



GUIA DE RECOMENDACIÓN DE OBRAS DE CALIBRACIÓN DE CONCESIONES

Departamento de Desarrollo Hídrico, noviembre 2021
Elaborado: Jesús Monge M.
Revisado: Leonardo Cascante Ch.

Contenido

I. Introducción:.....	2
II. Sustento Legal.....	2
III. Definiciones:	3
IV. Información técnica para la construcción de una obra calibradora.	4
a) Calibración por válvula:.....	4
b) Calibración orificio Vertedero.....	5
V. ANEXOS.....	10
VI. Bibliografía.....	15

I. Introducción:

En Costa Rica, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) tiene la función de ejercer la rectoría en materia de recurso hídrico. A través de la Dirección de Agua (DA), se ejecutan acciones orientadas a gestionar y proteger el recurso hídrico, por ejemplo: el otorgamiento de concesiones de aprovechamiento de agua y de fuerza hidráulica, los permisos de vertidos, los dictámenes de cuerpos de agua, los permisos para realizar obras en cauce y descarga de aguas de drenaje agrícola.

El objetivo principal es administrar el recurso hídrico a nivel nacional y resolver sobre el dominio, control, aprovechamiento y utilización de los cuerpos de agua y cauces. Dentro de las principales funciones de la Dirección de Agua, podemos mencionar las siguientes:

- Implementar acciones orientadas a operar las competencias de rectoría del sector hídrico.
- Implementar instrumentos económicos, normativos, de planificación e informáticos para una adecuada gestión del recurso hídrico.
- Implementar las acciones y proyectos identificados dentro de los documentos de planificación.
- Cumplir de manera eficiente con lo establecido en la Ley de Agua n^o, 276.

Conforme a lo anterior la Dirección de Agua debe regular y controlar el aprovechamiento de cada una de las concesiones que se inscriben y se otorgan, para lo cual cuenta con herramientas técnicas que permiten esta labor, siendo una de ellas la utilización de obras de calibración del aprovechamiento de agua, dispositivos diseñados técnicamente que permiten regular la cantidad de caudal aprovechado.

II. Sustento Legal.

Con base en lo indicado en la ley de aguas de 1942 se citan los siguientes artículos relacionados con la autorización y control del recurso hídrico:

ARTICULO 17.- Es necesaria autorización para el aprovechamiento de las aguas públicas, especialmente dedicadas a empresas de interés público o privado. Esa autorización la concederá el MINAE en la forma que se prescribe en la presente ley, institución a la cual corresponde disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia sobre las aguas de dominio público, conforme a la ley No. 258 de 18 de agosto de 1941. Exceptúense las aguas potables destinadas a la construcción de cañerías para poblaciones sujetas al control del Ministerio de Salubridad Pública, según ley número 16 de 30 de octubre de 1941.

ARTÍCULO 50.- Dominio público del agua

El agua es de dominio público, su conservación y uso sostenible son de interés social.

ARTÍCULO 51.- Criterios

Para la conservación y el uso sostenible del agua, deben aplicarse, entre otros, los siguientes criterios:

- a) Proteger, conservar y, en lo posible, recuperar los ecosistemas acuáticos y los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico.
- b) Proteger los ecosistemas que permiten regular el régimen hídrico.
- c) Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas.

ARTÍCULO 52.- Aplicación de criterios

Los criterios mencionados en el artículo anterior, deben aplicarse:

- a) En la elaboración y la ejecución de cualquier ordenamiento del recurso hídrico.
- b) En el otorgamiento de concesiones y permisos para aprovechar cualquier componente del régimen hídrico.
- c) En el otorgamiento de autorizaciones para la desviación, el trasvase o la modificación de cauces.
- d) En la operación y la administración de los sistemas de agua potable, la recolección, la evacuación y la disposición final de aguas residuales o de desecho, que sirvan a centros de población e industriales.

Es necesario indicar que todo aprovechamiento de agua debe ser autorizado y regulado por la Dirección de Agua.

III. Definiciones:

Altura: Altura sobre el centro del orificio hacia la superficie libre del agua, también conocido como carga hidráulica en metros.

Caudal: Cantidad de agua proporcionado en un tiempo determinado, dado en metros cúbicos por segundo “m³/s” o en litros por segundo “l/s”. Un metro cúbico (1m³) equivale a 1000 litros.

Caudal otorgado: Cantidad de agua otorgada que está indicada en la resolución.

Caída libre: Punto de salida del flujo de agua de la tubería la cual cae libre por efecto de la gravedad solamente.

Orificio: Área circular presente en toda tubería por el cual se conduce el agua y que varía según su diámetro.

