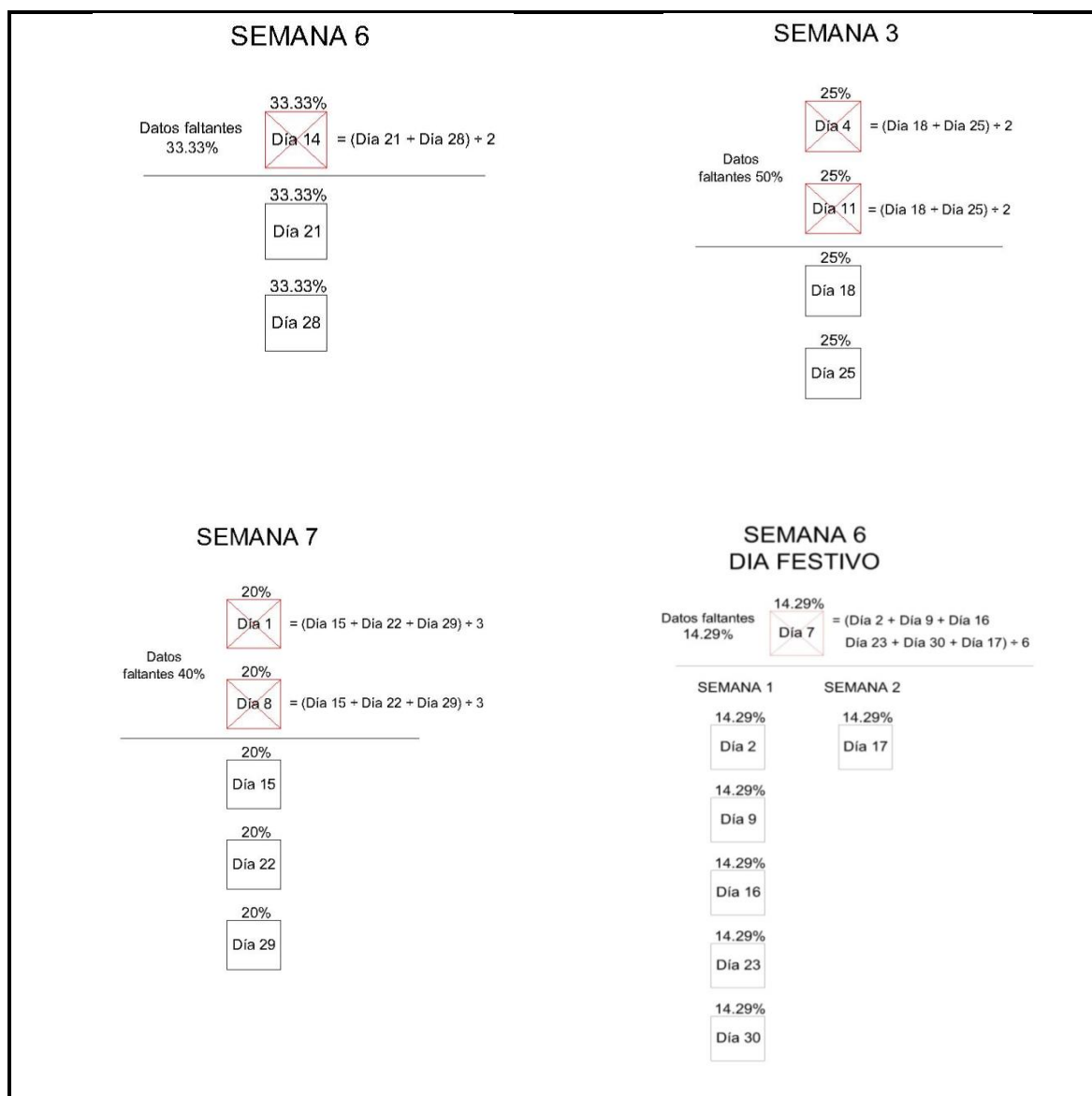
**Figura 6. Tabla tipo, presentación de datos crudos ausentes.**

Unidad de distribución	Dirección del punto de medición	Código punto de medición	Tipo de lectura (Caudal, presión, calidad de agua)	Fecha (día/mes/año)	Lecturas (describir la unidad)						
					L1	L2	L3	....	....	L47	L48
					00:00	00:30	00:60	....	....	23:00	23:30
XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	01/10/2003	120.1	125.5	130.7	.....	.....	122.2	111.3
XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	02/10/2003	126.2	125.2	122.3	.....	.....	134.2	132.1
XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	03/10/2003	140.0		143.2	.....	.....	148.0	112.6
.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....	.....	.....	.....	.....
XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	29/10/2003	110.2	110.1	111.2	.....	.....	134.4	118.2
XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	30/10/2003	135.4	123.8	112.4	.....	.....	145.2	135.9
XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	31/10/2003	169.3	174.2	161.9	.....	.....	145.1	150.3

Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

En la Figura 7 y Figura 8 presentan dos ejemplos de completitud de datos típicos, que aplican para el caso de datos faltantes en el mes superior al 50%.

**Figura 7. Ejemplos tipo, consolidación de datos para casos  $\leq$  al 50% en ausencia de datos**



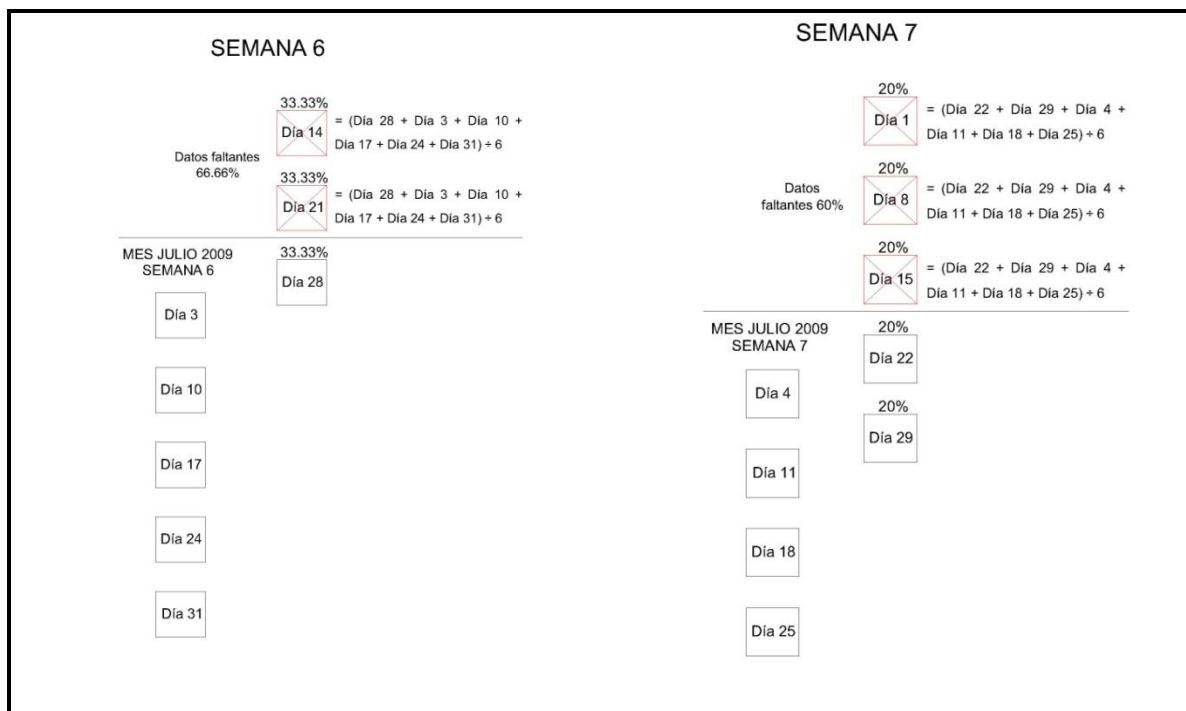
Fuente: Cruz, 2009.

- **Caso 3.** Cuando por causas externas o propias del funcionamiento de un equipo de medición de caudal o presión ubicado a la salida de un bombeo o en una línea

de impulsión se presenten datos faltantes en el mes inferior o igual al 50% en algunas horas del mes, se recomienda no realizar la completitud con el promedio de las mismas horas y días de la semana del mes de análisis, sino utilizar los promedios diarios resultado del promedio de todos los datos tomados por día (48 datos en el caso de almacenar mediciones cada 60 segundos), teniendo en cuenta los mismos días de la semana del mes analizado, en los cuales no haya faltado ningún dato para el cálculo del caudal promedio del día. Esta recomendación se debe a que en un bombeo los tiempos u horas de impulsión pueden ser diferentes de un día a otro, donde no es válido promediar datos en las mismas horas y días de la semana del mes de estudio.

En la Figura 8 se presenta un ejemplo del procedimiento para la completitud de datos ausentes, tomando un punto de medición sobre una línea de impulsión.

**Figura 8. Ejemplos tipo, consolidación de datos para casos > al 50% en ausencia de datos.**



Fuente: Cruz, 2009.

- Caso 4.** Cuando por causas externas o propias del funcionamiento de un equipo de medición de caudal y presión ubicado a la salida de un bombeo o en una línea de impulsión se presenten datos faltantes en el mes superior al 50%, se recomienda no realizar la completitud con los promedios de las mismas horas de los registros históricos del mes anterior, teniendo en cuenta los mismos días de la semana del mes analizado, sino utilizar de una vez los promedios diarios resultado del promedio de todos los datos tomados por día (48 datos en el caso de almacenar mediciones cada 60 segundos) de los registros históricos del mes anterior, teniendo en cuenta los mismos días de la semana del mes analizado. Esta recomendación se debe a que en un bombeo los tiempos u horas de impulsión pueden ser diferentes de un día a otro, donde no es válido promediar datos en las mismas horas y días de la semana.

**Figura 9. Ejemplos tipo, consolidación de datos para casos  $\leq$  al 50% en líneas de impulsión.**

Fecha	S1	S2		S47	S48	Caudal promedio diario (l/s)
	00:00	00:30		23:00	23:30	
01/09/2009	0.000	0.000		0.000	51.479	74.96
02/09/2009	134.880	167.658		0.000	0.000	87.62
03/09/2009	0.000	0.000		93.107	22.971	23.26
04/09/2009	44.704	128.139		3.755	95.649	113.46
05/09/2009	166.914	167.413	Dato ausente en el mes	0.000	0.000	105.44
06/09/2009	0.000	0.000		0.000	0.000	85.43
07/09/2009	34.202	121.990		0.000	0.000	101.77
08/09/2009	0.000	0.000		0.000	0.000	96.28
09/09/2009	0.000	0.000		0.000	0.000	92.47
10/09/2009	0.000	0.000		0.000	0.000	93.91
11/09/2009	0.000	0.000		167.734	167.759	75.62
12/09/2009	167.470	167.621		0.000	0.000	107.74
13/09/2009	0.000	0.000		0.000	0.000	85.85
14/09/2009	58.699	142.064		3.515	92.502	96.44
15/09/2009	169.779	170.826		178.732	156.684	110.96
16/09/2009	113.918	168.669		0.000	0.000	104.40
17/09/2009	36.570	123.461		31.036	7.657	94.74
18/09/2009	166.60	166.70		0.00	0.00	92.64
19/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	96.23
20/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	86.09
21/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	89.80
22/09/2009	0.00	33.06		0.00	0.00	97.91
23/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	94.30
24/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	94.06
25/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	96.22
26/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	96.88
27/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	83.54
28/09/2009	0.00	57.61		0.00	0.00	102.54
29/09/2009	0.00	0.00		0.00	0.00	80.37
30/09/2009	0.00	0.00		50.08	165.98	83.54
				<b>Caudal promedio diario - mes (l/s)</b>		<b>91.550</b>

(87.62+104.40+97.91+83.54)÷4

Fuente: Cruz, 2009.

