



Diseño de la captación lateral mediante el método secciones de velocidad en la comunidad de Pilacoto, Latacunga – Cotopaxi

Design of lateral intake using the velocity section method in the community of Pilacoto, Latacunga – Cotopaxi

Dimensionamento de captação lateral pelo método de seções de velocidade na comunidade de Pilacoto, Latacunga – Cotopaxi

Rudys Rafael Cusme Intriago^I
rudys.cusme0891@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-7882-1206>

Yadira Araceli Herrera Martínez^{II}
yadira.herrera@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2309-5474>

Jonathan Javier Guanoluisa Aguirre^{III}
Jonathan.guanoluisa1022@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-5385-2006>

Oscar Ivan Altamirano Tixe^{IV}
Oscar.altamirano5450@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-4471-6696>

Correspondencia: rudys.cusme0891@utc.edu.ec

Ciencias Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 31 de enero de 2025 * **Aceptado:** 17 de febrero de 2025 * **Publicado:** 02 de abril de 2025

- I. Universidad Técnica de Cotopaxi
- II. Universidad Técnica de Cotopaxi
- III. Universidad Técnica de Cotopaxi
- IV. Universidad Técnica de Cotopaxi

Resumen

El agua, esencial para la vida, enfrenta desafíos en cuanto a su disponibilidad y calidad, especialmente en zonas rurales, como en América Latina y el Caribe, donde el acceso al agua potable y al saneamiento, particularmente en países como Haití, Bolivia y Nicaragua. En este contexto, el estudio en el sector de Pilacoto, Ecuador, se centra en diseñar una obra de captación (Bocatoma lateral) para optimizar la recolección de agua. La metodología combina un análisis hidrológico con el método racional y técnicas de aforo mediante secciones de velocidad, dando como resultados un caudal actual de 0.038 m³/s y proyecciones de hasta 7.86 m³/s para un tiempo de retorno de 5 años. El diseño realizado es un canal de derivación con una cámara de sedimentación adaptados a las necesidades locales, asegurando un suministro hídrico eficiente y sostenible para la comunidad de Pilacoto.

Palabras claves: análisis, caudal, canal, bocatoma

Abstract

Water, essential for life, faces challenges regarding its availability and quality, especially in rural areas such as those in Latin America and the Caribbean, where access to potable water and sanitation is limited, particularly in countries like Haiti, Bolivia, and Nicaragua. In this context, a study in the Pilacoto sector, Ecuador, focuses on designing an intake structure (lateral intake) to optimize water collection. The methodology combines a hydrological analysis using the rational method and flow gauging techniques through velocity sections, yielding a current flow rate of 0.038 m³/s and projections of up to 7.86 m³/s for a 5-year return period. The proposed design includes a diversion channel with a sedimentation chamber tailored to local needs, ensuring an efficient and sustainable water supply for the Pilacoto community.

Keywords: analysis, flow rate, channel, intake structure

Resumo

A água, essencial à vida, enfrenta desafios em termos de sua disponibilidade e qualidade, especialmente em áreas rurais, como na América Latina e no Caribe, onde o acesso à água potável e ao saneamento, particularmente em países como Haiti, Bolívia e Nicarágua. Neste contexto, o

estudo no setor Pilacoto, Equador, centra-se na concepção de uma obra de captação (captação lateral) para otimizar a captação de água. A metodologia combina análise hidrológica com método racional e técnicas de medição por seções de velocidade, resultando em vazão de corrente de 0,038 m³/s e projeções de até 7,86 m³/s para tempo de retorno de 5 anos. O projeto realizado é um canal de desvio com câmara de sedimentação adaptada às necessidades locais, garantindo um abastecimento de água eficiente e sustentável para a comunidade de Pilacoto.