Válvula: Elemento de plomería que regula el caudal mediante la apertura o cierre del área del flujo, conocido popularmente como llave de paso.

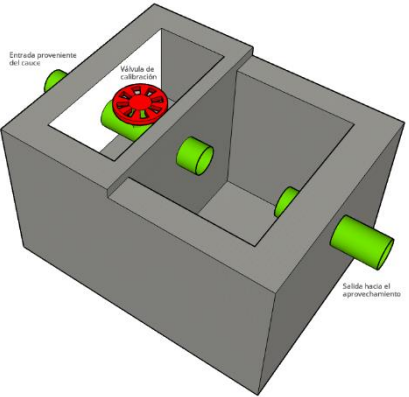
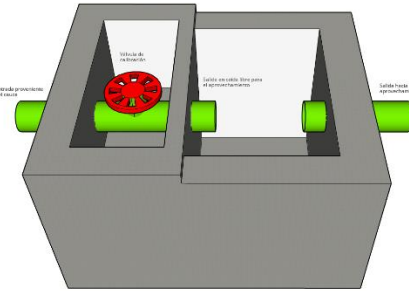
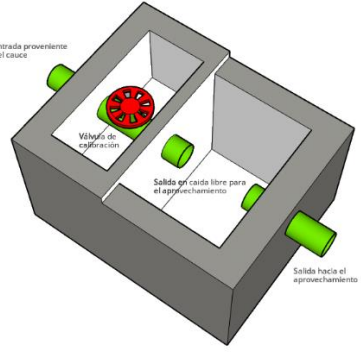
IV. Información técnica para la construcción de una obra calibradora.

Como se indicó en la introducción las obras de calibración tienen por objetivo regular la cantidad de agua para el aprovechamiento de la concesión, por lo cual existen muchos métodos para regular el flujo, en esta guía se recomienda algunas obras, sin embargo, las mismas pueden variar en sus diseños.

a) Calibración por válvula:

Uno de los métodos más fáciles es la válvula reguladora, lo que comúnmente se conoce como una llave paso, este método es de bajo costo y su calibración es muy rápida, la misma se puede apreciar en la figura 1, de esta guía de recomendación. Una vez implementado el diseño, la misma será calibrada por un funcionario de la Dirección de agua con el caudal otorgado en la concesión, una vez finalizado la regulación, la misma será sellada en concreto clausurándola para evitar su manipulación por terceros. Este diseño es recomendado para caudales en un rango de 0.01 litros por segundo a 0.30 litros por segundo.

Figura 1. Calibración por válvula

		
Nombre	Calibración por Válvula	
Principio de calibración	Cierre del Orificio	
Material	Metal y Concreto	
Caudales recomendados	0.01 – 0.30 l/s	
Cálculo del orificio y vertedero	El principio de calibración radica en la apertura o cierre de la válvula con el objetivo de regular la cantidad de caudal para su utilización.	

Es importante mencionar que debe haber un espacio suficiente entre la válvula y la caída libre con el fin de introducir un recipiente para la calibración y el control y revisión del caudal, generalmente un balde de 20 litros aproximadamente.

La ventaja que presenta este método es que es un método muy rápido de calibración, sin embargo puede presentar desventajas tales como la obstrucción por elementos ajenos al flujo como por ejemplos piedras, ramas, tierra y arena, y otros más que pueden llegar a afectar el buen funcionamiento de la válvula, además el contenido de arenas y otros materiales en el agua pueden llegar a desgastar los componentes internos de la válvula provocando una descalibración de la misma, por lo que es importante tomar en cuenta las anteriores consideraciones para su implementación, recomendándose un filtro antes de la válvula para extender su vida útil de la misma.

En el momento que por circunstancias diversas se descalibre la válvula el usuario está en la obligación de realizar el remplazo de la válvula y comunicarlo a la Dirección de Agua, para que un técnico realice la calibración nuevamente.

b) Calibración orificio Vertedero

La calibración de orificio vertedero de descarga libre es una de las calibraciones más fáciles debido a la sencillez de su cálculo la cual detallamos a continuación.

La cantidad de agua que sale por el orificio está determinada por la altura que se encuentra entre la superficie de agua y el centro del orificio, por lo cual el caudal esta dado por el área del orificio y la altura de la superficie del agua, de allí la importancia de mantener estable la altura del nivel de agua sobre el orificio de manera constante, función que cumple el vertedero como desfogue para mantener ese nivel, el excedente debe ser restituido inmediatamente a la fuente de origen.