### 8.4.3 Identificación de datos atípicos

Con la completitud para todos los datos ausentes en un registro histórico mensual con el procedimiento descrito en el numeral 8.4.2 - Consolidación de datos, se pueden identificar los datos atípicos, como se expone a continuación.

El procedimiento que se recomienda para identificar datos atípicos, anómalos o extraños dentro de cualquier serie de medición de caudal, presión o calidad de agua es la utilización de la herramienta estadística denominada “Diagrama de Cajas”.

#### 8.4.3.1 Desarrollo del método estadístico Diagrama de Cajas

El Diagrama de Caja es una presentación visual que describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la simetría o asimetría y la identificación de observaciones atípicas.

Este diagrama representa los tres cuartiles y los valores mínimos y máximos de los datos sobre un rectángulo (caja), alineados horizontal o verticalmente. Un diagrama de caja se construye como sigue a continuación:

- Ordenar los datos de la muestra y obtener el valor mínimo, el máximo y los tres cuartiles  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ , delimitando el rango inter cuartílico con la arista izquierda (o inferior), ubicada en el primer cuartil ( $Q_1$ ), y la arista derecha (o superior) en el tercer cuartil ( $Q_3$ ).
- Se dibuja una línea a través del rectángulo en la posición que corresponde al segundo cuartil (que es igual al percentil 50 o a la mediana),  $Q_2 = Md$ .
- De cualquiera de las aristas del rectángulo se extiende una línea o bigote, que va hacia los valores extremos (valor mínimo y valor máximo). Estas son observaciones que se encuentran entre 0 y 1,5 veces el rango intercuartílico, a partir de las aristas del rectángulo.
- Las observaciones que están entre 1,5 y 3 veces el rango intercuartílico, a partir de las aristas del rectángulo, reciben el nombre de valores atípicos, anómalos o extraños. Las que están más allá de tres veces el rango intercuartílico a partir de las aristas del rectángulo se conocen como valores atípicos extremos.

- El rectángulo o caja representa el 50% de los datos que particularmente están ubicados en la zona central de la distribución. La caja representa el cuerpo de la distribución y los bigotes sus colas.

El nombre original del gráfico introducido por Jhon Tukey en 1977 es Box and Whisker Plot. Tukey en 1977 sugiere una regla sencilla para determinar los límites de una serie de datos, tomando el rango intercuartílico (RQ) o diferencia entre el tercer y primer cuartil, para definir los límites inferiores y superiores ( $LI=Q_1-1,5RQ$ ,  $LS=Q_3+1,5RQ$ ). Estos límites definen los extremos del diagrama (bigotes). Si el valor sobrepasa esta barrera se considera atípico y si sobrepasa los límites,  $LI=Q_1-3RQ$ ,  $LS=Q_3+3RQ$ , tres veces el rango intercuartílico, se considera muy atípico.

En la Figura 10 se muestra esquemáticamente un diagrama de caja indicando sus partes. En este diagrama se interpreta que la distribución de los datos es asimétrica por la derecha, ya que la longitud de los rectángulos por debajo y por encima de la mediana, así como los bigotes, indican que los datos están más agrupados en sus valores inferiores que en los superiores y, además, se observa que  $X > Md$ . También se destaca la existencia de dos valores atípicos en el extremo superior de los datos.

Y en la Figura 12 de acuerdo a la distribución propuesta de la hoja de cálculo o matriz de datos crudos, se presenta un ejemplo en la descripción o identificación de los datos atípicos en su umbral límite superior e inferior según metodología Diagrama de Cajas.

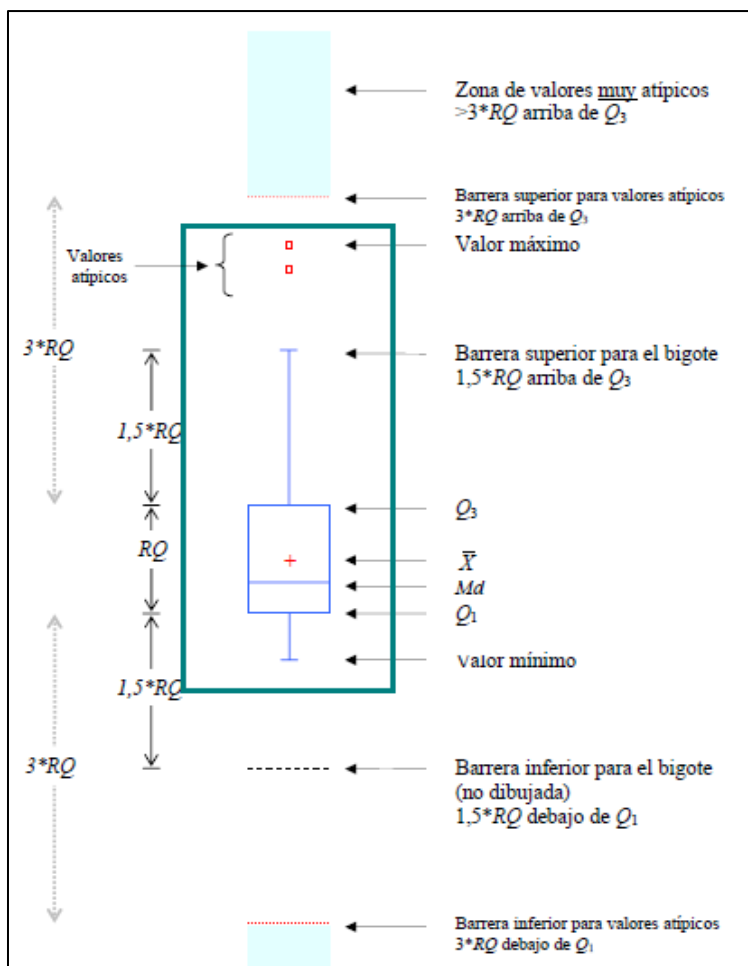


#### 8.4.4 Análisis y validación de datos atípicos, anómalos o extraños

Con la identificación de las lecturas de medición atípicas, anómalas o extrañas con el método estadístico Diagrama de Cajas (véase sección 8.4.3), se sugiere el siguiente proceso de análisis para la validación o no de un dato atípico.

Se recomienda analizar cada uno de los puntos que se exponen a continuación, con el fin de que se pueda dar razón o explicación al dato atípico o a la desviación de la medición en el registro histórico mensual.

**Figura 10. Partes de un diagrama de caja.**



**Fuente: Cruz, 2009.**

- a) Análisis operacional por compensación.** El propósito de este primer análisis es identificar si el dato atípico señalado, que se origina en un punto de la macro medición, se compensa o no con otro punto de macro medición que interviene en el mismo balance hidráulico de la unidad de distribución.

Si el dato atípico no se valida con este análisis, se continúa con el numeral siguiente.

- b) Análisis operacional por cambios en los límites de la sectorización.** El propósito de este análisis es identificar si el dato atípico señalado se origina por las modificaciones a una sectorización definida; por ejemplo, en la apertura de una válvula de cierre permanente, en la unión de dos unidades de distribución para que uno supla la medida demandada del otro y demás cambios que se causen en los límites de la sectorización, que originan cambios en las lecturas de macro medición de las unidades de distribución intervenidas, actividades que se ejecutan habitualmente durante las labores de operación de un sistema de acueducto urbano sectorizado.
- c) Análisis operacional por ocurrencia de daños.** Si el dato atípico señalado no se valida o no se explica su desviación con los dos análisis anteriores, se debe

investigar si la desviación que se presenta para este dato atípico es producto de la ocurrencia de daños en la red.

**d) Análisis operacional por aumento en consumos técnicos.** Si la causa de la desviación del dato atípico aún no se valida por las razones anteriores, se procede a analizar si esta desviación se presenta por un alto consumo técnico en el mes dentro de la unidad de distribución macro medida. Los consumos técnicos hacen referencia a los volúmenes de agua utilizados en lavados por hidrantes, daños presentados en la red del sistema de acueducto contabilizados desde el momento que se reportan hasta que se reparan, incluyendo el volumen necesario desaguado para la reparación, suministro de agua a carro tanques y lavado de tanques de almacenamiento.

**e) Revisión de actividades sistemáticas.** Evaluadas las condiciones anteriores y sin explicar aún la desviación del dato atípico, se procede a revisar el cumplimiento de las actividades de aseguramiento de la calidad de la información de la macro medición mencionadas en el numeral 8.3:

- ✓ Planes de mantenimiento preventivo, correctivo y migratorio.
- ✓ Pruebas de aislamiento preliminar.
- ✓ Pruebas de aislamiento total.

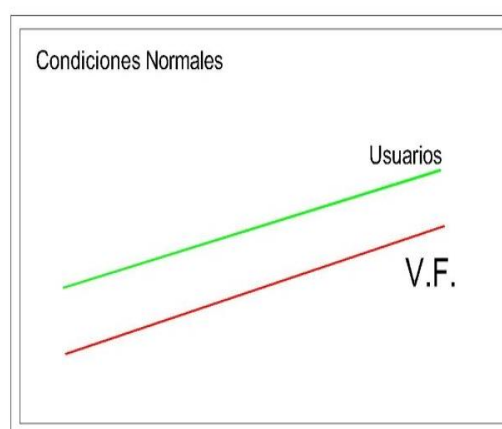
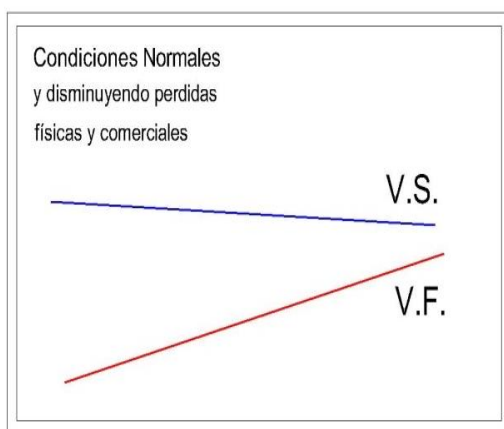
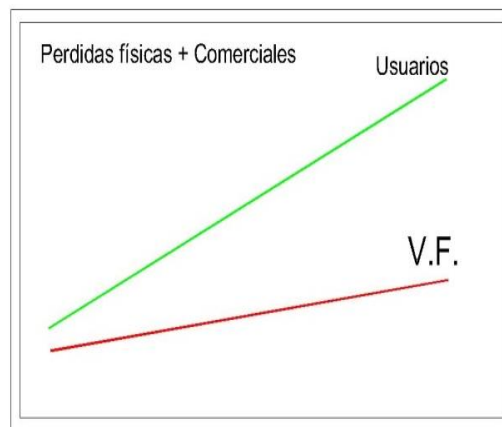
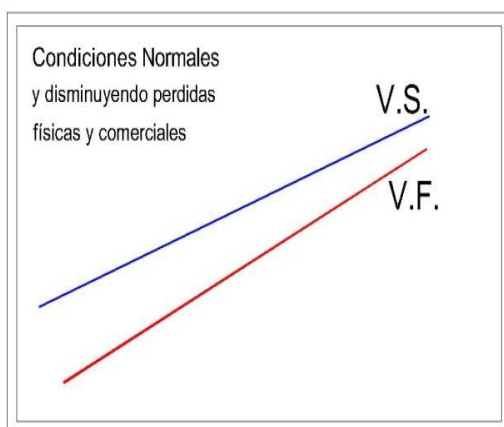
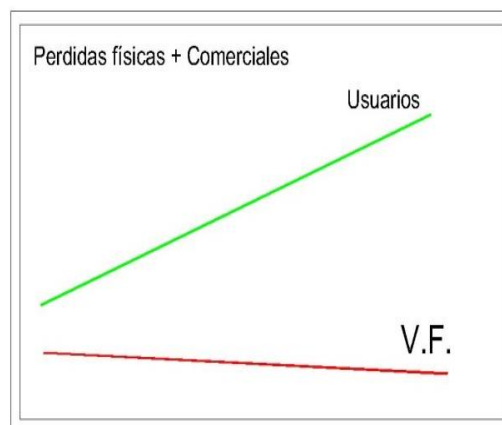
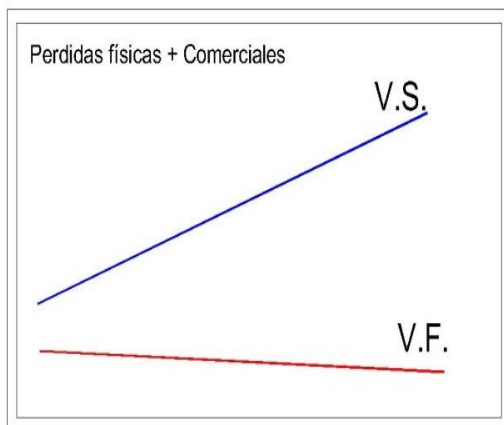
Si no se cumplen estas actividades, se realiza el ajuste al dato atípico usando el procedimiento de completitud de datos presentado en el numeral 8.4.2.