Palavras-chave: análise, vazão, canal, captação

Introducción

El agua, que cubre dos terceras partes de la superficie terrestre y constituye el 75 % del cuerpo humano, es esencial para la vida. Históricamente, las ciudades se han establecido cerca de fuentes de agua, no solo para abastecerse, sino también como destino para el vertido de desechos, lo que ha generado contaminación y un creciente riesgo de enfermedades a nivel global (Pedro Rodriguez Ruiz, 2001). Debido a su relevancia tanto para el consumo humano como para otras actividades, los sistemas de agua potable son fundamentales para mejorar la calidad de vida, especialmente en las zonas rurales, donde el acceso a este servicio es limitado en comparación con las áreas urbanas, que tradicionalmente reciben mayor atención de las autoridades (Morales, 2015).

Las regiones del mundo con menos avance en coberturas de abastecimiento de agua rural son en su orden: Oceanía con un 37%; África subsahariana con el 47%; Asia occidental con un 78% y América Latina y el Caribe con un 80%, enfocándonos en la situación de América Latina y el Caribe sus índices de cobertura de abastecimiento de agua en zonas rurales permanecen bajos en países como Perú (61%), Bolivia (67%), Paraguay (66%), Nicaragua (68%) y Haití (55%). En cuanto al acceso a servicios de saneamiento, las cifras son aún menores, destacando Bolivia (9%), Brasil (37%), Haití (10%), Nicaragua (37%), Paraguay (40%) y Perú (36%) como los países con mayores deficiencias (Mantilla, 2011).

Entre 1990 y 2008, algunos países lograron avances significativos en la cobertura de abastecimiento de agua en áreas rurales. Paraguay lideró con un aumento del 41%, seguido de Belice (37%), Cuba (36%), Chile (27%), Ecuador (26%), Bolivia (25%), México (23%) y Uruguay (21%). Respecto al saneamiento rural, los mayores progresos se registraron en México (38%),

Ecuador (36%), Chile (35%), Honduras (34%), Paraguay (25%), Guatemala (22%), El Salvador (21%) y Perú (20%) (Mantilla, 2011).

Para alcanzar un mayor porcentaje en la coberturas de abastecimientos en el Ecuador, se realiza un estudio para el sector de Pilacoto pertenecientes al cantón de Guaytacama de la provincia de Cotopaxi en cual se tiene un aproximado de 3000 habitantes, siguiendo los modelos de estudios cercanos como sucede en la parroquia rural de Toacasa respecto a los estudios de evaluación y diseño del abastecimiento de agua potable de este mismo (Luis Orlando Pallasco Yugsi, 2018), para la siguiente investigación se realizara el diseño de una obra de captación (bocatoma lateral), siendo una obra para cauce de rio, caño, entre otros, y teniendo en cuenta el aumento de caudales, erosiones con la finalidad que no afecte a la obra y logre una optimización y mejora del sistema de agua potable (Edixon Chingate, Helmer Álvarez, 2020). Logrando una mejora en el sector de Pilacoto contando con el apoyo de la Junta Administradora de agua potable y la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Estrategias Metodológicas / Materiales y Métodos

En la comunidad de Pilacoto se encuentran un aproximado de habitantes en el 2024 de 3315, siendo esta la población actual del sector, por lo que sector se abastece del cauce natural Tanicuchi, siendo un trabajo en conjunto con la Junta administradora de agua Pilacoto mediante su presidente el ingeniero Edwin Casa y la Universidad técnica de Cotopaxi con los integrantes ingeniero Rudys Cusme, ingeniera Yadira Herrera en calidad de docentes tutores, y en calidad de estudiantes los jóvenes Oscar Altamirano, Jean Mina y Javier Guanoluisa, siendo el cauce natural donde se hará el diseño de la obra hidráulica (bocatoma lateral) utilizando una metodología combinada entre el método de secciones con el que se determinara la sección del canal y el caudal aportante del mencionado cauce y complementando con el diseño de la bocatoma lateral mediante la metodología de las obras de captación.