Este diseño es recomendado para caudales en un rango de 0.30 litros por segundo a 500 litros por segundo. ver la figura 2 y 3.

Es necesario indicar que para caudales superiores a los 100 litros por segundo se recomienda utilizar varias estructuras para su calibración con el fin de estabilizar el flujo. Ver figura 6.

En la sección de los anexos, encontrara un ejemplo de cálculo de orificio y vertedero, además de una tabla de diámetros de tuberías de PVC más comunes del mercado, así como una tabla de caudales en función de su diámetro y su altura con el fin de guiar al usuario en la selección de los diámetros y alturas para obtener su calibración.

Figura 2. Cálculo de caudal de un orificio.

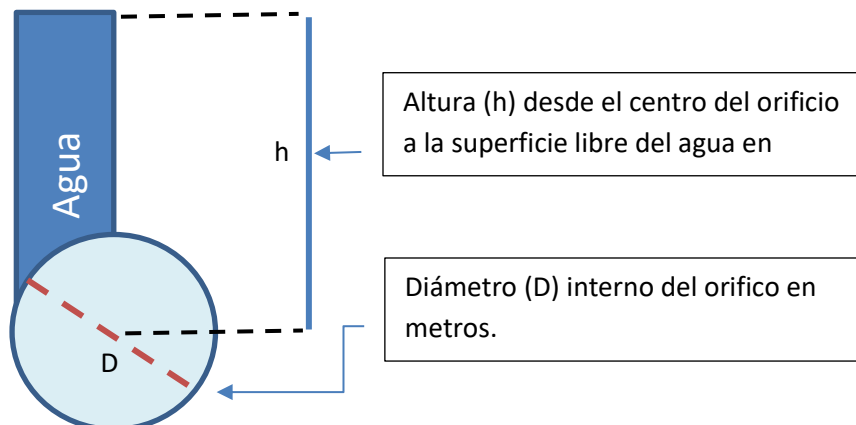
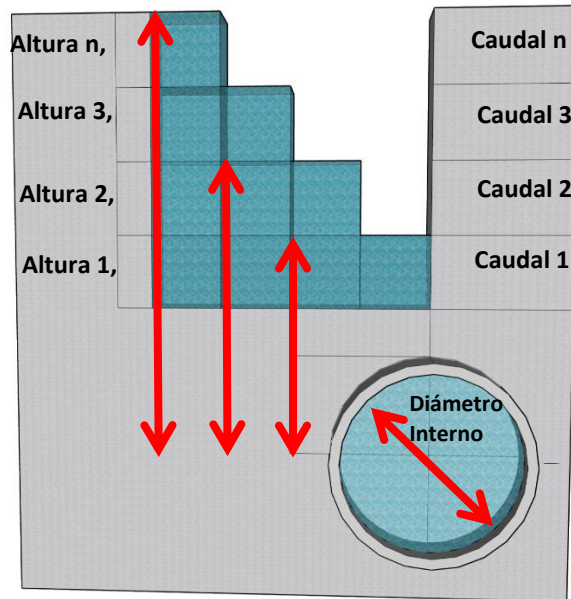


Figura 3. Calibración de orificio.



En la figura anterior, puede apreciar que para un valor de altura 1, tendremos un valor de caudal 1, y así sucesivamente dependiendo del valor de la altura sobre el orificio.

La fórmula que se utiliza para este cálculo es la siguiente:

$$Q = C_d * A_o * \sqrt{2 * g * h} \dots \dots \dots \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

Q = Caudal en m³/s → (1m³/s = 1000 litros/segundo)

Cd = Coeficiente de descarga que equivale a 0.82, para cortes rectos de tubería y pared.

Ao = Área del orificio en metros cuadrados.

g = Valor de la aceleración de la gravedad, el valor es de 9.81 m/s.

h = Altura desde de la superficie del agua hasta el centro del orificio en metros.