**f) Análisis comportamientos históricos en la medición.** El objetivo de esta sección es encontrar la causa de una variación en la medición si aún no se ha identificado, lo cual se explica, si es el caso, por un aumento de los usuarios o suscriptores para el periodo histórico analizado.

También se puede identificar la relación histórica entre los volúmenes suministrados, facturados y los usuarios suscritos a una unidad de distribución medida dependiendo su relación, como se explica a continuación (véase Figura 11).

**g) Caso especial.** Si con esta última situación (véase el punto anterior) no se explica la razón de la desviación del dato atípico se valida.

**Figura 11. Relaciones posibles entre vol. suministrado, facturado y usuarios suscritos.**



**Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación**

## **8.5 Metodología Cálculo Caudal Promedio Diario Y Mensual Del Punto De Medición**

Efectuada las siguientes actividades con los datos crudos de los puntos de medición:

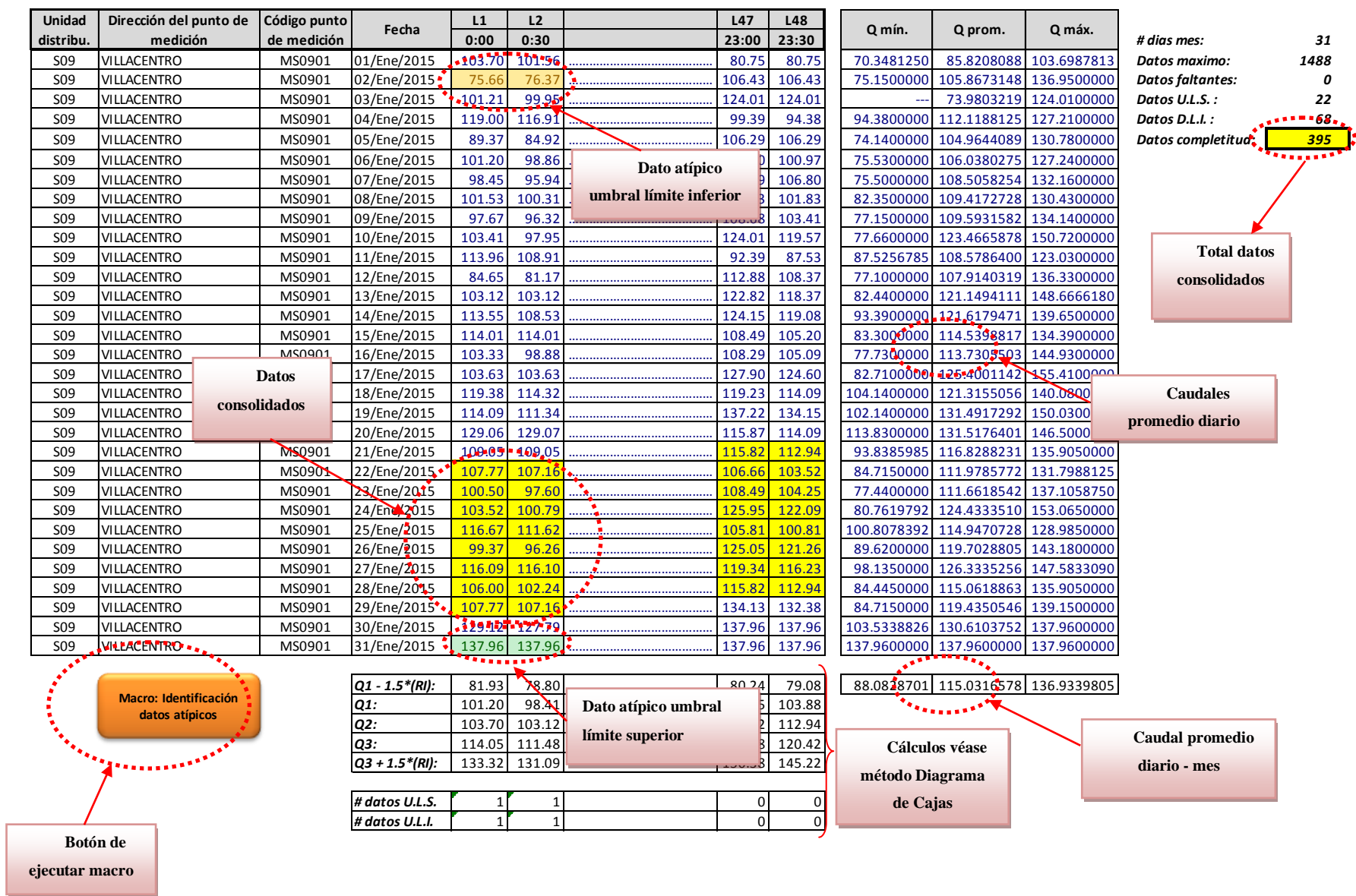
- Registros de datos crudos (véase numeral 8.4.1).
- Consolidación de datos (véase numeral 8.4.2).
- Identificación de datos atípicos o extraños con el método estadístico Diagrama de Cajas (véase numeral 8.4.3).
- Y análisis y validación de datos atípicos, anómalos o extraños (véase numeral 8.4.4).

Se procede a calcular el caudal promedio diario, mensual y la gráfica de curvas de consumos diarios para cada punto de medición o matriz de datos crudos, de acuerdo con el siguiente ejemplo.

El caudal promedio diario se calcula efectuado el promedio de las 48 mediciones medias horarias que hay por día y el caudal promedio diario mensual se calcula con el promedio de los 28 o 29 o 30 o 31 datos de caudal promedio diario que dependen del número de días que corresponda al mes de análisis.

La Figura 12 presenta la ubicación de los cálculos caudal promedio diario y mensual en la hoja o matriz propuesta de datos crudos.

Figura 12. Propuesta hoja de cálculo presentación y análisis de datos crudos puntos de medición.

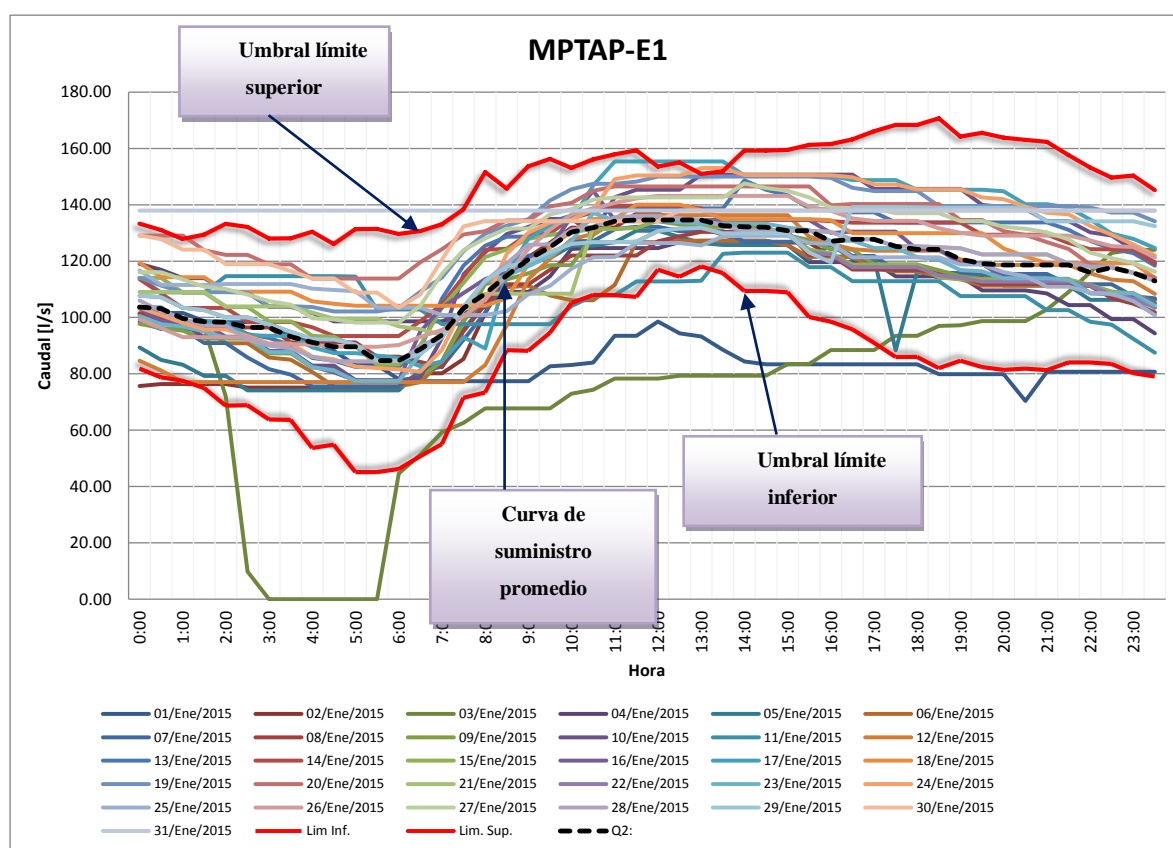


Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

Y con una representación gráfica se enseña las curvas de consumos diarios como se muestra en la

Figura 13, gráfica que se obtiene automáticamente de la hoja de cálculo y macro desarrollada por el profesional consultor.

**Figura 13. Grafica típica presentación de datos crudos por punto de medición.**



**Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación**

Hasta aquí son todos los procesos que se deben hacer a las matrices de datos crudos, para pasar posteriormente al cálculo del caudal y volumen promedio diario y mensual de una estructura hidráulica (entrada y salida de planta) y de las unidades hidráulicas medidas (zonas, sectores, sub-sectores, etc.).



## **8.6 Metodología Para El Procesamiento, Análisis Y Validación De La Información**

En este capítulo se describe el proceso de análisis a la información en el cálculo de un balance hidráulico, ya sea de una estructura hidráulica con el cálculo del volumen captado o producido por una planta de tratamiento de agua potable o en el cálculo de un volumen suministrado para una unidad hidráulica (zona, sector, sub-sector, circuito, distrito, etc.).

El siguiente método es ajustable para cualquier nivel de macro medición, siendo el ejemplo aplicable en el desarrollo de este numeral el Sector 9, unidad hidráulica de nivel de macro medición 2 que dispone de todas sus entradas y salidas medidas con equipos de medición de caudal.

### **8.6.1 Análisis completitud de datos atípicos**

En este capítulo se describe el proceso de análisis a la completitud de datos atípicos que evalúa en cierta medida la continuidad de la medición para cada uno de los puntos de medición y por consiguiente aplicable para cada una de las estructuras hidráulicas (plantas) y unidades hidráulicas medidas.