En el inicio de la metodología se deben aplicar condiciones para el método de secciones, detallando que entre ellos se debe ubicar en un área donde prácticamente se encuentre de forma recta sin perturbaciones o remolinos, fijando dos secciones tanto aguas arriba como aguas abajo con una distancia equis, para ello se realizara una delimitación del área de estudio o delimitación de la

cuenca aportante del cauce natural en el cual se emplean utilizando el software QGis, con la metodologías de recorte de archivos ráster obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (USGS & USDI, 2017), para luego ser procesado por las varias sub herramientas del apartado GRASS – Fill, Flow Direction, Flow Accumulation y Watershed (Congedo Luca, 2022; Da Cunha & Martins, 2017).

Métodos de secciones de velocidad

Este método es utilizado en el aforo de los ríos cuando se desea conocer el caudal de la corriente de forma aproximada sin tener que recurrir a las estaciones hidrológicas o meteorológicas, el aforo se realiza mediante flotadores por ello se realiza el siguiente procedimiento.

Es importante que el flotador quede sumergido una gran parte de ellos y emergente lo necesario, pero procurando siempre que no sea muy grande, cumpliendo con la condición de que puede ser influenciada por el viento y producir perturbaciones en el régimen del cauce. Una vez seleccionado el flotador se arrojan a lo ancho de la sección a equidistancias similares entre sí, con la finalidad que el flotador pueda alcanzar una velocidad constante antes de llegar a la sección transversal (Jorge Yerrén, 2000).

Siendo esto que la velocidad de cada flotador será igual a la longitud entre el tiempo que se demora en recorrer las equidistancias (Jorge Yerrén, 2000).

$$V_{s1} = L/t_1; V_{s2} = L/t_2; V_{s3} = L/t_3 \dots\dots V_{sn} = L/t_{sn}$$

Donde:

V_s = Velocidad del flotador (m/s)

L = Longitud (m)

T = Tiempo (seg)

Al tener varias mediciones de velocidad se realiza el promedio para obtener una velocidad promedio (Jorge Yerrén, 2000).

$$V_s = (V_{s1} + V_{s2} + V_{s3} + V_{s4} + V_{s5} + \dots\dots\dots + V_{sn})/ n$$

Obteniendo una parte, se procede a obtener la sección del río mediante el levantamiento topográfico y elaborar el gráfico de la sección principal, correspondiente al punto donde se encuentra la mira limnimétrica, es fundamental asegurarse de representar con precisión tanto la ubicación de la cota de referencia como la de la mira limnimétrica (Jorge Yerrén, 2000).

Obteniendo el área de la sección principal y empleando un plano planimétrico, se construye una curva que relaciona el nivel del agua con el área, durante el aforo se registra el nivel del agua al inicio y al final (Jorge Yerrén, 2000).

Una vez calculado los dos parámetros importantes como lo es la velocidad y el área se procede a calcular el caudal respectivo del canal, con la siguiente fórmula (Jorge Yerrén, 2000):

$$Q = V_s * A$$

Donde

$$Q = \text{Caudal (m}^3\text{/s)}$$

$$V_s = \text{Velocidad media del flotador (m/s)}$$

$$A = \text{Área de la sección}$$

Diseño hidráulico de la bocatoma lateral

Para el diseño hidráulico de la captación se necesita conocer el caudal actual del cauce natural, el caudal con periodos de retorno, diámetro de las partículas, entre otros factores de diseño.

- **Estudio hidrológico**

En el estudio hidrológico se mantienen diferentes métodos, como el método de Kirpich para el tiempo de concentración, método de relación de intensidad – duración – frecuencia para obtener las intensidades con periodos de retorno con 25, 50 hasta 100 años, con ello se finaliza con el método racional para obtener caudales con dichos periodos de retorno, en lo que utilizaremos las intensidades y con la delimitación del área mediante la delimitación de la cuenca procedemos a utilizar las formas indicadas (Javier Sanchez, 2022; Néstor Ávila, Jose Cárdenas, 2015).