Figura4. Calibración orificio vertedero, para caudales menores a 100 l/s

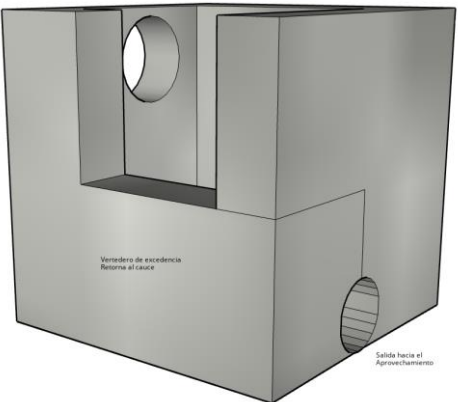
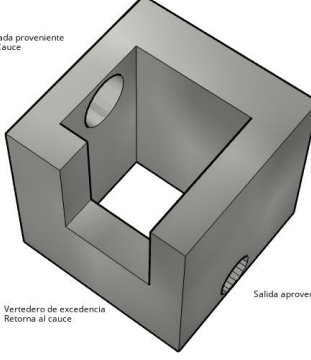
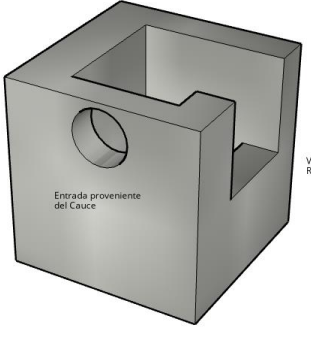
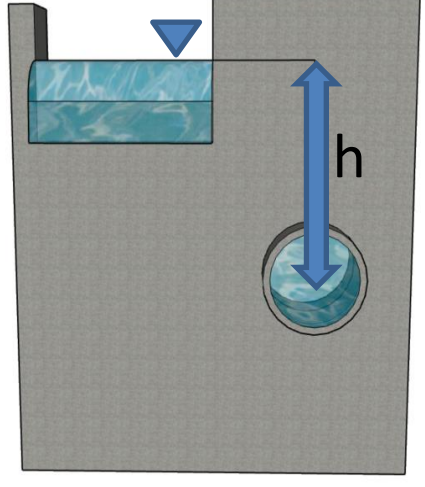
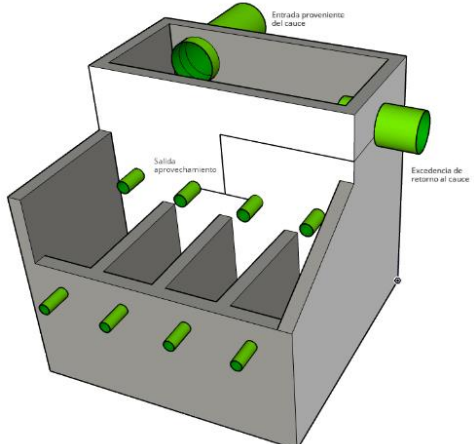
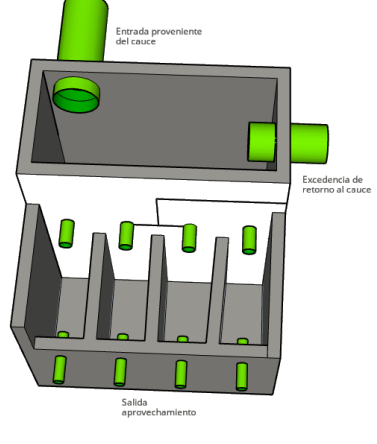
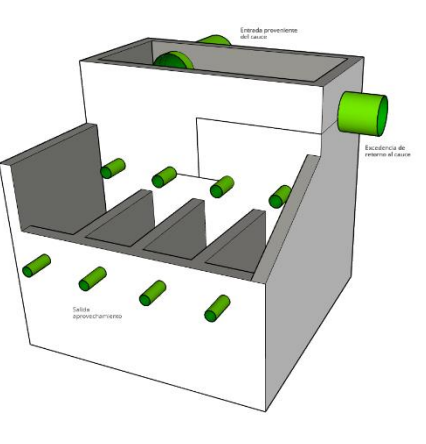
 <p>Entrada proveniente del Cauce</p> <p>Vertedero de excedencia Retorna al Cauce</p> <p>Salida hacia el Aprovechamiento</p>	 <p>Entrada proveniente del Cauce</p> <p>Vertedero de excedencia Retorna al cauce</p> <p>Salida aprovechamiento</p>	 <p>Entrada proveniente del Cauce</p> <p>Vertedero de excedencia Retorna al cauce</p>
<p>Nombre</p>	<p>Cubo de calibración</p>	
<p>Principio de calibración</p>	<p>Orificio de descarga libre</p>	
<p>Material</p>	<p>Concreto</p>	
<p>Caudales recomendados</p>	<p>0.30 – 100 l/s</p>	
<p>Cálculo del orificio y vertedero</p> 	<p>Fórmula para el cálculo.</p> $Q = Cd * Ao * \sqrt{2 * g * h}$ <p>Donde: Q = Caudal en m³/s Cd= Coeficiente de descarga, valor para tubería 0.82 Ao= Área del oficio en m² g = Aceleración de la gravedad m/s², un valor ≈ 9.8 h = Carga de orificio (altura desde la superficie del agua hasta el centro del orificio en m.</p> <p>Comentario: Esta obra es para caudales menores a 100 l/s, sin embargo, se debe tomar en consideración que la estructura debe ser de un tamaño tal que puede ingresar dentro de ella un recipiente de 20 litros “balde”, con el fin de verificar la correcta calibración de la obra.</p> <p>El excedente del caudal que se vierte por el vertedero debe ser conducido inmediatamente al cauce de donde se derivó para su aprovechamiento.</p>	