Para el desarrollo del análisis a la completitud de datos atípicos se deberá contar con un registro de ausencia y consolidación de datos por anómalos, atípicos o extraños mensuales y por punto de medición, contando los últimos 13 meses incluido el mes de

evaluación. Para este análisis se recomienda un registro histórico de 13 meses contando el mes de análisis considerando que es un periodo aceptable en el cual se puede apreciar la tendencia o comportamiento histórico de los puntos de medición, en la continuidad de la medición, ausencia de datos y registros consolidados por su resultado como anómalos, atípicos o extraños.

El objeto de observar la tendencia del no registro o almacenamiento de datos y consolidación de datos por anómalos, atípicos o extraños, es calificar e identificar con tendencias la discontinuidad en la medición, que servirá en la toma de decisiones de mantenimientos y en función del aseguramiento de la calidad de la información.

En el desarrollo de este análisis de completitud de datos atípicos se estima de manera cuantitativa, para el mes de análisis y para cada punto de medición, unidad hidráulica y cualquier balance hidráulico, el Índice de Completitud de Datos Atípicos – ICDA.

Índice de Completitud de Datos Atípicos – ICDA identifica en porcentaje la ausencia de datos y consolidación de datos por anómalos, atípicos o extraños, donde un 0% equivale a la no ausencia de datos y no consolidación de datos atípicos para todo el mes de análisis, siendo esta la condición óptima para validar una continuidad aceptable y confiabilidad de cualquier registro histórico de datos en un punto de medición, unidad hidráulica o cualquier otro balance hidráulico en el sistema de acueducto.

### 8.6.1.1 Formato análisis completitud de datos

A continuación se describe columna por columna la información, datos y/o fórmulas que caracteriza la hoja de cálculo (formato.xlsx) de completitud de datos y presentada en la Figura 14:

#### Especificaciones

- **Columna 1.** Código de la unidad de distribución, suministrado por el diseño y la implantación de la sectorización del sistema del acueducto urbano.
- **Columna 2.** Dirección del punto de macro medición, según nomenclatura vial o descripción de lugares cercanos.
- **Columna 3.** Código del punto de medición, suministrado por el diseño y la implantación de la sectorización del sistema del acueducto urbano. Este código debe identificar fácilmente la unidad de distribución que se está midiendo, así como el tipo de medida (caudal, presión o cualquier parámetro de calidad de agua fisicoquímico y microbiológico, para Colombia véase Resolución 2115 de 2007).

Figura 14. Propuesta hoja de cálculo análisis completitud de datos.

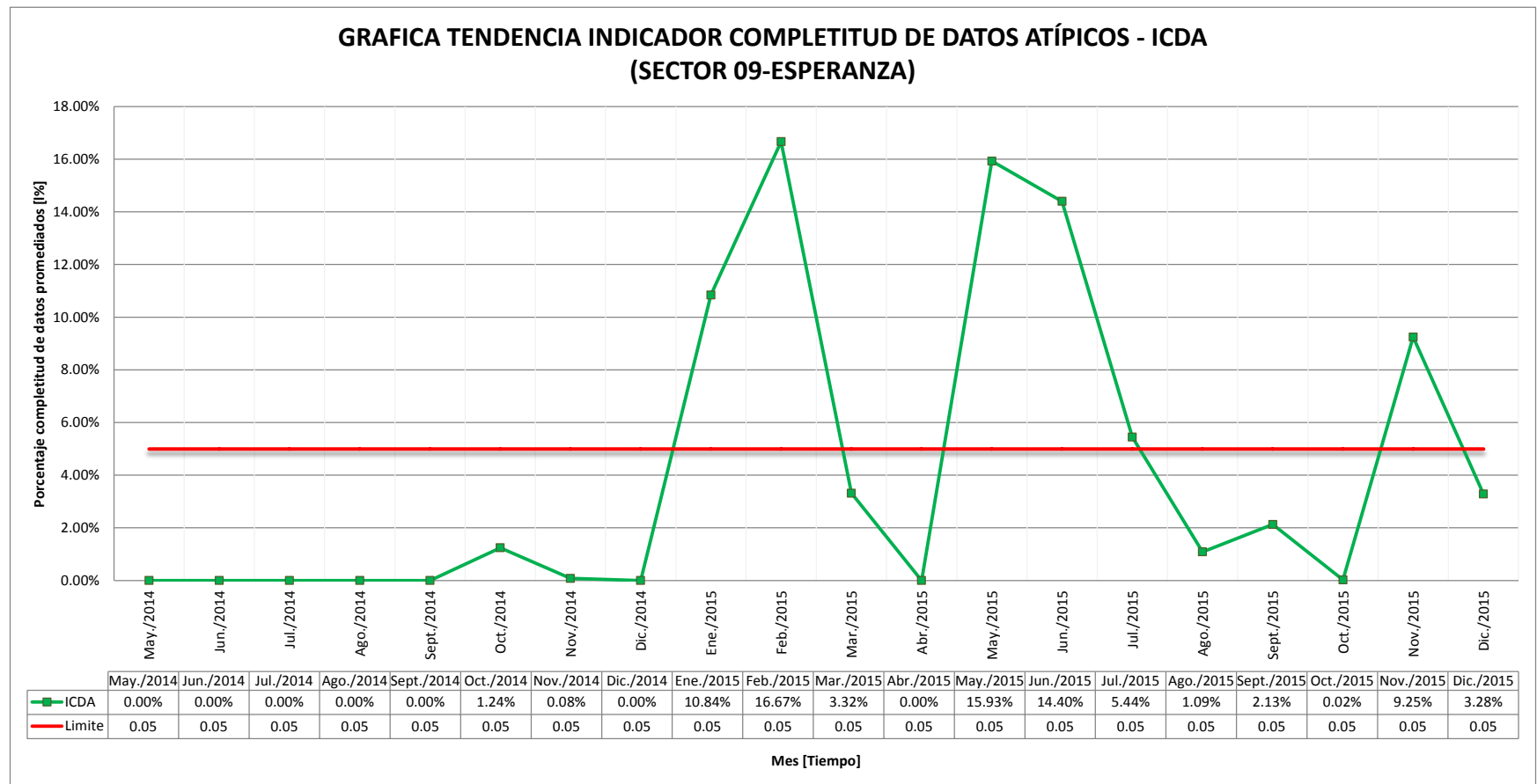
Col-1 Unidad de distribución	Col-2 Dirección del punto de medición	Col-3 Código punto de medición	Col-4 Año 2015 - Análisis completitud de datos atípicos				Col-5 ICDA - mes de análisis
			Año 2014	Año 2015 - Análisis completitud de datos atípicos			
			Dic/2014	Ene/2015	Nov/2015	Dic/2015	
509	VILLACENTRO	MS0901	0.0	395.0	0.0	0.0	0.00%
	AV CALLE 15	MS0902	0.0	0.0	388.0	74.0	4.97%
	LLANO CENTRO	MS0903	0.0	573.0	191.0	74.0	4.97%
	POSTOBON	MS1001	0.0	0.0	110.0	68.0	4.57%
	SEMILLANO	MS1002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
	ACACIAS	MS1301	0.0	0.0	110.0	77.0	5.17%
	Total completitud de datos:		-	958.00	799.00	293.00	3.28%
Índice de completitud de datos – ICDA:		0.00%	10.84%	9.25%	3.28%		
Salida PTAP La Esmeralda	CLUB META CAUDAL	MPTAP-E1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
	HOTEL DEL LLANO	MPTAP-E2	698.0	1284.0	0.0	0.0	0.00%
	CARABI NEROS	MPTAP-E3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
	BOMBEO VIRREY	MPTAP-E4		0.0	0.0	0.0	0.00%
	Total completitud de datos:		698.00	1284.00	-	-	0.00%
Índice de completitud de datos – ICDA:		15.64%	28.76%	0.00%	0.00%		

Col-6 Año 2015 - Causa completitud de datos atípicos en registro					Col-7 Acciones recomendadas		Col-8	
Año 2014	Año 2015 - Causa completitud de datos atípicos en registro				PREVENTIVAS		CORRECTIVAS	
Dic/2014	Ene/2015	Nov/2015	Dic/2015	Ene/2016	Feb/2016	Ene/2016	Feb/2016	
31	31	30	31	Ene/2016	Feb/2016	Ene/2016	Feb/2016	
N/A	F. Visor	N/A	N/A	Desc. Visor		Ninguna		
N/A	N/A	En mantenim.	En mantenim.	Ninguna		Ninguna		
N/A	F. Visor	F. Sistema	F. Sistema	Ninguna		Verf. SCADA		
N/A	N/A	F. Visor	F. Visor	Ninguna		Verf. SCADA		
N/A	N/A	N/A	N/A	Ninguna		Ninguna		
N/A	N/A	F. Sistema	F. Sistema	Ninguna		Verf. SCADA		
---	---	---	---	---	---	---	---	
N/A	N/A	N/A	N/A	Ninguna		Ninguna		
F. Sistema	F. Sistema	N/A	N/A	Ninguna		Ninguna		
N/A	N/A	N/A	N/A	Ninguna		Ninguna		
	N/A	N/A	N/A	Ninguna		Ninguna		
---	---	---	---	---	---	---	---	

Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

Figura 15. Ejemplo grafica tendencia indicador ICDA Sector 9 (La Esperanza).



Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

- **Columnas 4.** Corresponde a la cantidad de datos ausentes y consolidados por anómalos, atípicos o extraños en el registro histórico de los 13 meses incluido el mes de análisis.
- **Columna 5.** Cálculo Índice de Completitud de datos Atípicos - ICDA. Su estimación se resume con la siguiente fórmula:

$$Col 5 (\%) = \frac{\left[ \left( \frac{48 \text{ datos}}{\text{día}} \times \# \text{ días mes de análisis} \right) - (\text{datos ausentes} + \text{consolidados mes de análisis}) \right]}{\frac{48 \text{ datos}}{\text{día}} \times \# \text{ días mes de análisis}}$$

- **Columnas 6.** Corresponde a la descripción, motivo o causa de los datos faltantes o a la acción de completitud de datos atípicos (consolidación) en el registro histórico de los 13 meses incluido el mes de análisis.
- **Columnas 7.** Es la medida o acción recomendada por el ingeniero de macro medición para prevenir o corregir la ausencia o mitigación de datos atípicos.

*Nota: con el cálculo del ICDA y observando la tendencia de este indicador para el Sector 9 y salida de la PTAP La Esmeralda, se propone como límite o meta no superar el 5% de ICDA para el mes de análisis que correspondería a 75 datos o a 36 horas por punto de medición.*

La hoja de cálculo propuesta para el análisis de completitud de datos se recomienda presentar una gráfica el cual muestre la tendencia histórica de los puntos de medición, sectores, unidades hidráulicas y cualquier otro balance medido, en la presencia de ausencia de datos o la acción de la completitud de datos atípicos, en cual el ingeniero de macro medición podrá observar las condiciones presentadas en el mes de evaluación en

comparación con su comportamiento histórico. Para ello se grafica los ICDA de los últimos trece (13) meses incluido el mes de análisis, información consignada y calculada en la columna 5 de la hoja de cálculo análisis completitud de datos (Véase ejemplo para el Sector 9, mes de análisis Diciembre de 2015

Figura 15).