Método de Kirpich

$$T_c = 0.0078 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del cauce principal (pie)

S = Pendiente promedio de la cuenca (pie/pie)

Método racional

$$Q = (C * I * A) / 3.6$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad (mm/hr)

A = Área de aportación (Km^2)

La bocatoma lateral tiene varios aspectos de construcción para este caso en particular nos enfocamos en dos de ellos, las rejillas de la entrada y el canal de derivación el cual cumplirá su función hasta el desarenador. Por ello aplicaremos la metodología expresada por (Carmona, 2013), donde expresa los diámetros de las misma y su función para las captaciones, complementado el diseño se utilizara la metodología expresada por (Ven Te Chow, 1994), en cual definimos al canal de derivación como un canal abierto para el transporte de fluido, esto influye en su fórmulas de la eficiencia máxima hidráulica en el diseño para un canal rectangular. Y por la cantidad de sedimentos el desarenador es fundamental para complementar la obra, para ello se utilizara la metodología expresada por (Organización Panamericana de la Salud, 2005), obteniendo las dimensiones hidráulicas del desarenador.

Resultados

En la cuenca se ha determinado que el cauce natural nace de un ojo de agua, el cual es el alimentador principal subdividiéndose en dos pequeños ramales que formaran al cauce principal, con esto lo podemos visualizar en la delimitación del área de estudio o cuenca, con lo que los parámetros principales para los métodos son:

Área total de la cuenca: 0.854 Km²

Longitud del cauce principal: 1110 m

Cota mayor: 3216 msnm

Cota menor: 3091 msnm

Pendiente: 0.113 m/m

DELIMITACION DE LA CUENCA EN EL OJO DE AGUA TANICUCHI

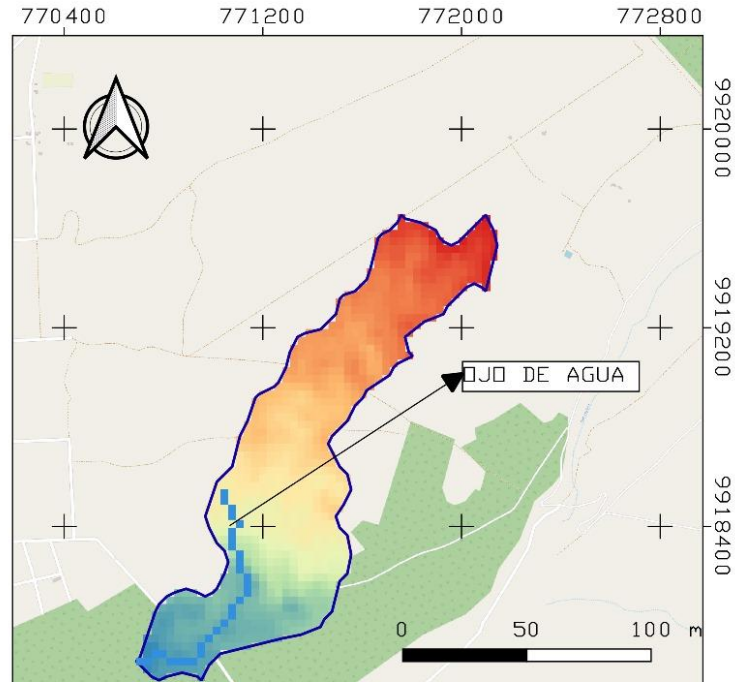


Ilustración 1. Delimitación del área de estudio del cauce Tanicuchi

Una vez obteniendo los datos de la cuenca, el método racional funciona en base a las intensidades y coeficiente de escorrentía para aquello;

El coeficiente de escorrentía de la cuenca lo evaluamos de la tabla de la metodología (Javier Sanchez, 2022), expresando los diferentes tipos de suelos y sus valores de coeficientes, por ello nos da un coeficiente de escorrentía ubicado en el uso de Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y seminatural con grado de suelo B con un porcentaje de 55%, para lo cual los ubicamos en un periodo de retorno de 100 años obteniendo un umbral de 1.46 en la zona 42, y así eliminando el porcentaje nos queda un valor de coeficiente de 0.80.