Figura5. Calibración orificio vertedero, para caudales menores a 100 l/s, tipo partidor

		
Nombre	Obra partidora y de calibración orificio-vertedero	
Principio de calibración	Orificio de descarga libre	
Material	Concreto	
Caudales recomendados	0.30 – 100 l/s	
Cálculo del orificio y vertedero	<p>Fórmula para el cálculo.</p> $Q = Cd * Ao * \sqrt{2 * g * h}$ <p>Donde: Q = Caudal en m³/s Cd= Coeficiente de descarga, valor para tubería 0.82 Ao= Área del oficio en m² g = Aceleración de la gravedad m/s², un valor ≈ 9.8 h = Carga de orificio (altura desde la superficie del agua hasta el centro del orificio en m.</p> <p>Comentario: Esta obra es para caudales menores a 100 l/s, en el cual puede presentarse más de dos aprovechamientos, sin embargo, se debe tomar en consideración que la estructura debe ser de un tamaño tal que puede ingresar dentro de ella un recipiente de 5 litros “balde”, con el fin de verificar la correcta calibración de cada una de las salidas de la obra.</p> <p>El excedente del caudal que se vierte por el vertedero debe ser conducido inmediatamente al cauce de donde se derivó para su aprovechamiento.</p>	

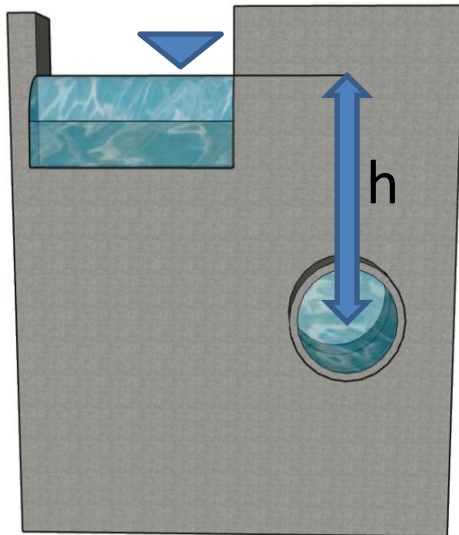
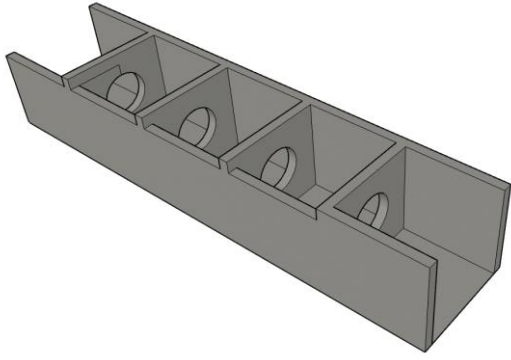
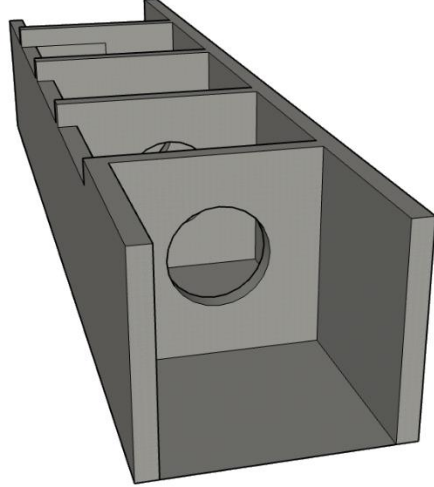


Figura6. Calibración orificio vertedero, para caudales mayores a 100 l/s, tipo cámaras