#### **8.6.1.2 Criterios de evaluación completitud de datos**

Los criterios de evaluación y mínimos que se puede presentar con los resultados o cálculo del ICDA por punto de medición, sector, unidad hidráulica y cualquier otro balance medido, se resumen en el siguiente cuadro:

#### **Tabla 6. Criterios de evaluación completitud de datos**

Criterio	ICDA	Observaciones generales al punto de medición
A	$> 5.0\%$	<p>Se recomendará para cada caso identificado y con este ICDA estimado para el mes de análisis, acciones correctivas para mejorar la continuidad de la medición en ausencia de datos y atípicos. La o las acciones correctivas dependerán de la causa de la ausencia de datos.</p> <p>Con valores de este indicador, el ingeniero de macromedición pondrá estos puntos o balances hidráulicos en observación, para luego comparar resultados con la tendencia y/o desviación en la medición para el mes de análisis y concluir si debido al grado de esa ausencia de datos o presencia de datos atípicos pudo inducir una desviación importante en la medición.</p>
B	$\leq 5.0\%$	<p>Se recomendará para cada caso identificado y con este ICDA estimado para el mes de análisis, acciones preventivas para mejorar la continuidad de la medición en ausencia de datos y atípicos. La o las acciones preventivas dependerán de la causa de la ausencia de datos.</p> <p>Con valores de este indicador, el ingeniero de macromedición podrá validar los datos por completitud de datos, al considerar que los datos ausentes o que se consoliden por debajo del ICDA <math>\leq 5\%</math> no influyen con el resultado final en el cálculo del caudal u otra medida.</p>
C	$= 0.0\%$	<p>Con este resultado en el ICDA, el ingeniero de macromedición podrá validar los datos por completitud de datos.</p>

Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación



### **8.6.2 Análisis tendencias y desviaciones en la medición**

la metodología descrita en el numeral 8.5, se procede a utilizar los caudales promedios diarios y mensuales verificados de cada uno de los puntos de medición y calculados con la hoja de cálculo presentación y análisis de datos crudos, para generar los balances hidráulicos por unidad hidráulica, (en este caso Sector 9 y salida PTAP La Esmeralda como ejemplo), calculando el caudal y volumen diario y mensual y generando la gráfica mensual e histórica de la unidad hidráulica, incluyendo en ellos los eventos operacionales matrices o locales presentados los cuales pudieron incidir en una desviación o continuidad de la tendencia de la medición de la medida de la unidad hidráulica analizada y durante el periodo analizado.

En el desarrollo de este numeral se presenta el proceso de análisis y forma de presentación de los datos de medida (caudal, presión, calidad de agua, etc.) para las unidades hidráulicas (Zonas, Sectores, Subsectores, Ciclos, etc.), donde se podrá ajustar el mismo procedimiento de análisis para otras de mayor o menor nivel una vez se cuente con los registros de información de datos crudos necesarios y recomendados en el numeral 8.5 de este protocolo.

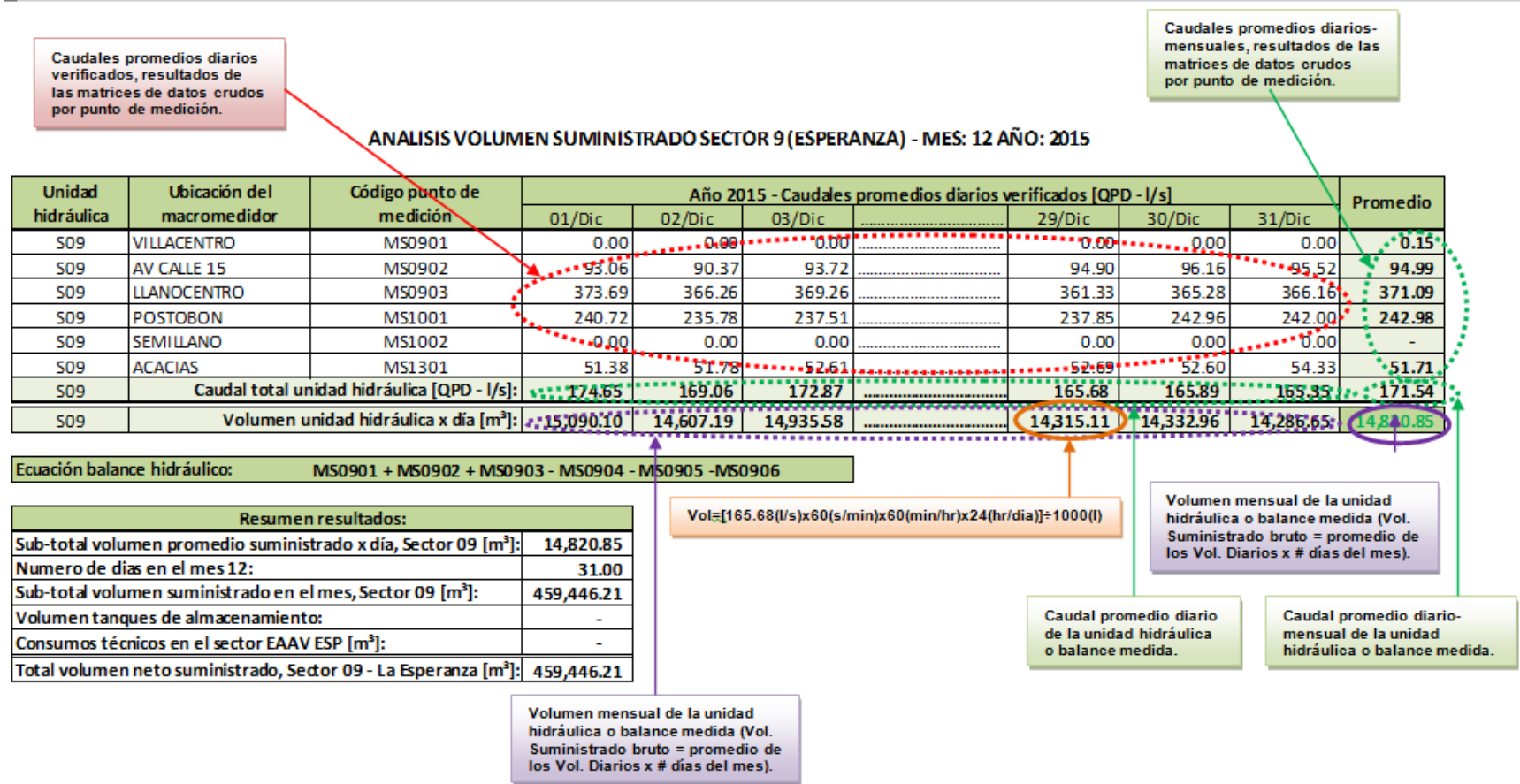
En la Figura 16 se presenta un ejemplo de cómo se recomienda presentar los archivos de tablas y gráficas de los Informes de Macro medición y aplicable para cualquier balance hidráulico y nivel de macro medición, los cuales deben contener la presentación de los balances hidráulicos mensuales, graficas mensuales e históricas involucrando los eventos operaciones matrices o locales de importancia.

El balance hidráulico y tabla propuesta se calcula los volúmenes brutos diarios y el mensual, reporte de consumos técnicos medidos en el mes para la unidad hidráulica, deltas de tanques de almacenamiento si aplica para el sector y el reporte final del volumen neto entregado o suministrado a la unidad hidráulica (Zonas, Sectores, Subsectores, Ciclos, etc.).

Para un mejor entendimiento de los componentes de la formula general del volumen suministrado neto a una unidad hidráulica, se explica cada una de sus variables como sigue a continuación:

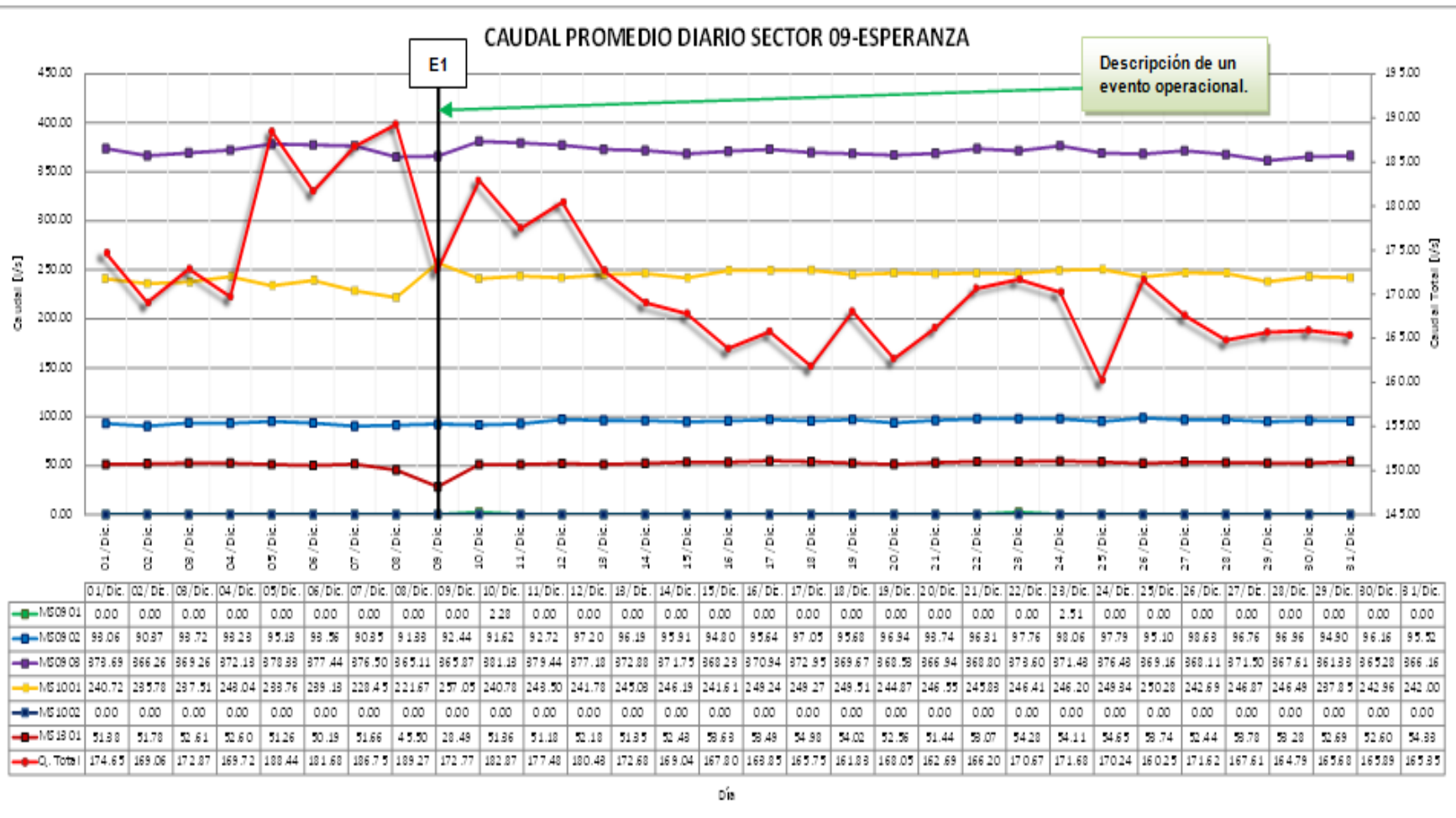
$$\text{Vol. de Agua Suministrado Neto x Sector} = \\ \text{Vol. Suministrado Bruto por Sector} - \text{Consumos Tecnicos por Sector} \pm \Delta \text{Volumen Tanques de Almacenamiento}$$