Complementando el método racional obtenemos las intensidades con periodos de retornos, para lo cual lo principal calculado es el tiempo de concentración, utilizando la metodología propuesta.

Método de Kirpich

Tiempo de concentración = 9.972 min

Basados en el tiempo de concentración se eligió la ecuación de la intensidad, otorgada por los anuarios meteorológicos de la estación seleccionada que es la M0120 con nombre Cotopaxi ubicada en la zona 42.

Formula de intensidad

$$I = 131.025 * IdTr^{0.2373} * tc^{-0.5426} \quad (6)$$

Donde:

I = Intensidad (mm/hr)

IdTr = Factor con tiempo de retorno (adimensional)

Tc = Tiempo de concentración (min)

Al igual que el coeficiente de escorrentía por la zona se encuentra los factores de tiempo de retorno para 5, 10, 25, 50, 100 años. Con lo que se calculó las intensidades y caudales respectivamente con la formula mencionada en la metodología.

Tabla 1. Cálculo de intensidades de lluvia con sus periodos de retorno.

| Periodo de retorno (año) | Factores | Intensidades (mm/hr) |
|--------------------------|----------|----------------------|
| 5 | 1.50 | 41.42 |
| 10 | 1.66 | 42.43 |
| 25 | 1.84 | 43.48 |
| 50 | 1.97 | 44.19 |
| 100 | 2.08 | 44.76 |

Y finalizando con el cálculo del caudal con periodos de retorno.

Tabla 2. Cálculo de caudales con sus periodos de retorno.

| Periodo de retorno (año) | Intensidades (mm/hr) | Caudales (m ³ /s) |
|--------------------------|----------------------|------------------------------|
| 5 | 41.42 | 7.86 |
| 10 | 42.43 | 8.05 |
| 25 | 43.48 | 8.25 |
| 50 | 44.19 | 8.39 |
| 100 | 44.76 | 8.49 |

Al no ver muchas variaciones con respecto a los caudales se podría efectuar con un periodo de retorno de 5 años para diseñar la obra de captación con un caudal de 7.86 m³/s. Siendo este un parámetro a futuro, se plantea también un diseño de la obra de captación con la actualidad y llegar a la toma de decisiones de un diseño óptimo para la comunidad de Pilacoto, por ello los resultados de la actualidad del río se calculó por el método de secciones – velocidades, el cual se empleó el flotador y la determinación de secciones transversales del río.

Para este caso en las desviaciones se subdividió en dos, para lo cual lo llamaremos zona A y B respectivamente. En lo que se realizó los cálculos obteniendo los siguientes resultados.