		
Nombre	Calibración por orificio - Vertedero	
Principio de calibración	Orificio Vertedero	
Material	Concreto	
Caudales recomendados	≥ 100 l/s	
Cálculo del orificio y vertedero	<p>Fórmula para el cálculo.</p> $Q = Cd * Ao * \sqrt{2 * g * h}$ <p>Donde: Q = Caudal en m³/s Cd= Coeficiente de descarga, valor para tubería 0.82 Ao= Área del oficio en m² g = Aceleración de la gravedad m/s², un valor ≈ 9.8 h = Carga de orificio (altura desde la superficie del agua hasta el centro del orificio en m.</p> <p>Comentario: La calibración por orificio vertedero tipo cámaras, tiene como variables el área hidráulica del orificio en función de la carga hidráulica determinada por la altura a la que se encuentra el espejo de agua sobre el centro del orificio. Las cámaras tienen por objetivo estabilizar el flujo y su altura sobre el centro del orificio, así los excedentes son drenados por los vertederos en cada una de las cámaras, lo cual garantiza la calibración en este tipo de flujos.</p> <p>El excedente del caudal que se vierte por el vertedero debe ser conducido inmediatamente al cauce de donde se derivó para su aprovechamiento.</p>	

V. ANEXOS

Anexo 1. Ejemplo de calibración por Orificio Vertedero.**Paso 1.**

Identificar el caudal en la resolución que le brindo la Dirección de Agua, generalmente este dado en litros por segundo. Para este ejercicio tomaremos el valor de 0.5 l/s, que es equivalente 0.0005 m³/s y que es el valor correcto para introducir en la formula.

Paso 2.

Obtener el valor del diámetro interno del tubo que vamos a utilizar para realizar la derivación del caudal indicado, para ello puede utilizar una regla graduada con milímetros y medirlo manualmente, o bien en el anexo 1, encontrara los valores de tamaños de tuberías más comunes comercialmente con su diámetro interno. Para este ejercicio tomaremos como el valor de una tubería de 1/2 pulgada, con un grosor de pared de SDR13.5, el cual tiene un diámetro interno de 18.2 mm, o lo que es igual a 0.0182 metros. Aplicando la formula del área del círculo:

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \dots \dots \dots \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:**A** = Área del orificio en metros cuadrados.**D** = Diámetro del orificio en metros

Tenemos que:

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \rightarrow A = \pi * \frac{0.0182^2}{4} \rightarrow \pi * \frac{0.000331}{4} \rightarrow \pi * 0.00008281 \rightarrow 0.0002601 \text{ m}^2$$

El valor del área del orificio es de 0.00026 metros cuadrados y el valor correcto para introducir en la formula.

Paso 3. Calcular la altura que debe estar el tubo de 1/2 pulgadas para descargar los 0.5 litros por segundo, que es igual a 0.0005 m³. Para ello utilizamos la ecuación 1 y la acomodamos para que nos brinde como resultado la altura del orificio de esta manera:

$$h = \frac{\left(\left(\frac{Q}{C_d * A_o}\right)^2\right)}{2 * g}$$

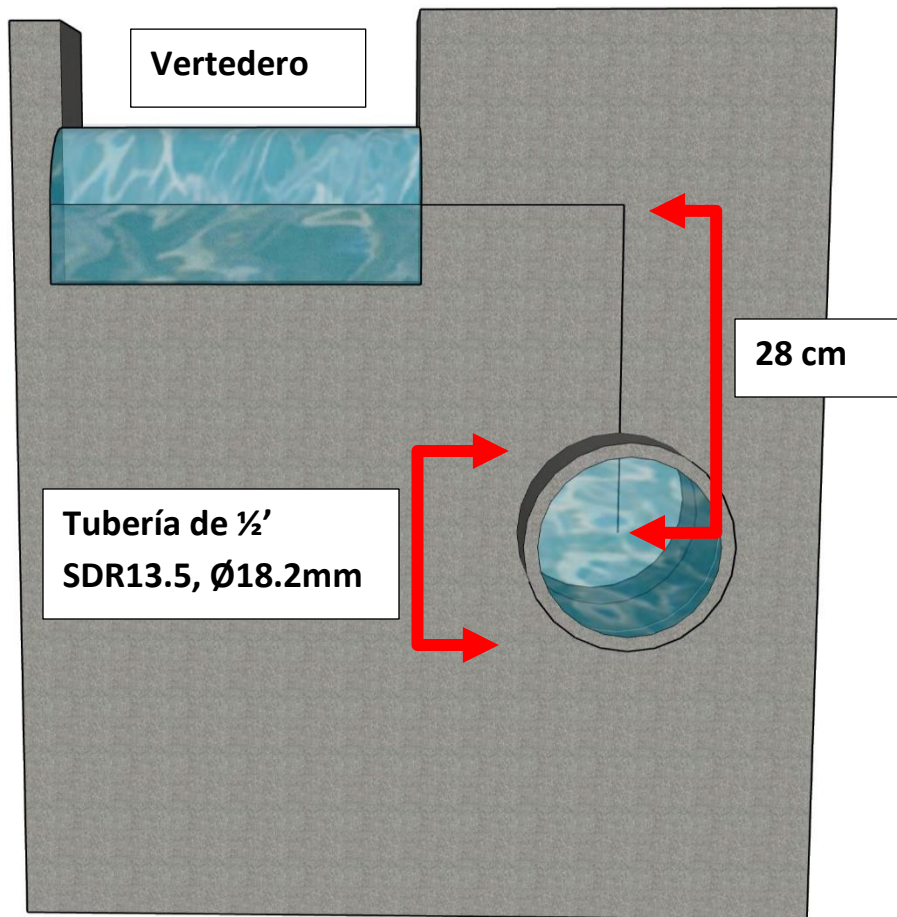
Sustituimos:

$$h = \frac{\left(\left(\frac{Q}{C_d * A_o}\right)^2\right)}{2 * g} \rightarrow \frac{\left(\left(\frac{0.0005}{(0.82 * 0.0002601)}\right)^2\right)}{2 * 9.81} \rightarrow \frac{(0.903564)^2}{19.62} \rightarrow \frac{0.495}{19.62} \rightarrow 0.28 \text{ m}$$

El resultado es 0.28 metros de altura, que es igual a 28 cm.

La respuesta es que el orificio de ½ pulgada debe estar a 28 cm por debajo del vertedero para su respectiva calibración. ver figura 6.

Figura6. Calibración orificio vertedero, ejemplo de cálculo.



Anexo 2. Diámetros de tuberías más comunes en PVC.

Diámetro nominal pulgada fracción	Grosos de la pared del tubo "SDR"	Diámetro Interno en mm	Diámetro Externo en mm	En metros	
				Diámetro Interno en metros	Diámetro Externo en metros
1/2	13.5	18.2	21.3	0.0182	0.0213
1/2	SCH40	15.8	21.3	0.0158	0.0213
3/4	17	23.5	26.7	0.0235	0.0267
3/4	SCH40	20.9	26.7	0.0209	0.0267
1	17	29.5	33.4	0.0295	0.0334
1	26	30.4	33.4	0.0304	0.0334
1	SCH40	26.6	33.4	0.0266	0.0334
1 1/4	17	37.2	42.2	0.0372	0.0422
1 1/4	26	38.9	42.2	0.0389	0.0422
1 1/4	32.5	39	42.2	0.039	0.0422
1 1/2	17	42.6	48.3	0.0426	0.0483
1 1/2	26	44.6	48.3	0.0446	0.0483
1 1/2	33	45.3	48.3	0.0453	0.0483
1 1/2	41	45.9	48.3	0.0459	0.0483
2	17	53.2	60.3	0.0532	0.0603
2	26	55.7	60.3	0.0557	0.0603
2	32.5	56.6	60.3	0.0566	0.0603
2	41	57.4	60.3	0.0574	0.0603
2	50	57.9	60.3	0.0579	0.0603
2 1/2	17	64.4	73	0.0644	0.073
2 1/2	26	67.5	73	0.0675	0.073
2 1/2	32.5	68.6	73	0.0686	0.073
3	17	78.4	88.9	0.0784	0.0889
3	26	82	88.9	0.082	0.0889
3	32.5	83.4	88.9	0.0834	0.0889
3	41	84.6	88.9	0.0846	0.0889
4	17	1008	1143	1.008	1.143
4	26	1053	1143	1.053	1.143
4	32.5	1073	1143	1.073	1.143
4	41	1087	1143	1.087	1.143
4	50	1073	1143	1.073	1.143
6	17	1485	1683	1.485	1.683
6	26	1553	1683	1.553	1.683
6	32.5	1579	1683	1.579	1.683
6	41	1601	1683	1.601	1.683
8	17	1933	2191	1.933	2.191
8	26	2022	2191	2.022	2.191
8	32.5	2056	2191	2.056	2.191
8	41	2084	2191	2.084	2.191
10	17	2409	2731	2.409	2.731
10	26	2521	2731	2.521	2.731
10	32.5	2562	2731	2.562	2.731
12	17	2858	3239	2.858	3.239
12	26	2990	3239	2.99	3.239
12	32.5	3039	3239	3.039	3.239
15	41	3697	3886	3.697	3.886

Anexo 3. Tabla guía para la elección de diámetros de tubería y alturas, para orificio vertedero

Tabla de Caudales para calibración orificio vertedero en función de la tubería y a carga hidráulica.																		
ALTURA EN METROS, DESDE EL CENTRO DEL ORIFICIO A LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA, PARA UN C _d =0.82																		
Diámetro nominal pulgada	Grosos de la pared del tubo "SDR"	Diámetro Externo mm	Diámetro Interno mm	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1/2	SCH40	21.3	18.2	0.30	0.42	0.52	0.60	0.67	0.73	0.79	0.85	0.90	0.94	0.99	1.04	1.08	1.12	1.16
3/4	SCH40	26.7	23.5	0.50	0.70	0.86	1.00	1.11	1.22	1.32	1.41	1.49	1.58	1.65	1.73	1.80	1.86	1.93
1	SCH40	33.4	29.5	0.79	1.11	1.36	1.57	1.76	1.92	2.08	2.22	2.36	2.48	2.60	2.72	2.83	2.94	3.04
1 1/4	SCH40	42.2	37.2	1.25	1.77	2.16	2.50	2.79	3.06	3.30	3.53	3.75	3.95	4.14	4.32	4.50	4.67	4.83
1 1/2	SCH40	48.3	42.6	1.64	2.32	2.84	3.27	3.66	4.01	4.33	4.63	4.91	5.18	5.43	5.67	5.90	6.13	6.34
2	SCH40	60.3	56.6	2.89	4.09	5.01	5.78	6.46	7.08	7.65	8.17	8.67	9.14	9.58	10.01	10.42	10.81	11.19
2 1/2	SCH40	73	64.4	3.74	5.29	6.48	7.48	8.37	9.16	9.90	10.58	11.22	11.83	12.41	12.96	13.49	14.00	14.49
3	SCH40	88.9	83.4	6.07	8.58	10.51	12.13	13.56	14.86	16.05	17.16	18.20	19.18	20.12	21.01	21.87	22.70	23.49
3 1/2	SCH40	100.8	94.6	8.17	11.43	14.15	16.32	18.00	19.45	20.77	22.00	23.16	24.26	25.31	26.32	27.29	28.22	29.11
4	SCH40	114.3	107.3	10.39	14.69	17.99	20.77	23.22	25.44	27.48	29.38	31.16	32.84	34.45	35.98	37.45	38.86	40.23
4 1/2	SCH40	127.3	120.3	12.73	17.69	21.69	24.77	27.50	29.88	32.04	34.00	35.86	37.63	39.31	40.90	42.40	43.81	45.17
5	SCH40	141.3	134.3	15.24	20.77	25.44	29.77	33.77	37.48	40.94	44.19	47.26	50.17	52.94	55.58	58.11	60.54	62.87
6	SCH40	168.3	155.3	21.76	30.77	37.68	43.51	48.65	53.29	57.56	61.54	65.27	68.80	72.16	75.37	78.45	81.41	84.26
6 1/2	SCH40	181.3	168.3	23.12	32.70	40.05	46.25	51.70	56.64	61.18	65.40	69.37	73.12	76.69	80.10	83.37	86.52	89.55
8	SCH40	219.1	202.2	36.88	52.16	63.88	73.76	82.47	90.34	97.58	104.32	110.65	116.63	122.32	127.76	132.98	138.00	142.84
8 1/2	SCH40	231.3	214.3	39.18	55.41	67.86	78.36	87.61	95.97	103.66	110.81	117.54	123.89	129.94	135.72	141.26	146.59	151.74
10	SCH40	273.1	249.9	52.35	74.04	90.67	104.70	117.06	128.23	138.51	148.07	157.05	165.55	173.63	181.35	188.76	195.88	202.76
10 1/2	SCH40	288.9	265.2	56.21	79.61	97.33	112.16	124.22	134.63	144.43	153.66	162.36	170.65	178.58	186.16	193.44	200.44	207.19
12	SCH40	323.9	299.0	80.65	114.05	139.69	161.30	180.34	197.55	213.38	228.11	241.95	255.03	267.48	279.37	290.78	301.76	312.35
12 1/2	SCH40	341.3	313.9	88.31	124.30	153.13	177.63	199.29	220.43	239.55	257.11	273.44	288.66	302.81	316.00	328.34	340.74	352.19
15	SCH40	388.6	369.7	123.30	174.37	213.56	246.59	275.70	302.01	326.21	348.74	369.89	389.90	408.93	427.11	444.55	461.33	477.53

Paso 1. Seleccione en las columnas de alturas, la altura pertinente para su obra.
 Paso 2. En la columna seleccionada busque el caudal que más se asemeje al valor del caudal otorgado desplazándose de arriba abajo.
 Paso 3. Seleccionada la casilla del paso 2, desplácese en la misma fila hasta el valor del diámetro de tubería.

VI. Bibliografía.

Villón M. (1995). Hidráulica de canales. Editorial tecnológica.