Figura 16. Propuesta hoja de cálculo balance hidráulico diario y mes



Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

Figura 17. Propuesta presentación grafica balance hidráulico diario y mes

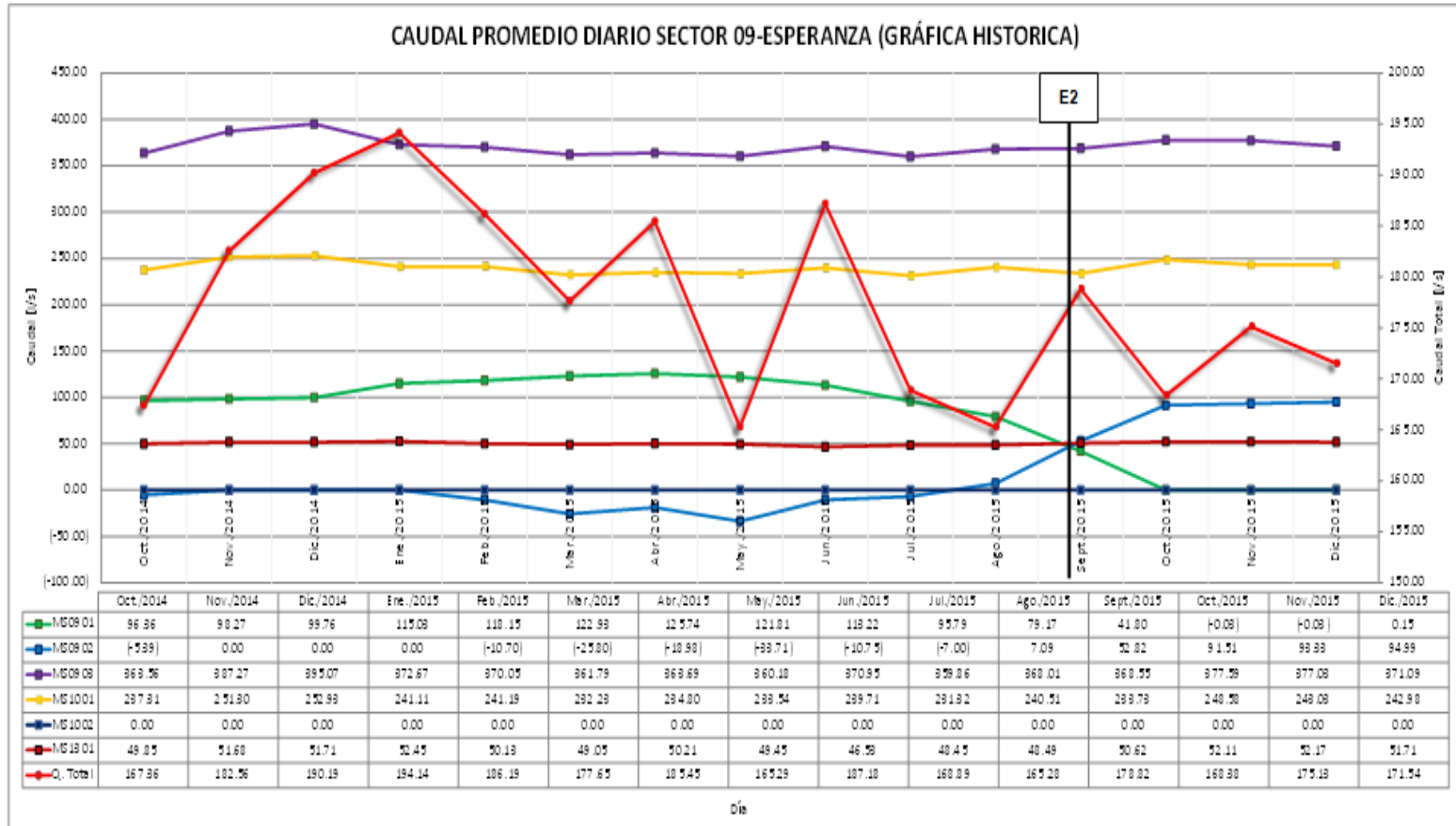


Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

Los eventos operacionales y de tal importancia que reflejen un comportamiento de cambio en la tendencia de la medición para cualquier punto de medición se debe indicar gráficamente y con una línea vertical y en la fecha correspondiente (Véase Figura 17). Esta información será de importancia para un conocimiento en el comportamiento histórico de la medición Vs los movimientos operativos u otro agente ajeno a la operación que tenga influencia sobre los registros de la medición.

Con la presentación gráfica mensual y por unidad macro medida, se hace más claro el comportamiento de cada uno de los puntos de medición que intervienen en el balance hidráulico, incluyendo sus variaciones presentadas a causa de un cambio operacional.

Figura 18. Propuesta presentación grafica balance hidráulico mensual histórico por unidad de distribución



Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

Otra de las gráficas recomendadas y como complemento del análisis a un unidad de distribución, es presentar una gráfica del comportamiento histórico de la medida y suministrado mensualmente, involucrando de igual forma los eventos operacionales ocurridos durante el periodo histórico analizado, el cual se recomienda sea de los últimos dos años incluido el mes de análisis.

Dónde:

- **El Volumen Suministrado Bruto.** Corresponde al agua total producida y entregada a las entidades hidráulicas; para el ejemplo Sector 9 incluye la suma del Volumen Suministrado Neto, el volumen correspondiente a los Consumos Técnicos y deltas de los volúmenes de tanques de almacenamiento si aplica.
- **El Volumen de Consumos Técnico.** Hace referencia a los volúmenes de agua utilizados en: lavados por hidrantes, daños presentados en la red matriz y de distribución contabilizados desde el momento en que se reportan hasta que son reparados (corresponde al volumen desaguado y perdido para la reparación), suministro de agua a carro tanques como producto las actividades propias de la EAAV ESP u otra entidad privada (Bomberos, Defensa Civil, Policía Nacional, Alcaldía Municipal, etc.) y lavado de tanques de almacenamiento.
- **$\Delta$  Volúmenes Tanques de Almacenamiento.** Hace referencia al volumen de agua que debería haber o que hay de más en los tanques de almacenamiento de un sector los cuales se ubican después de los macro medidores que lo miden. Se calcula con la diferencia entre el volumen que se presenta en los tanques de

almacenamiento al inicio del mes y a las cero horas, con el volumen que se encuentra en los tanques de almacenamiento al final del mes y a las cero horas.

- **El Volumen Suministrado Neto.** Corresponde al agua neta producida y entregada a las entidades hidráulicas; para el ejemplo al Sector 9 el cual se calcula con la diferencia del Volumen Suministrado Bruto con los Volúmenes por Consumos Técnicos y (+/-  $\Delta$ ) delta de Volúmenes de los Tanque de Almacenamiento.

Para la elaboración de la gráfica propuesta (véase Figura 17) se debe conocer:

1. Las actividades o cambios operacionales matrices o locales efectuadas durante el periodo de análisis, los cuales se deben describir en los informes de macro medición.
2. La ecuación de balance de la unidad de distribución, el cual podrá variar dependiendo del esquema de operación actual al mes de evaluación.
3. Los caudales promedios diarios verificados de cada uno de los puntos de medición y calculados con las matrices de datos crudos.

Para el desarrollo de este análisis debe ser claro el cálculo del volumen suministrado neto para la unidad hidráulica correspondiente, que depende del balance hidráulico y de su conocimiento del mismo. Para el Sector 9 como ejemplo de este protocolo y como único sector materializado, el profesional elabora un esquema operacional de macro medición para un entendimiento rápido del balance hidráulico del



sector y que se deberá elaborar para cualquier otra unidad de distribución materializada con macro medición.

*Nota: es importante aclarar, que las mediciones con caudales positivos (+) corresponden a las entradas de flujo y los caudales negativos (-) corresponden a las salidas de flujo.*

#### **8.6.2.1 Formato análisis tendencias y desviaciones de la medición**

Desarrollando cada una de las tablas resumen (balances hidráulicos) y gráficas anteriores a niveles de macro medición 1 y 2 o de las que se pueda obtener sujeto a la toma de medidas crudas en terreno y materialización de unidades de distribución, se procede a calcular la variación de la medición del mes de análisis, recomendando como límite del Índice de Variación Mensual de la Macro medición – IVMM +/- 2%, correspondiente a la variación máxima admisible para un nivel hidráulico medido (punto de medición, sector, zona, circuito, etc.), donde el 2% resulta de la tecnología implementada en campo por la EAAV para la sectorización correspondiente a equipos electromagnéticos cuyo error típico esta entre el +/- 0.2% a 1.0% y más una variación aceptable de +/-1% adicional por crecimiento de población anual u otras variables como disminución de daños.

Con los registros históricos de medición promedio diario y con la ayuda de las gráficas históricas de medida por unidad de distribución (Zonas, Sector, subsector, ciclo,

distrito, etc.), se calcula el Índice de Variación Mensual de la Macro medición – IVMM y con la hoja de cálculo (formato.xlsx) que se presenta en la Figura 19:

A continuación se describe columna por columna la información, datos y/o fórmulas que caracteriza la hoja de cálculo (formato.xlsx) del IVMM:

### **Especificaciones.**

- **Columna 1.** Código de la unidad de distribución, suministrado por el diseño y la implantación de la sectorización del sistema del acueducto urbano.
- **Columna 2.** Dirección del punto de macro medición, según nomenclatura vial o descripción de lugares cercanos.
- **Columna 3.** Código del punto de medición, suministrado por el diseño y la implantación de la sectorización del sistema del acueducto urbano. Este código debe identificar fácilmente la unidad de distribución que se está midiendo, así como el tipo de medida (caudal, presión o cualquier parámetro de calidad de agua físicoquímico y microbiológico, para Colombia véase Resolución 2115 de 2007).
- **Columnas 4.** Corresponde a la medida (caudal, presión, etc.) en promedio diario-mes registrado durante los últimos 13 meses incluido el mes de análisis

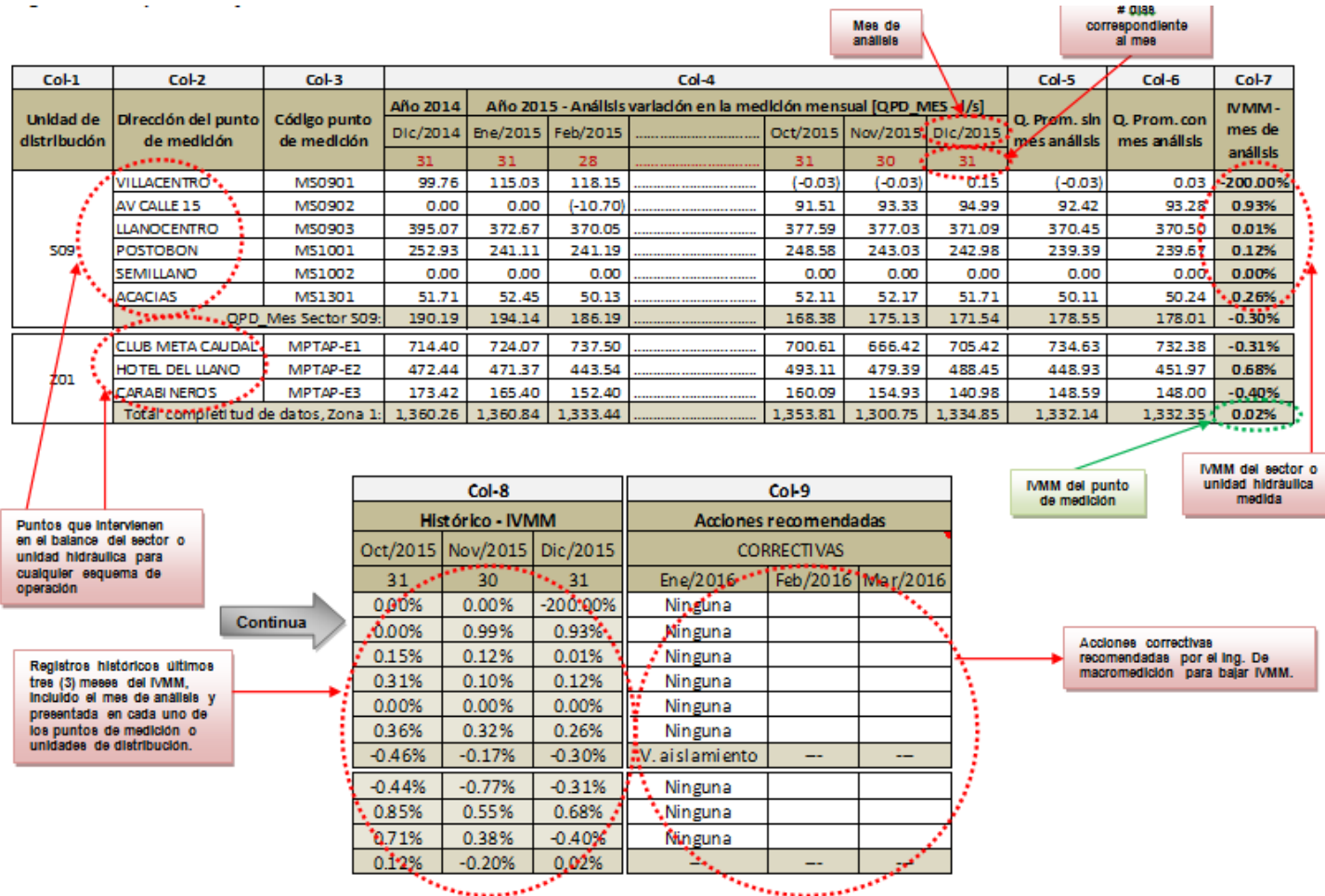
para cada uno de los puntos de medición o unidad de distribución (Zona, sector, subsector, circuito, etc.).