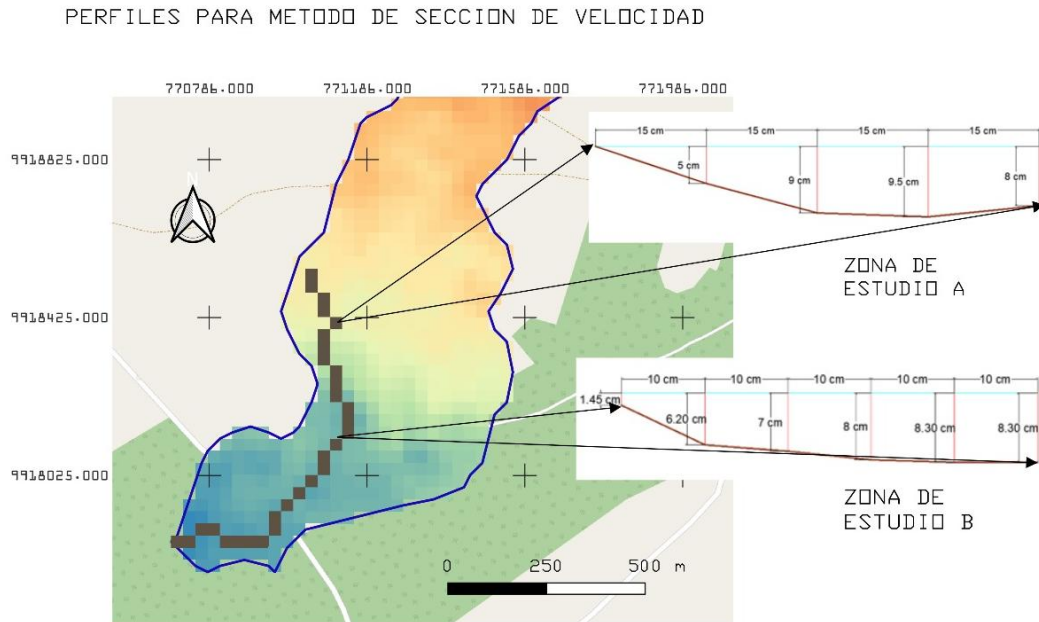


Ilustración 2. Perfiles de las zonas de estudios.

Tabla 3. Cálculo de caudales por el método de secciones de velocidad en la zona A.

| ZONA A | | | | | |
|----------------|-------------------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------------|
| Tramo | | | | | |
| Separación (m) | Áreas (m ²) | Longitud (m) | Tiempo (Seg) | Velocidad (m/s) | Caudal (m ³ /s) |
| 0.15 | 0.004 | 3 | 7.000 | 0.425 | 0.018 |
| | 0.011 | | 7.470 | | |
| | 0.014 | | 6.820 | | |
| | 0.013 | | 6.970 | | |
| | 0.041 | | 7.065 | | |

Tabla 4. Cálculo de caudales por el método de secciones de velocidad en la zona B.

| ZONA B | | | | | |
|----------------|-------------------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------------|
| Tramo | | | | | |
| Separación (m) | Áreas (m ²) | Longitud (m) | Tiempo (Seg) | Velocidad (m/s) | Caudal (m ³ /s) |
| 0.10 | 0.004 | 5 | 9.500 | 0.574 | 0.020 |
| | 0.007 | | 8.940 | | |
| | 0.008 | | 8.000 | | |
| | 0.008 | | 8.030 | | |
| | 0.008 | | 9.090 | | |
| | 0.034 | | 8.712 | | |

Con esto se determinó un caudal actual de 0.038 m³/s. Con el que se diseñó las obra captación.

En los cálculos de la obra se obtuvo que para el caudal de 38 L/s que es el caudal actual del cauce natural, se dimensiono una rejilla con una base 0.85 m y un alto de 0.30 m, y para el caudal con periodo de retorno de 25 años, el caudal de 8250 L/s, dimensionando una rejilla de base 3.00 m con un alto de 23.00 m algo sobredimensionado, acordando con la comisión de la Junta administradora de agua potable Pilacoto, se realizó un diseño de captación con una base de 0.85 m con un largo de 1.65 m y una altura de 1.50 m autorizando la entrada mediante una compuerta complementado con una canastilla, siendo una especie de filtro. Al ser un cauce con bastante sedimento se le realizo un apartado de sedimentación en el cual se almacenará y desfogara, esta cámara de sedimentación cumpliendo varios parámetros de la metodología de desarenadores tiene las siguientes dimensiones, con una base de 3.00 m, un largo de 2.70 m y una altura de 1.50 m, siendo este el diseño óptimo para la captación de agua en la comunidad.

Con los parámetros de diseño, llevando un pendiente promedio del 2%, la obra de captación con las dimensiones de 0.85 m en la base y 1.50 m cumpliendo con la totalidad de la altura es decir que

la compuerta trabaje al 100% de la capacidad es capaz de alcanzar hasta $6.64 \text{ m}^3/\text{s}$, estando por debajo de los caudales con periodos de retorno considerando una crecida fuerte en el cauce, pero bajo los registros de la Junta de agua este no suele sobrepasar el metro de altura en el río, considerando esa información se tomó como optimo el diseño mencionado.

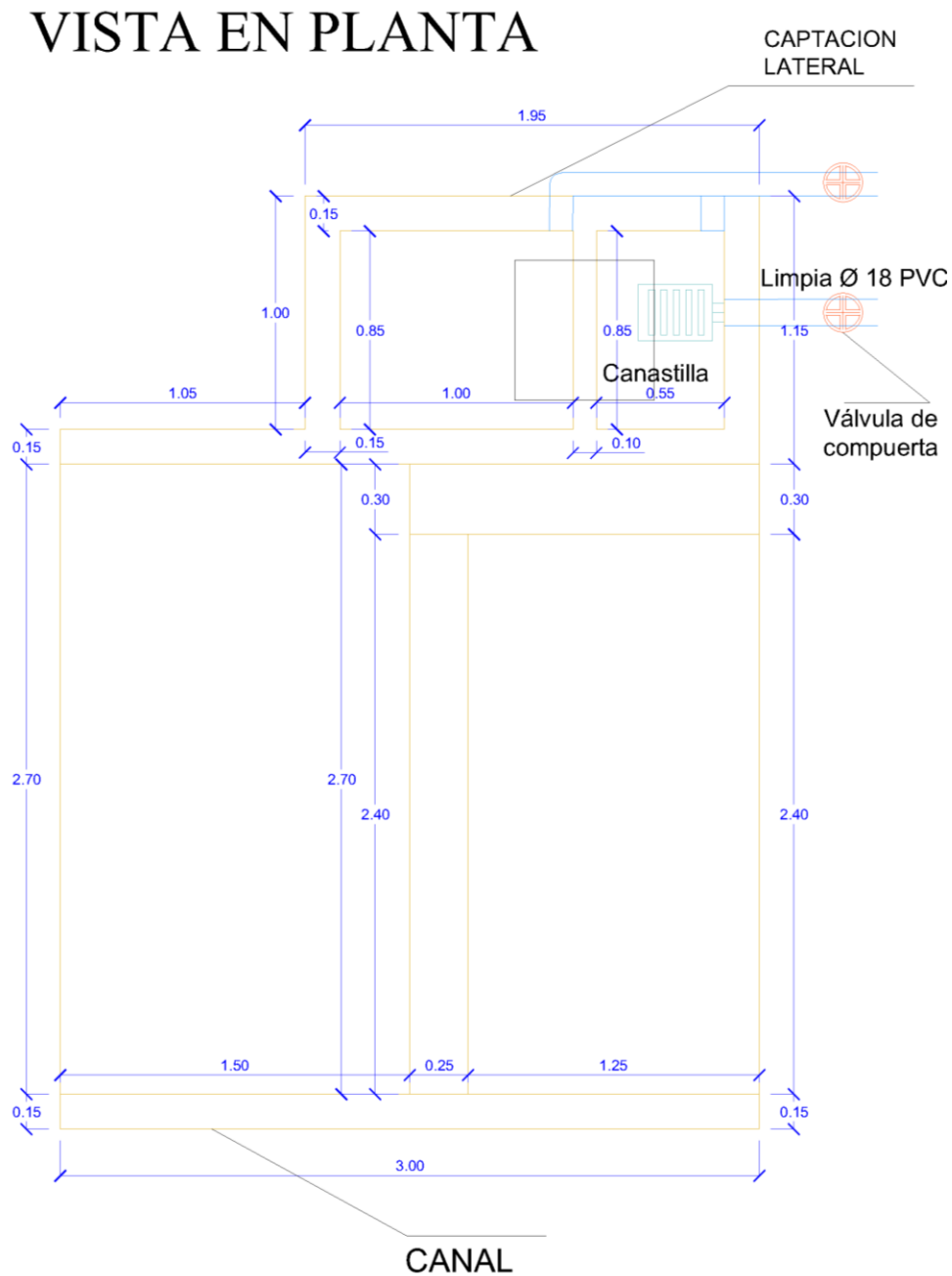


Ilustración 3. Vista en plata de la captación y la cámara de sedimentación

Discusión

La delimitación de la cuenca es parte fundamental para este proyecto por medio de las medidas del cauce principal, el cual refleja un valor de 1110 m, sirviendo como base para el tiempo de concentración que da respuestas rápidas a los sistemas ante eventos de lluvias intensas. La estación de Cotopaxi representa a las lluvias intensas mediante sus fórmulas de intensidad que esta para los rangos de 5 a 30 minutos de concentración cumpliendo con el valor de 9.972 min del tiempo de concentración.