- **Columna 5.** Se calcula el promedio del QPD de los últimos meses en los que se presentan para un mismo evento operacional que haya influido en la medición, sin incluir el mes del análisis.
- **Columna 6.** Se calcula el promedio del QPD de los últimos meses en los que se presentan para un mismo evento operacional que haya influido en la medición, incluyendo el mes del análisis.
- **Columna 7.** Cálculo del Índice de Variación Mensual de la Macro medición – IVMM. Su estimación se resume con la siguiente formula:

$$Columna 5 (\%) = \frac{(Col 4 - Col 3)}{Col 3}$$

- **Columna 8.** Corresponde a los resultados históricos del IVMM, correspondiente a los tres últimos meses incluido el mes de análisis:

Figura 19. Propuesta hoja de cálculo análisis variación en la medición mensual



Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

- **Columnas 9.** Es la medida o acción recomendada por el ingeniero de macro medición para corregir una desviación en la medición que supere el 2% y si es el caso validar los datos de la medición explicando la causa de la desviación.

### **8.6.3 Análisis ocurrencia de daños en redes de distribución mayor o igual a 3” de diámetro**

Este numeral recomienda una análisis a la ocurrencia de daños en redes de distribución mayor o igual a 3”, cuyo objeto es identificar que de la identificación de datos atípicos o variaciones en la medición sea o no producto de daños en la red del sistema de acueducto.

Para este análisis se requiere de la siguiente información:

1. Unidades de distribución identificadas en el mes de análisis con datos atípicos o con un IVMM que supere el +2%.
2. Graficas mensuales e históricas, una ayuda visual para observar la variación presentada.
3. Información de daños o tuberías estalladas.

La información de daños o tuberías estalladas se debe solicitar a la jefatura de acueducto de la EAAV ESP, el cual lleva un registro mensual con localización, fecha, tipo de daño y actividad realizada en campo.

Al apreciar las fichas que llevan este registro de daños, le falta dos columnas que describan la localización geográfica del daño, coordenada Este y Norte, para general un filtro rápido y contabilizar los daños del mes y por cada unidad de distribución hidráulica requerida.

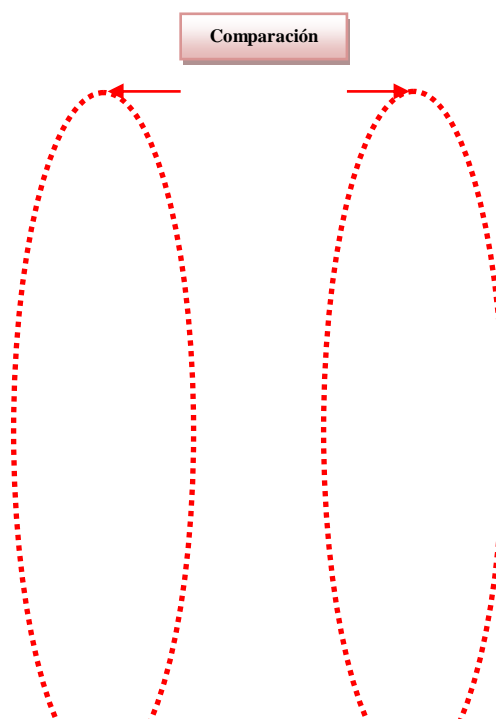
Con la información histórica de daños se recomienda registrar su ocurrencia como se presenta en la Figura 20, con el cual el ingeniero de macro medición podrá concluir si por efecto de la ocurrencia de daños en el mes de análisis se pudo presentar los datos atípicos o variaciones en la medición.

Desarrollada la tabla propuesta en la Figura 20, se recomienda elaborar la gráfica adjunta en la

Figura 21 el cual presenta de una forma más clara la tendencia de la ocurrencia de daños sobre un periodo histórico analizado.

Desarrollando la tabla y gráfica propuesta en el análisis de ocurrencia de daños, se procede a concluir si por efecto de la ocurrencia de daños presentada se pudo inducir o no a datos atípicos o una variación en aumento a la medición. Para ello se observara la tendencia histórica de la ocurrencia de daños para cada unidad de distribución analizada y se compara la ocurrencia de daños encontrada en el mes de evaluación con el promedio de daños del último semestre cumplido, y si la ocurrencia de daños para el mes de análisis supera el promedio de daños del último semestre cumplido se puede concluir que los daños presentados en la red dentro del sector o unidad de distribución en el mes de evaluación pudieron influir a datos atípicos o una variación en la medición. En este orden de ideas se resume en la Tabla 7 los análisis y/o conclusiones a las que se puede llegar el ingeniero de macro medición.

**Figura 20. Propuesta tabla de ocurrencia de daños por semestre y mes**



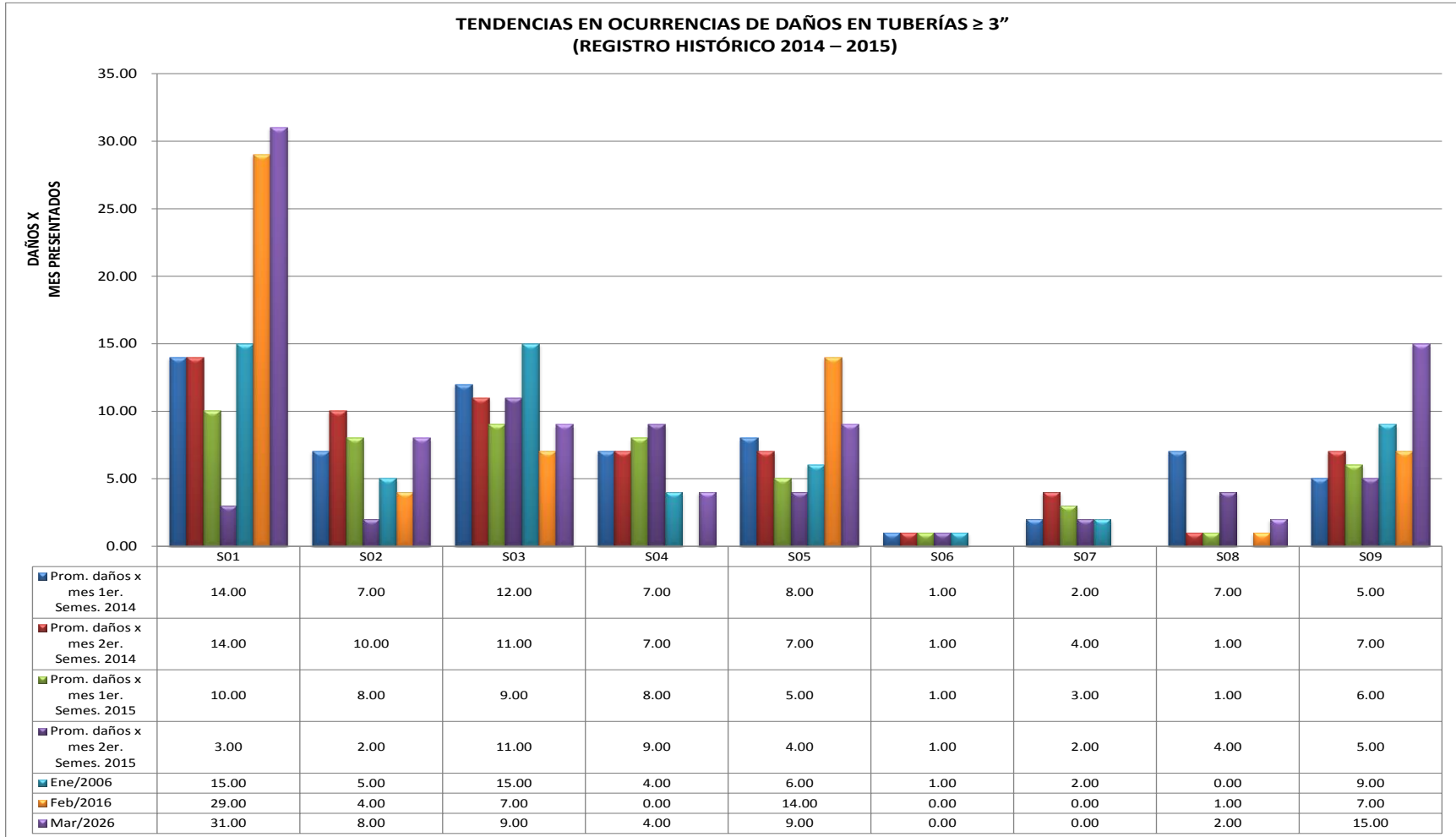
Unidad de distribución	Prom. daños x mes 1er. Semes. 2014	Prom. daños x mes 2er. Semes. 2014	Prom. daños x mes 1er. Semes. 2015	Prom. daños x mes 2er. Semes. 2015	Ene/2006	Feb/2016	Mar/2026
	31	30	31	31	30	31	30
S01	14.00	14.00	10.00	3.00	15.00	29.00	31.00
S02	7.00	10.00	8.00	2.00	5.00	4.00	8.00
S03	12.00	11.00	9.00	11.00	15.00	7.00	9.00
S04	7.00	7.00	8.00	9.00	4.00	0.00	4.00
S05	8.00	7.00	5.00	4.00	6.00	14.00	9.00
S06	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
S07	2.00	4.00	3.00	2.00	2.00	0.00	0.00
S08	7.00	1.00	1.00	4.00	0.00	1.00	2.00
S09	5.00	7.00	6.00	5.00	9.00	7.00	15.00
S10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total daños presentados en el mes:	63.00	62.00	51.00	41.00	57.00	62.00	78.00

Mes de análisis →

Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación



**Figura 21. Propuesta presentación gráfica ocurrencia de daños por semestre y mes**



**Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación**

**Tabla 7. Criterios de evaluación ocurrencia de daños**

<b>Relación entre el promedio de daños del último semestre cumplido con el número de ocurrencia de daños presentado en el mes de evaluación</b>	<b>Conclusión general a la situación presentada</b>
<b>Daños mes de análisis &gt; Promedio daños último semestre</b>	<p>Si la ocurrencia de daños para el mes de análisis supera el promedio de daños del último semestre cumplido, se puede concluir que los daños presentados en la red dentro del sector o unidad hidráulica en el mes de evaluación pudieron influir a una variación en la medición si esta se presenta.</p>
<b>Daños mes de análisis <math>\leq</math> Promedio daños último semestre</b>	<p>Si la ocurrencia de daños para el mes de análisis iguala o es más bajo al promedio de daños del último semestre cumplido, se puede concluir que los daños presentados en la red dentro del sector o unidad hidráulica en el mes de evaluación no tienen incidencia sobre la variación en la medición presentada.</p>

**Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación**

Conociendo los criterios de evaluación por ocurrencia de daños se deberá emitir un concepto final por sector o unidad de distribución, el cual valida los datos de medición o no por ocurrencia de daños en tuberías mayores a 3” de diámetro.

## 9 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

La siguiente tabla muestra las actividades realizadas durante el desarrollo y la ejecución de esta investigación. - Duración 4 meses

**Tabla 8 Cronograma De Proyecto De Grado 2017**

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
<b>1. Recolección De Información (Serie De Datos Históricos)</b>												
<b>2. Planteamiento Y Proceso De Registro De Datos Crudos</b>												
<b>3. Desarrollo Y Proceso De Completitud De Datos</b>												
<b>4. Planteamiento Proceso De Identificación De Datos Atípicos</b>												
<b>6. Proceso De Analizar Y Validar De Datos Atípicos</b>												
<b>7. Proceso De Calculo Caudal Promedio Diario Y Mensual</b>												
<b>8. Estimar Los Volúmenes Suministrados</b>												
<b>9. Presentación De Resultados Con El Desarrollo Del Protocolo Para El Ejemplo, Sector La Esperanza</b>												

Fuente: Adaptado Autores del Proyecto de investigación

## PRESUPUESTO

Para la realización del proyecto y teniendo en cuenta las actividades planteadas en el cronograma se hace necesario contar con el siguiente presupuesto:

**Tabla 9 Presupuesto requerido para el Proyecto**

Tipo	Categoría	Recurso	Descripción	Fuente financiadora	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
<b>Recursos Disponibles</b>	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	USB	8 gb	Personal	1	\$25.000	\$25.000
		CD	Datos crudos	Personal	1	\$1.700	\$1.700
	INFRAESTRUCTURA						
	Digitación y análisis de datos crudos	Equipo	Computador HP	Personal	3 meses	\$300.000	\$900.000
	Traslados análisis de la información	Vehículo	BMW	Personal	3 meses		
		Gasolina	Para traslados	Personal	12 semanas	\$50.000	\$600.000
		Parqueadero	Parqueadero	Personal	3 meses	\$90.000	\$270.000
<b>Recursos Necesarios</b>	ELABORACIÓN DOCUMENTO FINAL	Papelería	Para imprimir	Personal	1	\$10.000	\$10.000
		Tinta	Para imprimir	Personal	1	\$45.000	\$45.000
		Encuadernación	Para entrega	Personal	1	\$100.000	\$100.000
		IMPREVISTOS	Imprevistos	Servicio de agua, luz, internet	Personal	3 meses	\$100.000
<b>Total Presupuesto</b>							\$2.251.700

**Fuente:** Adaptado Autores del Proyecto de investigación

## CONCLUSIONES

- La metodología desarrollada que llamamos Protocolo para la obtención del volumen suministrado, es una valiosa herramienta para completar los trabajos realizados por la EAAV ESP en la implementación de la macro medición en su sistema de acueducto.
- La metodología desarrollada presenta procesos y procedimientos de mantenimiento y aseguramiento de la calidad de la información y propone una metodología para el procesamiento de la información de datos crudos de los diferentes sectores de la ciudad.
- El planteamiento y desarrollo metodológico concibe el siguiente propósito general de la macro medición: a) operar y controlar el sistema de acueducto con el monitoreo de la red, generando resultados de predicción y reacción rápida del sistema y estableciendo programas de mantenimiento y aseguramiento de la calidad de la información.
- El plan de mantenimiento recomendado para los equipos de macro medición es correctivo, preventivo y migratorio, que en conjunto garantiza la seguridad permanente y el funcionamiento fiable de los instrumentos de medida, el cual varía en la definición de la periodicidad de las tareas, dependiendo del tipo de tecnología instalada en campo y que, de acuerdo con los planes detallados por cada operador, se pueden modificar en aspectos como seguridad, procesos en la

operación, continuidad del servicio, planes de trabajo, disponibilidad del personal técnico, entre otros.

- El mantenimiento preventivo propuesto hace referencia a una inspección periódica de los dispositivos de medición para evitar tareas de mantenimientos correctivos e innecesarios, lo cual reduce costos en la operación y evita el riesgo de paros en el proceso de producción. Las actividades que involucran una buena práctica de mantenimiento preventivo son la verificación metrológica de los instrumentos de medida, la inspección al interior de la tubería y de la fuente de alimentación eléctrica alterna, la limpieza o lubricación periódica de las partes mecánicas y eléctricas, en especial, para los equipos que disponen de partes móviles.
- El mantenimiento correctivo propuesto involucra los casos donde se identifica discontinuidad en la medición o ausencia de datos, fallas técnicas, evidencia de una señal inestable o desviaciones en el desarrollo de una verificación metrológica, problemas de descargue de datos, incluso durante el desarrollo de mantenimientos preventivos, donde el dispositivo no funciona correctamente y se hace necesario sustituirlo o retirar y reparar alguna de sus partes.
- El mantenimiento migratorio desarrollado tiene que ver con la necesidad de renovación del equipo de medición existente por uno de nueva generación o la implementación de otra tecnología, por cumplimiento de su vida útil o para mejorar las condiciones operativas. También implica la actualización del software de los equipos de macro medición o de los transmisores en el sistema Scada.

- En Colombia no existen laboratorios certificados por el Ministerio de Desarrollo Económico y la Superintendencia de Industria y Comercio para llevar a cabo procesos de calibración en laboratorio para macro medidores de agua. No obstante, en el país la calibración para los equipos de medición de caudal se debe hacer en campo con herramientas semi-inteligentes o con diferencia.
- Para asegurar la calidad de la información de la macro medición, además del cumplimiento de las actividades de mantenimiento correctivo, preventivo y migratorio, es necesario garantizar que las unidades de distribución macro medidas cumplan la condición de ser hidráulicamente estancas, razón por la cual el operador del sistema de acueducto debe realizar periódicamente pruebas de aislamiento preliminar y total.
- El procesamiento de la información de datos desarrollado contempla el registro de datos brutos, la consolidación, identificación y validación de datos atípicos, anómalos o extraños, y recomendaciones para los indicadores de gestión. Con este último proceso el usuario puede evaluar comportamientos, tendencias y desviaciones de los registros históricos en la toma de acciones o correctivos en el sistema, lo cual repercute en su optimización.
- El procedimiento que se recomienda para la identificación de datos atípicos, anómalos o extraños dentro de cualquier serie de medición de caudal, presión o calidad de agua es la utilización de la herramienta estadística “Diagrama de Cajas”, la cual es una presentación visual que describe al mismo tiempo varias

características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la simetría o asimetría y la identificación de observaciones atípicas.

- En el desarrollo metodológico de la información se sugiere un procedimiento de análisis para la validación de datos atípicos, que va precedido del procedimiento recomendado para la identificación de las lecturas de medición atípicas, anómalas o extrañas con el método estadístico Diagrama de Cajas
- Para controlar la gestión de la producción de la información macro medida en un sistema de acueducto urbano es necesario que el operador establezca y cumpla ciertos indicadores de gestión, en los que pueda evaluar, entre otros aspectos, la variación de la medición por unidad de distribución y de unidades más grandes hasta toda la producción del sistema, la continuidad de la medición para cada punto de macro medición, el tiempo promedio de atención y reparación de daños a puntos de macro medición, el porcentaje de cumplimiento de las actividades de aseguramiento de la calidad de la información macro medida, entre otros.
- La importancia de poder calcular con exactitud el volumen suministrado en cada unidad hidráulica, garantiza que la EAAV pueda llegar a calcular el Índice de Agua no Contabilizada en toda la ciudad cuando se tengan todos los sectores macro medidos.



## RECOMENDACIONES

- La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio debe continuar con la materialización de la macro medición y vista desde los siguientes puntos de vista:
  1. Los procesos de medición de volúmenes o caudales captados de las fuentes de captación son obsoletos, recomendado utilizar equipos de medición tipo ultrasónicos con la inclusión de las señales en el clear Scada que ya posee La Empresa. Está en la mejor opción en tecnología de acuerdo a la precisión requerida en la captación y menores costos en el suministro e instalación.
  2. Para la estimación de los volúmenes producidos o salidas de Plantas de Tratamiento de Agua Potable – PTAP se recomienda una tecnología de mayor precisión y flexibilidad en la operación y mantenimiento, requerido así para por el cálculo del Índice de Agua No Contabilizada. Recomendado equipos tipo electromagnéticos.
  3. Y para la estimación de volúmenes suministrados se recomienda continuar con la tecnología ya implementada en el Sector 9, con el suministro e instalación de equipos electromagnéticos con la inclusión de las señales en el clear Scada que ya posee la Empresa.

- Implementar los códigos propuestos en entradas y salidas de plantas y la estructura del código de medición propuesto para las unidades de distribución.
- Implementar los códigos de medición propuestos y para los puntos materializados del Sector 9, desde el sistema Scada y formatos u otros procedimientos que se generen.
- Implementar lo más pronto posible la metodología desarrollada, que tiene como fin generar un informe de macro medición mensual con el reporte final de volúmenes suministrados, producidos y/o captados según posibilidades de acuerdo a la existencia de información de datos crudos. Recuerde que esta es una información base e indispensable para el cálculo del IANC.
- En una mayor precisión del volumen suministrado que implica reducción del IANC, la EAAV ESP debe comenzar a implementar procesos que estimen o cuantifique los consumos técnicos que hacen referencia a los volúmenes de agua utilizados en lavados por hidrantes, daños presentados en la red del sistema de acueducto contabilizados desde el momento que se reportan hasta que se reparan, incluyendo el volumen necesario desaguado para la reparación, suministro de agua a carro tanques como producto las actividades propias de la EAAV ESP u otra entidad privada (Bomberos, Defensa Civil, Policía Nacional, Alcaldía Municipal, etc.) y lavado de tanques de almacenamiento.

- Implementar al sistema de gestión de calidad los indicadores propuestos y formulados en este procedimiento de macro medición.
- Se recomienda georreferenciar en una base de datos el registro de daños y que se reporta mensualmente por la unidad de jefatura de acueducto de la EAAV ESP. Esto será de gran ayuda para facilitar el análisis a la ocurrencia de daños y por ende al informe de macro medición.
- Se recomienda recuperar la tarea en georreferenciar los usuarios del sistema de acueducto de la EAAV. Será de gran utilizada para los análisis en el comportamiento histórico de la medición que compara volúmenes Vs Usuarios y en la actualización de modelos hidráulicos.

**ANEXOS**

Registro de datos crudos estaciones de macro medición (Véase medio magnético)

## BIBLIOGRAFIA

- Acodal. (2017). *Resolucion 0330 de 2017 reglamento tecnico - RAS*. Obtenido de [www.acodal.org.co](http://www.acodal.org.co)
- Anonimo. (2013). *herramientas administrativas*. Obtenido de <http://administracionenteoria.blogspot.com.co/2011/03/herramientas-administrativas-o.html>
- Bernal, C. (2010). *Metodologia De la Investigación .Tercera Edición*.
- Camila, S. (2017). *Tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa*. Obtenido de <http://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.htm>
- Cruz, M. (2009). *Protocolo informes de aprobación de la macromedición mensual de la sectorización. Bogotá, Colombia: Unión Temporal Aqua 2008 – Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB E.S.P.*
- Cruz, Mauricio. (2014). *Planteamiento y desarrollo metodologico de la macromedición en acueductos urbanos. Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito. Maestria en recursos hidraulicos y medio ambiente Bogota*. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co>
- Eaav. (2017). *Empresa de acueducto y alcantarillado de Villavicencio , Historia*. Obtenido de [www.eaav.gov.co/](http://www.eaav.gov.co/)
- Jiménez, M. (2002). *La sectorización hidráulica como estrategia de control de pérdidas en sistemas de acueducto. Bogotá, Colombia: Zeta periodismo*. Obtenido de <http://books.google.com>

MDE. (2010). *Ministerio de Desarrollo Económico Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS-2010. Título D. Bogotá D.C.*

Muruaga, F. (2017). Gerencia Técnica del Acueducto.