Al tener toda esta información realizar el método racional es mucho más rápido para los caudales del cual cumple con 7.86 m³/s con 5 años de periodo de retorno hasta los 8.49 m³/s con los 100 años de retorno, siendo superior a los caudales actuales en el cauce principal de Tanicuchi, en el cual por el método de sección de velocidad, siendo un valor de 0.038 m³/s representados en las dos zonas de estudio, dejando un diseño mediante un canal de derivación más práctico de 0.85*1.65*1.50 m y una cámara de sedimentación de 3.00*2.70*1.50 m, garantizando la funcionalidad de la obra y satisfacer las demandas de la comunidad, cumpliendo aproximadamente a un 100% de la seguridad ya que su caudal de la obra es de 6.64 m³/s estando cerca de las crecidas extraordinarias calculadas con periodos de retorno.

Conclusiones / Consideraciones Finales

El acceso al agua potable es un desafío crítico en las zonas rurales de América Latina y el Caribe, donde los índices de cobertura permanecen bajos en comparación a las áreas urbanas. La comunidad de Pilacoto, en Ecuador, enfrenta limitaciones en su sistema de abastecimiento hídrico, lo que motivo a un estudio para diseñar la obra de captación eficiente. La metodología delimitó la cuenca perteneciente al río Tanicuchi, con el análisis de los caudales mediante diferentes métodos, siendo los valores de 0.038 m³/s y 7.86 m³/s, dejando un diseño captación lateral de 0.85*1.65*1.50 m para garantizar la funcionalidad y la seguridad de las crecidas extraordinarias. Este proyecto no solo mejora con una infraestructura hídrica, sino también sirve como modelo para otras comunidades rurales a realizar una integración de métodos científicos y un diseño de trabajo en conjunto entre las universidades y su junta de agua, en este caso la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante la facultad de Ciencias de la Ingenierías y Aplicadas (CIYA) con su respectiva

carrera de Ingeniería Hidráulica, han aportado y consolidado un trabajo con la respectiva Junta, lo cual fortalece y favorece al crecimiento profesional de ambas partes.

Bibliografía

Carmona, R. P. (2013). Diseño y construcción de alcantarillado sanitarios, pluvial y drenaje en carretera.

Congedo Luca. (2022). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation Release 7.9.7.1.

Da Cunha, R. B., & Martins, C. A. A. (2017). Geografia eleitoral: Uma revisão e possíveis caminhos. *RA'E GA - O Espaço Geográfico Em Análise*, 39(October), 43–56. <https://doi.org/10.5380/raega>

Edixon Chingate, Helmer Álvarez, N. L. (2020). Diseño y construcción de un prototipo de bocatoma lateral para el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villaviciencio.

Javier Sanchez. (2022). Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación - Escorrentía. Iii, 1–23.

Jorge Yerrén, G. C. (2000). Instructivo para aforar por el método de flotadores.

Luis Orlando Pallasco Yugsi. (2018). EVALUACIÓN Y DISEÑO DE LA RED DE AGUA POTABLE EN LA PARROQUIA RURAL TOACASO.

Mantilla, W. C. (2011). Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales.

Morales, F. A. (2015). Abastecimiento de Agua para comunidades rurales.

Néstor Ávila, Jose Cárdenas, D. G. (2015). Comparación de los métodos racional e hidrograma unitario para el cálculo de caudales en sectores hidrológicos rurales en el departamento de Tolima.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guías para el Diseño de Estaciones de Bombeo de Agua Potable. 39.

Pedro Rodriguez Ruiz. (2001). Abastecimiento de agua.

USGS, & USDI. (2017). Earth Explorer. June, 2000.

Ven Te Chow. (1994). HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTO.