

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL



PROYECTO ESPECIAL
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO SOBRE ESTRUCTURAS DE CONTROL PARA
QUIEBRE Y REDUCCIÓN DE PRESIÓN EN SISTEMAS DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

PRESENTADO POR:
ING. DIANA EUGENIA MARTÍNEZ RUIZ

ASESOR:
m. Sc. Juan G. Saldarriaga

BOGOTÁ D.C., ENERO DE 2012



Universidad de los Andes

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA

Estudio sobre Estructuras de Control para Quiebre y Reducción de Presión en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable.

Dedicado a Dios, quien se ha convertido en el patrocinador de mis sueños, a mi familia, amigos, profesores y a todas aquellas personas que contribuyeron a hacer realidad este proyecto.



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2	MARCO TEÓRICO	4
2.1	FUNDAMENTOS DEL FLUJO (Tullis, 1989).....	4
2.1.1	Ecuación de Continuidad.....	4
2.1.2	Ecuación de la Energía.....	5
2.1.3	Fenómeno de Cavitación.....	7
2.2	ESTRUCTURAS PARA QUIEBRE DE PRESIÓN: CÁMARAS	8
2.2.1	Modelo USBR (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).....	8
2.2.1.1	Generalidades	8
2.2.2	Modelo Universidad de Medellín.....	23
2.2.2.1	Descripción (Camargo Gómez, 1999).....	24
2.2.2.2	Dimensiones propuestas (Camargo Gómez, 1999)	26
2.2.3	Modelos Empíricos	28
2.3	ESTRUCTURAS PARA REDUCCIÓN DE PRESIÓN: VÁLVULAS Y PLATINAS 31	
2.3.1	Válvulas Reductoras de Presión.....	31
2.3.1.1	Descripción (Mateos de Vicente, 2006)	31
2.3.1.2	Partes VRP (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).....	32
2.3.1.3	Funcionamiento (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).....	33
2.3.1.4	Diseño VRP	34
2.3.1.5	Estación Reductora de Presión (Corcho Romero & Duque Serna, 2005) 36	
2.3.1.6	Innovaciones en VRP	39
2.3.2	Placa de Orificios.....	39
2.3.2.1	Descripción.....	40
2.3.2.2	Diseño Placa de Orificios.....	40
3	CRITERIOS DE SELECCIÓN: ESTRUCTURAS DE QUIEBRE Y/O REDUCCIÓN DE PRESIÓN	47
3.1	CÁMARAS DE QUIEBRE	49



4	CASO DE APLICACIÓN: CÁMARAS DE QUIEBRE Y VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN.....	51
4.1	CASO HONDA	53
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
6	BIBLIOGRAFÍA.....	62
7	ANEXOS.....	64
7.1	ANEXO I: CATÁLOGO VÁLVULAS TECVAL.	64
7.2	ANEXO II: PLANTA PERFIL ADUCCIÓN RIO MEDINA.	64



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alturas de presión máxima según tipo de válvula de Manguito.	15
Tabla 2. Características de tanques de quiebre de presión.....	27
Tabla 3. Accesorios cámaras de quiebre empíricas.....	30
Tabla 4. Valores velocidad máxima recomendados en válvulas.....	35
Tabla 5. Valores Cv máximo recomendados en válvulas.	36
Tabla 6. Valores recomendados de velocidad, presión y nivel de complejidad	50



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ecuación de continuidad entre dos secciones.....	4
Figura 2. Línea de gradiente hidráulico y de energía.	6
Figura 3. Efecto de la cavitación en la LGH,	7
Figura 4. Disposición básica.	9
Figura 5. Disposición alterna.....	10
Figura 6. Disposición horizontal.	11
Figura 7. Válvula de Manguito estándar.....	12
Figura 8. Válvula de Manguito estándar.....	13
Figura 9. Válvula de manguito con orificios (Multichorro).	13
Figura 10. Válvula de Manguito con orificios (Multichorro).	14
Figura 11. Fuerza de empuje en el codo.....	16
Figura 12. Refuerzos horizontales y verticales.....	17
Figura 13. Altura de presión.....	18
Figura 14. Orificio de válvula de manguito.	19
Figura 15. Coeficiente de pérdidas para la válvula de manguito estándar.....	20
Figura 16. Nomograma para cálculo de dimensiones de la cámara de aquietamiento.	21
Figura 17. Válvula de Manguito típica con cámara de aquietamiento.....	22
Figura 18. Modelo cámara de quiebre – Universidad Medellín.....	24
Figura 19. Modelo cámara de quiebre – Empírico.....	29
Figura 20. Modelo cámara de quiebre – Empírico (2).	30
Figura 21. Sección y lista de componente de VRP – Acción directa.	34
Figura 22. Modelo de estación reguladora de presión.....	38
Figura 23. Jaula Anticavitatoria.....	39
Figura 24. Placa de orificios.....	40
Figura 25. Flujo a través de la placa de orificios.	40
Figura 26. Localización municipio Honda.....	54
Figura 27. Perfil Línea de aducción río Medina – Planta de tratamiento.....	56
Figura 28. Cámara de quiebre propuesta.....	61



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Cámara de quiebre en mampostería.....	51
Fotografía 2. Válvula de flotador con fugas.....	52
Fotografía 3. Válvula de flotador con fugas (2).....	52
Fotografía 4. Válvula de flotador dañada.	53
Fotografía 5. Explosión tubería río Medina – Honda.	57
Fotografía 6. Explosión tubería río Medina (2) – Honda.....	57
Fotografía 7. Explosión tubería río Medina (3) – Honda.....	58



1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

En la visión integral de sistemas de abastecimiento se conceptualizan componentes importantes como la captación, aducción, conducción, tratamiento, redes de distribución y válvulas y accesorios complementarios. En la práctica, se entiende por sistema de abastecimiento, el conjunto de tuberías y estructuras que se disponen de tal manera que puedan transportar en forma segura y continua el agua hasta una planta de tratamiento, y de ahí distribuirla a las edificaciones.

El origen de los sistemas de acueducto se remonta a tiempos antiguos con civilizaciones como Grecia y Roma, donde se construyeron canales para transportar las aguas hacia la ciudad. Cuando la población y las ciudades fueron creciendo, se hizo necesario, mejorar las condiciones de los sistemas; así empiezan a usarse tuberías, sistemas de tratamiento y estructuras especiales para controlar el flujo. En los últimos siglos se ha visto la necesidad de utilizar elementos para reducir la presión en las tuberías, como cámaras de quiebre, válvulas reductoras y placas de orificio.

En la actualidad no existe una metodología clara de selección y diseño de las estructuras para reducción de presión. En el caso de las cámaras de quiebre, no existe un modelo establecido. Todo esto, además de malas prácticas de ingeniería, que han llevado a estructuras poco funcionales.

A través del presente estudio, se espera, que los diseñadores sean conscientes de las limitaciones de los modelos para reducción de presión; para tal, se realiza un estado del arte de este tipo de estructuras y se muestran casos prácticos de fallas.

El contenido de este documento se encuentra organizado de la siguiente manera:

El capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS, presenta los aspectos más relevantes, además de los objetivos generales y específicos del presente estudio.



El capítulo 2. MARCO TEÓRICO, explica los modelos utilizados para quiebre de presión, a saber, Bureau, Universidad de Medellín y modelo empírico. Además, las válvulas reductoras de presión y las placas de orificio.

El capítulo 3. CRITERIOS DE SELECCIÓN, establece recomendaciones para selección de la estructura a utilizar, además de valores límites de aplicabilidad de los modelos de cámaras de quiebre de presión.

El capítulo 4. CASO DE APLICACIÓN: CÁMARAS DE QUIEBRE Y VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN, muestra reportes de fallas en estas estructuras, estudiando el caso específico del municipio de Honda, Tolima.

El capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, presenta los aspectos más relevantes de acuerdo con el estudio realizado y las recomendaciones para futuras investigaciones sobre este tema.

El capítulo 6. BIBLIOGRAFÍA, se muestran los documentos utilizados para el presente estudio.

En los ANEXOS, se adjuntan el manual de válvulas reductoras de presión de marca TECVAL®. Además del plano planta perfil de la línea de aducción del río Medina del acueducto regional de Honda.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento de sobrepresión en sistemas de abastecimiento de agua potable y las diferentes estructuras propuestas para controlar tal situación.



1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como el objetivo general es de gran alcance, se especifican los siguientes objetivos, acordes con el presente estudio.

- Realizar un estado del arte de las estructuras, tales como cámaras y válvulas, propuestas para quebrar la presión en sistemas de acueducto.
- Verificar el comportamiento de las estructuras más utilizadas en nuestro medio para quebrar la presión en sistemas de abastecimiento.
- Establecer rangos de operación de las estructuras que se consideren adecuadas para controlar la presión en sistemas de abastecimiento.



2 MARCO TEÓRICO

En los sistemas de abastecimiento de agua es común que por condiciones topográficas y de operación, se requiera reducir la presión hasta límites que el sistema pueda soportar sin riesgos. Para tal fin se utilizan cámaras de quiebre de presión, válvulas reductoras y placas de orificio.

2.1 FUNDAMENTOS DEL FLUJO (TULLIS, 1989)

La solución de la mayoría de los problemas de fluidos generalmente involucra la aplicación de una o más de las tres ecuaciones básicas: continuidad, momentum y energía.

2.1.1 Ecuación de Continuidad

La forma más simple de la ecuación es para flujo permanente, unidimensional e incompresible. Aplicando continuidad entre dos secciones dadas (Ver Figura 1):

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q$$

Ecuación 1

donde,

A= Área de la sección de la tubería.

V: Velocidad Promedio

Q: Caudal.

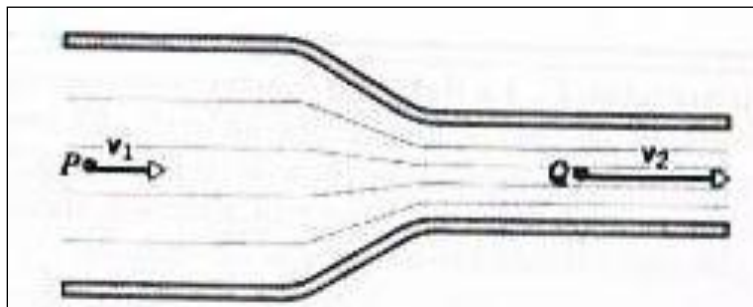


Figura 1. Ecuación de continuidad entre dos secciones.
Fuente: (Física en la Guía 2000).



La Ecuación 1 es válida para cualquier conducto rígido, de cualquier tamaño, siempre y cuando no haya adición o pérdida de líquido entre las dos secciones.

Si el fluido es compresible, la Ecuación 1, debe ser afectada por la densidad.

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = Q \quad \text{Ecuación 2}$$

2.1.2 Ecuación de la Energía

La primera ley de la termodinámica es que el cambio de la energía interna de un sistema es igual a la suma de la energía del fluido y el trabajo hecho por el mismo. Una forma general de la ecuación de energía para flujo incompresible, suponiendo perfil de velocidades uniforme, es,

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{V_2^2}{2} - W_p + W_t + W_f \quad \text{Ecuación 3}$$

Las unidades de cada término son energía por unidad de masa. Los dos primeros términos a ambos lados de la ecuación son la energía potencial, el tercer término es la energía cinética, W_p es la energía de la bomba agregada al sistema, W_t es la energía de la turbina removida del sistema y W_f representa la fricción y otras pérdidas menores de energía. La Ecuación 3 es aplicable a flujo permanente e ignora energía nuclear, eléctrica, magnética, y tensión superficial.

Una forma alternativa de la ecuación de la energía se obtiene al dividir todos los términos por la gravedad. Las unidades son energía por unidad de peso de líquido: feet-lb/lb ó N-m/m, que se reducen a feet ó m, respectivamente, después de una simplificación. Así, la forma de la ecuación es,

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} - H_p + H_t + H_f \quad \text{Ecuación 4}$$

Los tres primeros términos a ambos lados de la ecuación son altura de presión (P/γ), altura de elevación (z) por encima de algún nivel de referencia, y altura de velocidad



$(V^2/2g)$. Los tres últimos términos del lado derecho son la altura dinámica total agregada por una bomba (H_p) o removida por una turbina (H_t) y la altura de pérdidas menores y por fricción (H_f). Si no hay bombas o turbinas y si las pérdidas por fricción son despreciables, los tres últimos desaparecen y la Ecuación 4, se reduce a la ecuación de Bernoulli.

La energía es una cantidad escalar y la ecuación de energía es una función de punto, es decir, cuando se compara la energía en dos puntos cualesquiera en un sistema, cualquier camino que se tome del punto 1 al 2, produce la misma energía en el punto 2. Este es el principio básico usado en análisis de redes de tuberías.

La línea que conecta puntos de energía total, es llamada línea de gradiente de energía (EGL). La línea que conecta puntos de elevación más presión, es llamada línea de gradiente hidráulico (HGL) (Ver Figura 2).

La altura de la EGL por encima del datum de referencia, se conoce como altura total, y la altura de la HGL por encima del datum es llamada altura piezométrica.

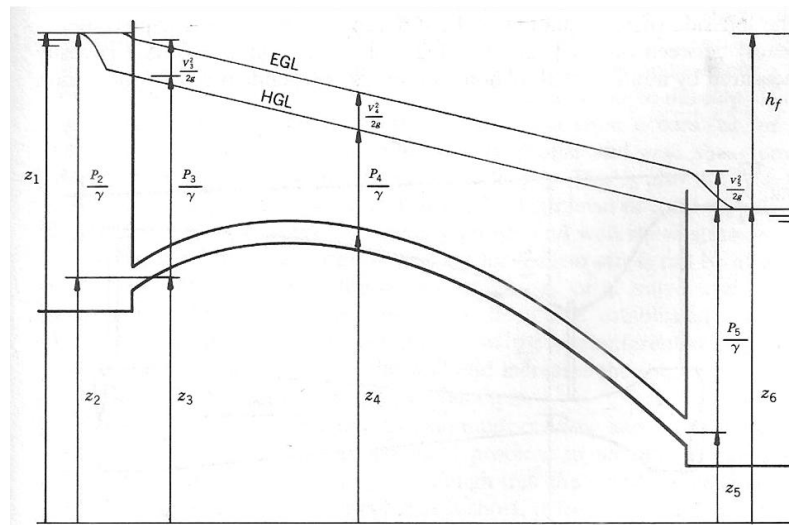


Figura 2. Línea de gradiente hidráulico y de energía.

Fuente: (Tullis, 1989).



2.1.3 Fenómeno de Cavitación

La cavitación es un criterio de diseño importante en el diseño y operación de sistemas de tuberías y válvulas. Es necesario determinar si existe el riesgo de presencia de cavitación. La cavitación es causada por la vaporización y condensación rápida de un líquido. Esto origina vacíos y pequeñas burbujas que contienen gas y vapor que forman un núcleo para la vaporización. Si estas burbujas son sometidas a la presión de vapor, ellas crecen rápidamente y si la presión circundante es mayor que la presión de vapor, ellas llegan a ser inestables y colapsan bruscamente. Las bajas y altas presiones necesarias para que se presente la cavitación causan rompimiento y frecuentemente están asociadas con la formación de turbulencias en las capas límite o regiones de separación. Estas turbulencias han sido identificadas como la causa primaria de disipación de energía de perturbaciones locales (pérdidas menores) (Ver Figura 3). La baja presión en el centro de estas turbulencias, causadas por su alta velocidad rotacional, combinadas generalmente con la presión baja de las regiones de separación, pueden causar cavitación. El rompimiento de estas cavidades puede causar ruido, fluctuaciones de presión, vibraciones y posible daño de erosión. Cuando la cavitación llega a ser severa, la gran cantidad de vapor puede causar peligro de erosión o reducir la eficiencia del equipo hidráulico y mecánico.

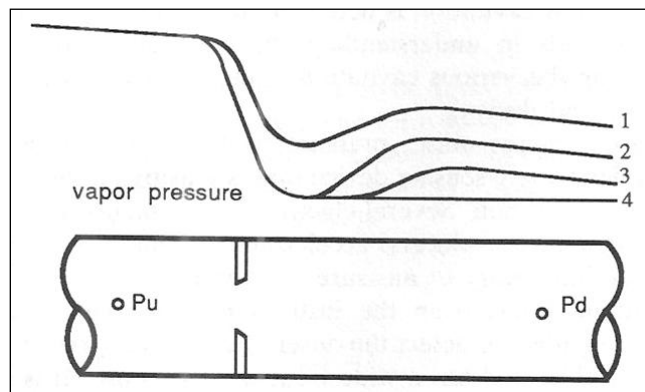


Figura 3. Efecto de la cavitación en la LGH,
Fuente: (Tullis, 1989).

La cavitación debe ser incluida como un importante parámetro de diseño que afecta la selección y operación de bombas, válvulas y otros elementos de control. Este es uno de



los problemas hidráulicos que causan costosas reparaciones y en algunos casos consecuencias catastróficas en las estructuras hidráulicas.

El número de cavitación, σ , es el parámetro adimensional para evaluar la intensidad de cavitación en diferentes condiciones de flujo y se calcula a partir de la Ecuación 5.

$$\sigma = \frac{P_1 - P_{vg}}{\Delta P} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde:

P_1 : Presión justo aguas arriba de la placa de orificio.

P_{vg} : Presión de vapor del medio a la temperatura de funcionamiento.

ΔP : Caída de presión en la placa de orificio.

2.2 ESTRUCTURAS PARA QUIEBRE DE PRESIÓN: CÁMARAS

Las cámaras de quiebre son estructuras o pequeños depósitos que se colocan generalmente a lo largo de la conducción cuando la presión estática es mayor que la presión de trabajo de la tubería. La cámara de quiebre permite disipar la energía del fluido hasta la presión atmosférica a la salida de la cámara. No existe una metodología de diseño clara para este tipo de estructuras; sin embargo se han propuesto varios modelos, que se detallan a continuación.

2.2.1 Modelo USBR (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978)

2.2.1.1 Generalidades

El modelo propuesto por el USBR es conocido como cámara de aquietamiento con válvula de manguito vertical. El desarrollo de este modelo da inicio durante la década de 1960, cuando el desarrollo de las ciudades impulsó cambios en algunos requerimientos hidráulicos de los sistemas de distribución y se hizo necesario encontrar estructuras que permitieran disipar energía desde una presión de entrada de 450 feet (137.20 m) hasta una presión de salida cercana a la atmosférica, sin que se presentaran los inconvenientes



típicos de este tipo de estructuras. Hasta ese momento se utilizaban para tal fin las válvulas de manguito con cono horizontal y orificios, comúnmente llamadas Howell-Bunger, Sin embargo, estas válvulas presentaban problemas de ruidos, formación de spray y posible riesgo de cavitación. Es así, como se inician investigaciones apoyadas en modelos físicos de laboratorio, que llevan a proponer la cámara de aquietamiento con válvula de manguito vertical como estructura óptima de disipación de energía. Los primeros resultados son publicados por Johnson en 1970.

2.2.1.1.1 Descripción

La cámara de aquietamiento con válvula de manguito es capaz de disipar hasta 243 mca. Una válvula de compuerta es usualmente requerida inmediatamente aguas arriba de la válvula de manguito para efectos de mantenimiento y operación.

Estudios de campo y laboratorio han contribuido al desarrollo de criterios de diseño para una disipación óptima de energía de este tipo de cámaras. La estructura general es de dos tipos, a saber:

- Disposición Básica (Flujo descendiendo) Esta es la disposición usual, con el flujo entrando por la parte superior de la cámara, donde un codo lo direcciona verticalmente hacia abajo a través de la válvula de manguito. La disipación de energía ocurre cuando el chorro vertical golpea el cono y luego el piso y las paredes laterales del pozo (Ver Figura 4).

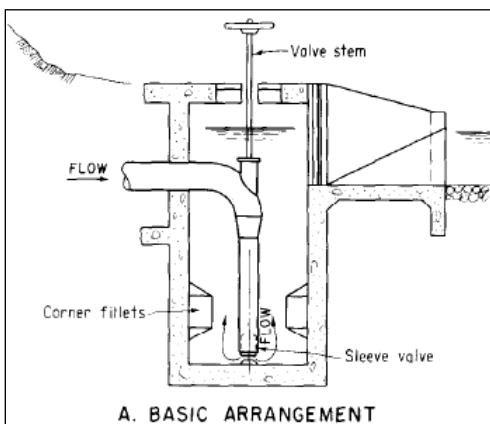


Figura 4. Disposición básica.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).



Otras pérdidas ocurren a través de la fricción de las tuberías, cambios de dirección y válvulas, entre otras.

- Disposición Alternativa (Flujo ascendiendo): De acuerdo con la superficie del terreno y el perfil de la tubería, se propone otra configuración, con la tubería entrando cercana al fondo y descargando hacia arriba a través de la válvula de manguito (Ver Figura 5). La disipación de energía ocurre de manera similar que en la disposición básica, excepto que el chorro inicial golpea un baffle en lugar del piso. Este arreglo tiene la ventaja que el vástago de control de la válvula de manguito no está sometido a las altas velocidades del flujo de entrada en la disposición básica, permitiendo soportar altas velocidades sin vibración excesiva.

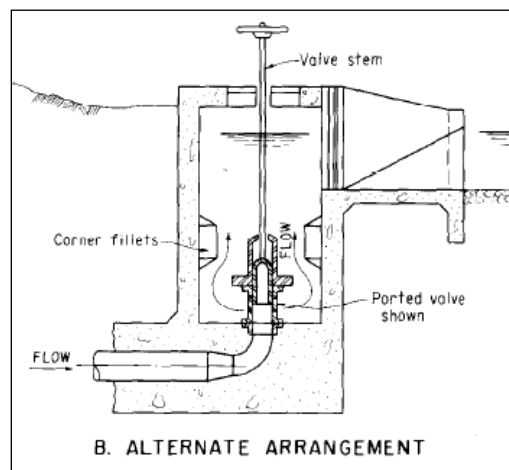


Figura 5. Disposición alterna.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

- Disposición Horizontal: Un tercer arreglo fue desarrollado por el Laboratorio de Hidráulica del USBR, consiste de una válvula de manguito descargando en una cámara horizontal. El concepto básico de este arreglo se ilustra en la Figura 6, el flujo entra en la válvula de la izquierda y se descarga a través del cuerpo perforado de la válvula en la cámara de quietamiento. Un manguito cilíndrico, que se encuentra dentro de la válvula, viaja a través de la sección perforada de la válvula, controlando el flujo a través de los orificios, y por lo tanto, la descarga de la



válvula. El flujo sale por la tubería inferior de la cámara de quietamiento (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1980).

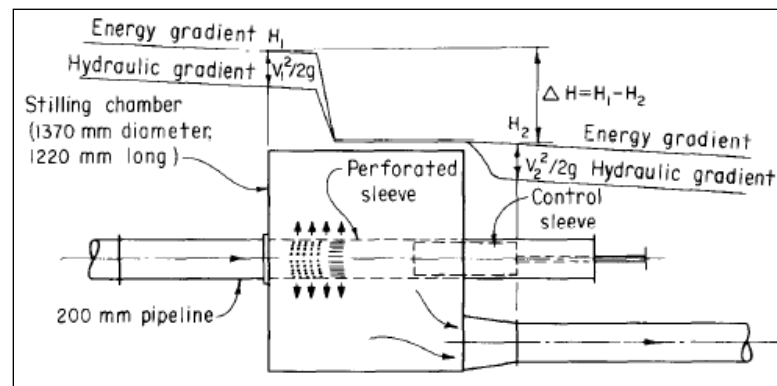


Figura 6. Disposición horizontal.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1980).

A fin de mejorar las características de disipación de energía de la cámara en el arreglo básico, anteriores diseños usaban un pedestal en el piso de la cámara. El pedestal además sirve como soporte y anclaje para la válvula. Experiencias recientes indican que este elemento puede causar erosión en la cámara y que funciona mejor un revestimiento de acero en el piso y paredes de la cámara.

2.2.1.1.2 Tipos de Válvula de Manguito Vertical

Dos tipos de válvulas de manguito vertical son utilizadas para controlar el flujo en este tipo de estructuras.

- Válvula de Manguito Estándar: Incluye dos diseños básicos, cada uno usando una válvula simple (Sin orificios). El manguito puede ir adentro o afuera de la cámara de la válvula. La mayoría de las válvulas incorporan un manguito interno fijado a un vástago interno de la válvula que se prolonga a través de la tubería vertical y del codo de 90° hasta la rueda de manejo.



Turbulencia, vibración, ruido y cavitación se producen por la localización del vástago en la zona de altas velocidades de flujo. Una modificación al diseño interno del manguito disminuye este problema al incrementar el diámetro de la tubería usada para la curva de 90° en una proporción de área de dos veces el área de la tubería vertical.

Diseños posteriores han incorporado un manguito externo con vástago afuera de la válvula y por tanto de la zona de altas velocidades (Ver Figura 7 y Figura 8). Este diseño reduce notablemente la posibilidad de cavitación y vibración en la válvula y suprime la necesidad de mayor área en la curva.

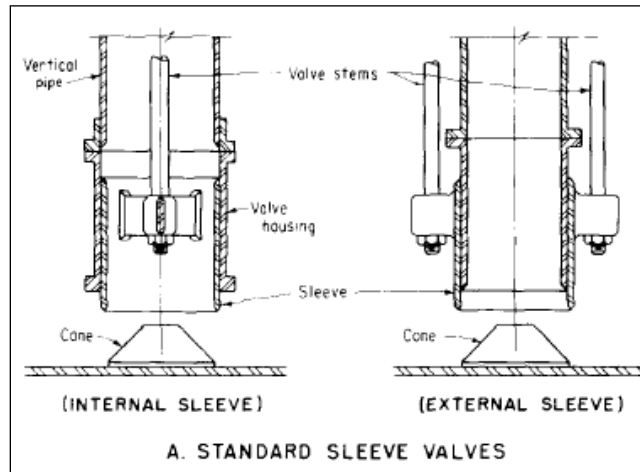


Figura 7. Válvula de Manguito estándar.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

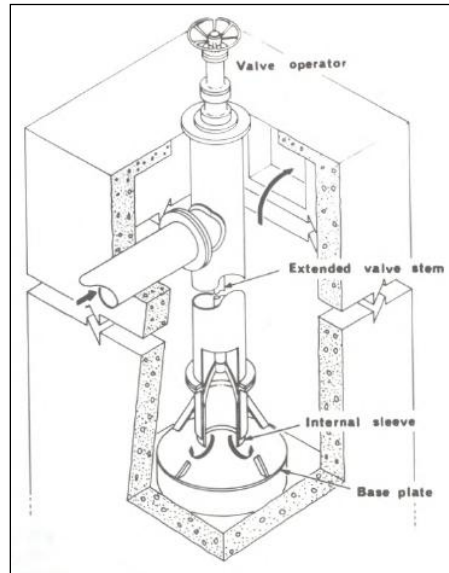


Figura 8. Válvula de Manguito estándar.
Fuente: (Johnson, 1970).

- Válvula de Manguito con Orificios (Multichorro): Este diseño se utiliza para disipar mayor energía que la permitida para la válvula de manguito estándar. Estas válvulas incorporan un cuerpo perforado con muchos orificios o ranuras de tamaños y formas que dependen de las condiciones particulares del proyecto. El flujo sale en pequeños chorros que se mezclan con el agua de la cámara, disipando la energía con poca vibración, ruido o cavitación (Ver Figura 9 y Figura 10).

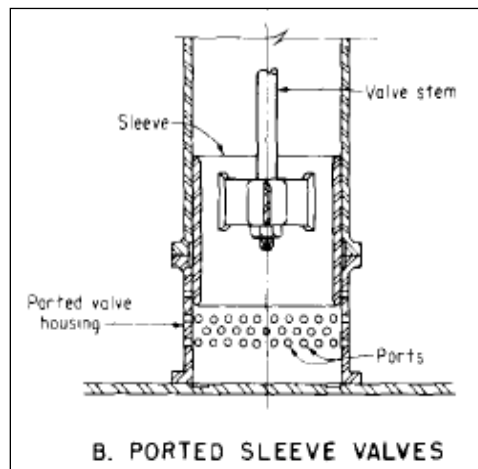


Figura 9. Válvula de manguito con orificios (Multichorro).
Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

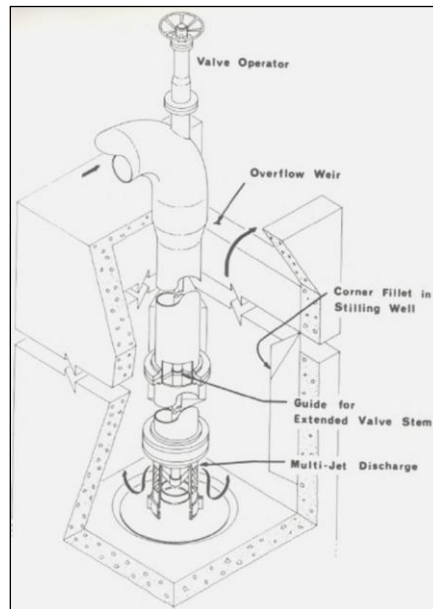


Figura 10. Válvula de Manguito con orificios (Multichorro).
Fuente: (Johnson, 1970)

2.2.1.1.3 Aplicaciones del Pozo de aquietamiento con válvula de Manguito vertical.

La capacidad de la cámara de aquietamiento con válvula de manguito vertical para disipar presiones altas es utilizada en las siguientes condiciones de diseño:

- Canal de desfogue: El exceso de energía puede existir a la salida de una tubería desde el embalse al canal.
- Caída: en un canal o tubería puede ser necesario un cambio de pendiente fuerte.
- Quiebre de presión: En varios casos como tubería de descarga de una bomba, sifón o tubería a presión se requiere disipar exceso de energía.
- Bypass de Central eléctrica.

2.2.1.1.4 Limitaciones

En el diseño del pozo de aquietamiento con válvula de manguito vertical, se deben tener en cuenta las siguientes limitaciones:



- **Altura y velocidad:** Las válvulas de manguito estándar han sido para disipar alturas de presión de hasta 121.92 mca. Sin embargo, la experiencia indica que el peligro por vibración excesiva del vástago de control de la válvula interna se presenta cuando en la tubería vertical existen velocidades mayores que 9.14 m/s.

En la Tabla 1 se presentan recomendaciones, que son limitaciones flexibles de la altura de presión máxima y velocidad en la válvula, para el caudal de diseño.

Tabla 1. Alturas de presión máxima según tipo de válvula de Manguito.

Altura de Presión Máxima	Recomendación
45.72 mca	Válvula de Manguito Estándar con vástago interno y diámetro de tubería más grande para la curva. Velocidad máxima: 9.14 m/s
121.92 mca	Válvula de Manguito estándar con vástago externo. Velocidad máxima: 11.58 m/s
182.88 mca	Válvula de Manguito con orificios y diámetro de tubería más grande para la curva. Velocidad máxima: 11.58 m/s

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

Investigaciones recientes demuestran que con optimizaciones a la válvula de manguito con orificios, se podrían disipar hasta 243 mca de altura de presión.

- **Calidad del agua**

La válvula de manguito estándar puede tolerar una pequeña cantidad de material flotante, como hojas, basuras, entre otras, que usualmente se encuentran en sistemas de irrigación abiertos. En el caso de la válvula de manguito con orificios, ésta debe ser usada solamente cuando se transporte aguas claras con previo cribado o filtro.

- **Limitaciones de Operación**

Para evitar problemas con burbujas de aire dentro de la tubería de llegada a la cámara de quietamiento, la válvula de manguito debería ser operada de tal manera que se garantice que la tubería funcione llena. Esto se puede simplificar



con automatización de la apertura de la válvula. Cierres rápidos de la válvula deberían evitarse, ya que se pueden presentar fenómenos de transientes o golpe de ariete (water hammer), con posibles daños estructurales en la tubería.

2.2.1.1.5 Consideraciones de Diseño para válvula de manguito con esquinas fileteadas en la cámara.

- Condiciones de Entrada: Para minimizar ruido, vibración y cavitación, la válvula de manguito estándar con manguito y vástago interno deben tener una entrada en la curva con área transversal mayor, en cerca de dos veces el área de la tubería vertical, lo cual reduce la velocidad en el cambio de dirección. Una reducción es requerida para conectar el codo con la tubería vertical. La mínima longitud de reducción es igual a ΔD , que es la diferencia de diámetros.

Una fuerza de empuje en el codo de la tubería resulta por el cambio en la dirección del flujo y debe ser equilibrada por una fuerza opuesta proporcionada por un adecuado anclaje. La fuerza de empuje, F_t , tiene un componente vertical, F_{ty} y otro horizontal, F_{tx} , como se observa en la Figura 11. El componente, F_{tx} , debe ser contrarrestado por refuerzos horizontales adecuados, tipo abrazadera, mientras el componente, F_{ty} , por patas fijas cerca de la base de la tubería vertical, como se observa en la Figura 12.

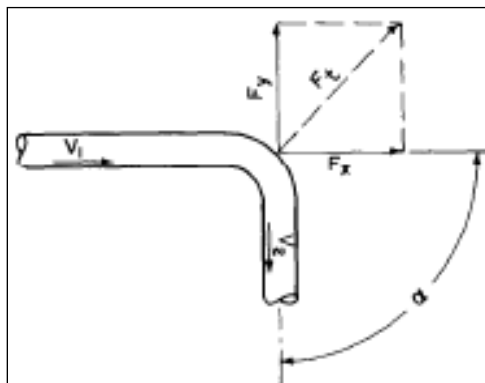


Figura 11. Fuerza de empuje en el codo.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

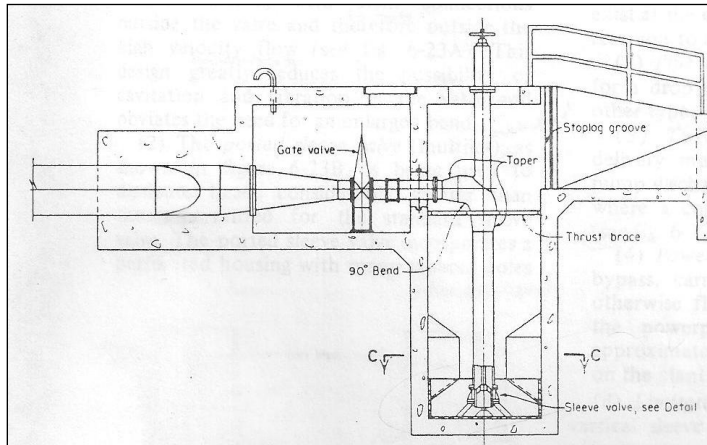


Figura 12. Refuerzos horizontales y verticales.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

- Diseño de Válvula de Manguito: La válvula de manguito es a menudo diseñada para operación manual con adaptación a operación eléctrica. La operación manual se hace a través de una rueda de manejo ajustada al vástago.

- Válvula de Manguito Estándar: La válvula de manguito usualmente se desliza hacia abajo en un recorrido de distancia igual a la mitad del diámetro de la válvula. El diámetro de la válvula debe ser lo suficientemente grande para que permita la descarga del caudal de diseño cuando ésta se encuentre completamente abierta. El cierre completo de la válvula debe cortar por completo el flujo. Un cono truncado de acero es localizado en la parte baja concéntrico a la válvula. El cono proporciona un colchón para los bordes biselados del manguito y sella el flujo cuando la válvula está completamente cerrada.

El diámetro de la válvula, la distancia de recorrido y el ángulo del cono pueden variar de acuerdo con las condiciones específicas. Para el control de velocidades de flujo para alturas de presión altas, el diámetro y el cono deben ser de mayor tamaño.

- Válvula de manguito con orificios: La válvula de manguito con orificios tiene una válvula similar a la válvula de manguito estándar.



Las válvulas han sido probadas con orificios de diferentes tamaños y formas. Sin embargo, la mayoría de estos orificios son susceptibles a taponamiento. Diferentes pruebas se hacen necesarias antes de encontrar la configuración óptima de tamaño, forma y distancia desde la superficie de la cámara.

- Parámetros Hidráulicos.

- Altura de Presión: La altura, ΔH , a ser disipada por la válvula de manguito es la diferencia de presión, igual a $H_1 - H_2$, como se muestra en la Figura 13. La altura H_1 , es medida desde el centro de la tubería al gradiente hidráulico inmediatamente aguas arriba del codo de la válvula. La altura, H_2 , es medida desde el mismo centro de la tubería a la superficie del agua en la cámara. Como la altura, H_1 , varía con el gradiente hidráulico y el caudal, la peor condición debe resultar de un análisis hidráulico.

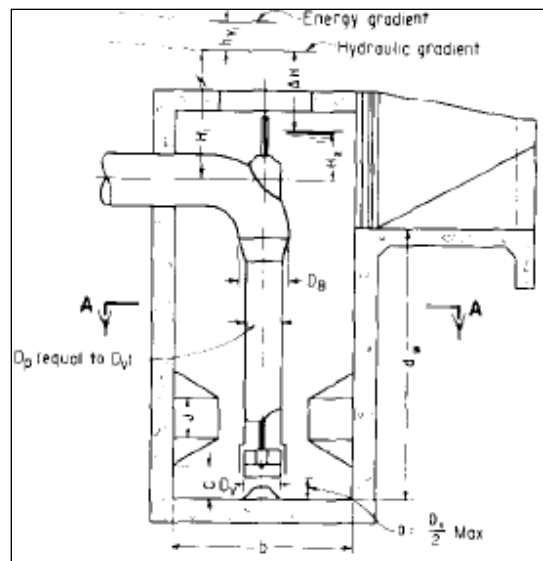


Figura 13. Altura de presión.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).



- Velocidad: A fin de reducir la cavitación en la válvula, la velocidad no debe exceder 9.14 m/s cuando se usa un manguito interno y 11.58 m/s usando un manguito externo.
- Diámetro de la válvula de manguito: El diámetro de la tubería vertical y la válvula de manguito deben ser determinados para el caudal de diseño máximo cuando exista la altura mínima. Este diámetro no puede ser el mismo que el diámetro de la tubería o el codo de la tubería.
- Área de orificio (Válvula de manguito estándar): La válvula de manguito estándar usualmente tiene una distancia de recorrido igual a $D_v/2$ medido desde el fondo de la cámara (Ver Figura 14).

Por geometría, el área del orificio de la válvula se expresa de acuerdo con la Ecuación 6.

$$A_o = 0.707 a \pi \left(D_v - \frac{a}{2} \right)$$

Ecuación 6

donde:

A_o = Área de orificio de la válvula de manguito.

D_v = Diámetro de la válvula de manguito.

a = Distancia de recorrido de la válvula de manguito.

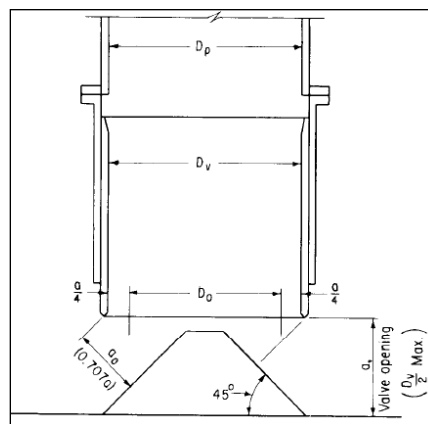


Figura 14. Orificio de válvula de manguito.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).



- Coeficiente de descarga para válvula de manguito estándar: Estudios de laboratorio indican que el coeficiente de descarga cuando la válvula está abierta totalmente es:

$$K = \frac{2g(\Delta H)}{V^2} = 1.84$$

Ecuación 7

donde:

ΔH = Diferencia de presión.

V= Velocidad en la tubería vertical.

La Figura 15 permite determinar el coeficiente de pérdidas, K, para los diferentes escenarios de apertura de la válvula.

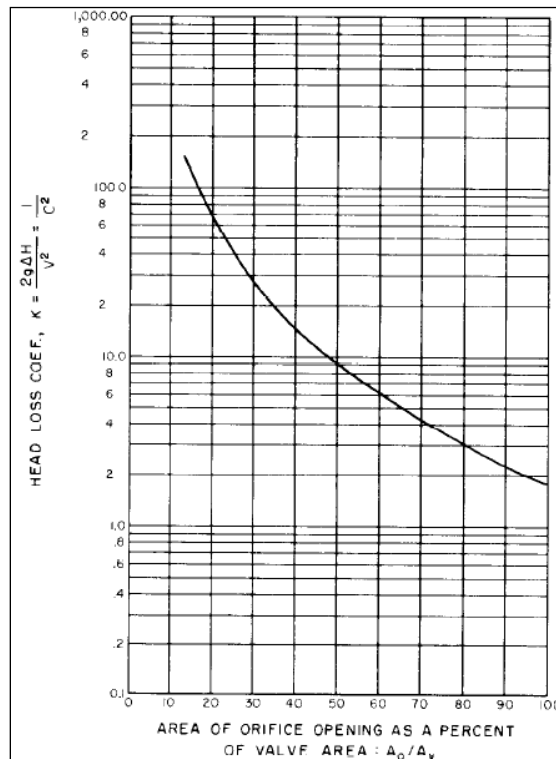


Figura 15. Coeficiente de pérdidas para la válvula de manguito estándar.
Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

- Dimensiones de la cámara: Son determinadas a partir de la Figura 16.



Estudios del Laboratorio de Hidráulica del USBR han establecido que las proporciones de profundidad – ancho que han mostrado mejor desempeño son de $d_w:1.5b$ y $d_w:2b$.

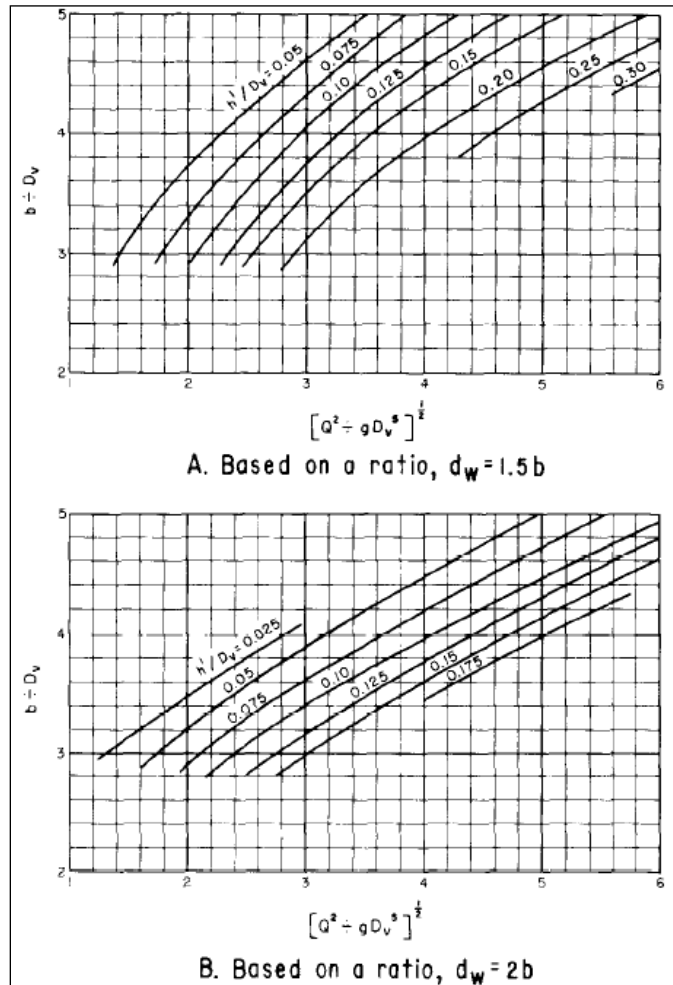


Figura 16. Nomograma para cálculo de dimensiones de la cámara de aquietamiento.
 Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

donde,

Q = Caudal de diseño (cfs).

D_v = Diámetro de la válvula (feet).

$$h' = \frac{h}{\text{Sen } \theta}$$

Donde h' es la distancia diagonal del canal a la superficie del agua

Ecuación 8



b = Ancho de la cámara (feet). Como mínimo se requiere 3 feet (0.91 m) para acceso.

d_w = Profundidad de la cámara (feet).

En la Figura 17 se detallan cada una de los elementos anteriormente descritos.

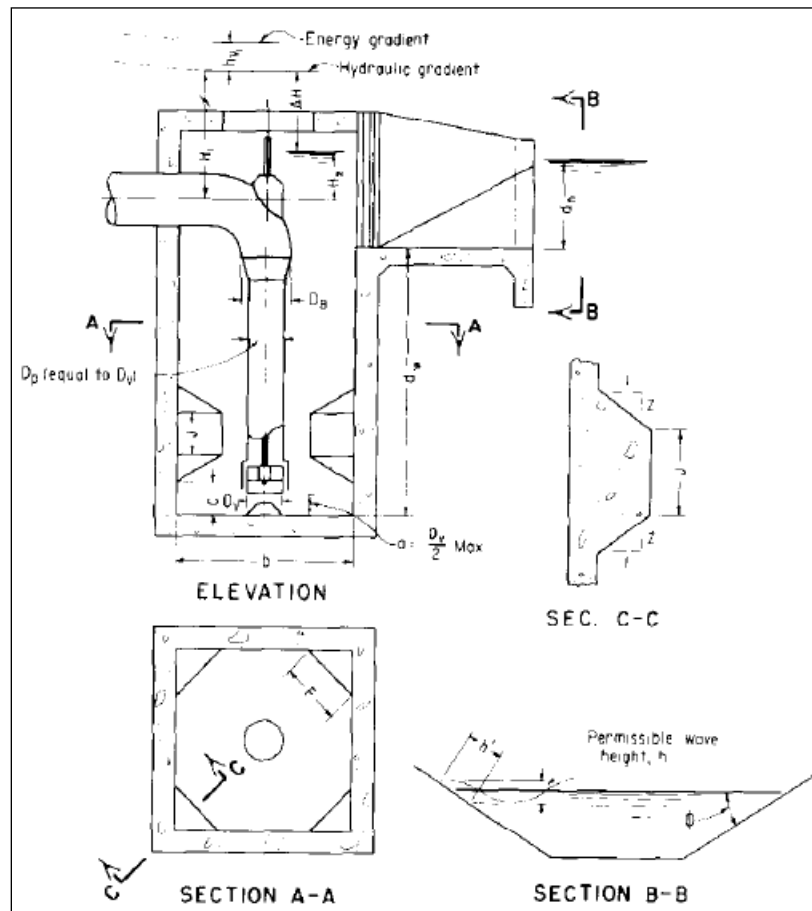


Figura 17. Válvula de Manguito típica con cámara de aquietamiento.

Fuente: (United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation, 1978).

Las proporciones de profundidad – ancho que han mostrado mejor desempeño son de $d_w:1.5b$ y $d_w:2b$, son válidas para una proporción de profundidad aguas abajo de la cámara:

$$d_n = \frac{b}{2}$$

Ecuación 9



Después de determinar la profundidad y altura de la cámara con la Figura 16, se debe corregir la profundidad, como se muestra a continuación,

Si $d_n > \frac{b}{2}$, entonces la profundidad debe ser reducida en $d_n - \frac{b}{2}$

Si $d_n < \frac{b}{2}$, entonces la profundidad debe ser incrementada en $\frac{b}{2} - d_n$

Las dimensiones de las esquinas fileteadas son determinadas a partir de relaciones según las Ecuaciones 9 a 12. La nomenclatura puede verse en la Figura 17.

$$C = 0.100 b \quad \text{Ecuación 10}$$

$$J = 0.210 b \quad \text{Ecuación 11}$$

$$F = 0.417 b \quad \text{Ecuación 12}$$

$$Z = 0.715 \quad \text{Ecuación 13}$$

- Platina de Acero: Para prevenir peligro de cavitación o erosión en el piso y las paredes de la cámara de quietamiento, éstos deben ser cubiertos por una lámina de acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor; las paredes deben cubrirse hasta una altura de 1.5 Dv.

La platina de acero debe ser soldada en las uniones y anclada al concreto con pernos de acero inoxidable. Para evitar peligro de acción galvánica, se debe prevenir el contacto entre el acero inoxidable y el refuerzo de acero.

2.2.2 Modelo Universidad de Medellín

Este modelo fue desarrollado por Jesús Alejandro Londoño y José María Estrada en 1987, en la Universidad Medellín. La experimentación se realizó sobre un modelo construido en el Laboratorio de Hidráulica basado en similitud geométrica y similitud de Froude. Esta última aplicada al caudal, la presión y las velocidades. Se evaluaron seis tanques de quiebre de presión sobre el mismo modelo (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).



2.2.2.1 Descripción (Camargo Gómez, 1999)

En el modelo propuesto, la disipación de energía se da por dos flautas concéntricas en la tubería de descarga. Este dispositivo ha presentado un buen funcionamiento, y entidades como la Federación Nacional de Cafeteros lo han utilizado con éxito.

El modelo propuesto se muestra en la Figura 18.

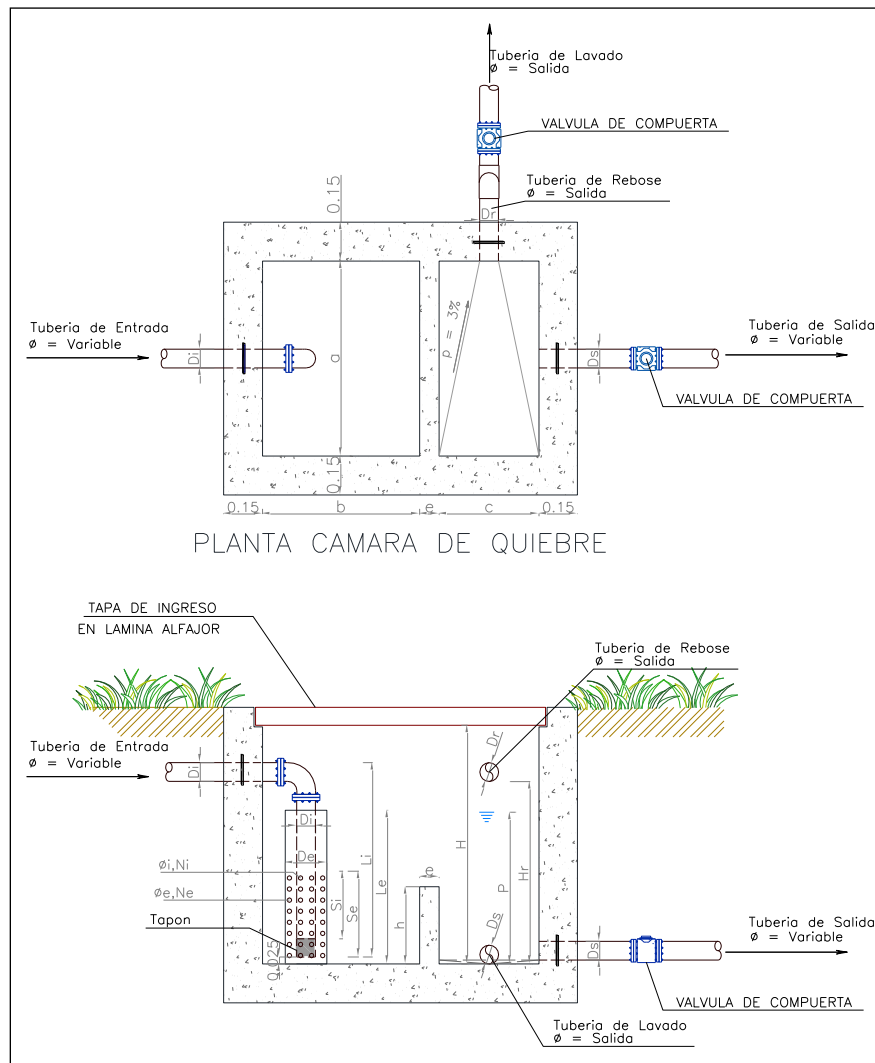


Figura 18. Modelo cámara de quebre – Universidad Medellín.
Fuente: (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).



donde,

L: Longitud total interior del tanque (m).

a: Ancho total interior del tanque (m).

b: Distancia de la pared de entrada al vertedero interior (m).

c: Distancia del vertedero interior a la pared de salida (m).

H: Altura total interior del tanque (m).

h: Altura del vertedero interior (m).

p: Profundidad a la cual debe permanecer el agua para un adecuado funcionamiento. Se logra mediante estrangulación de la válvula de salida (m).

e: Espesor del vertedero interior (m).

Di: Diámetro de la tubería interior del dispositivo de entrada (pulg.).

De: Diámetro de la tubería exterior del dispositivo de entrada (pulg.).

Li: Longitud de la tubería interior del dispositivo de entrada (m).

Le: Longitud de la tubería exterior del dispositivo de entrada (m).

Ni: Número de perforaciones que debe tener el tubo interior del dispositivo de entrada.

Ne: Número de perforaciones que debe tener el tubo exterior del dispositivo de entrada.

Si: Longitud en la cual se deben distribuir las perforaciones del tubo interior del dispositivo de entrada (m).

Se: Longitud en la cual se deben distribuir las perforaciones del tubo exterior del dispositivo de entrada (m).

θ_i : Diámetro de las perforaciones del tubo interior del dispositivo de entrada (pulg.).

θ_e : Diámetro de las perforaciones del tubo exterior del dispositivo de entrada (pulg.).

Ds: Diámetro de la tubería de salida (pulg.).

Dr: Diámetro de la tubería de rebose (pulg.).

Hr: Altura de la tubería de rebose (m).

Dentro de los elementos importantes para el buen funcionamiento de un tanque de quiebre de presión se tienen los tubos perforados, que son los encargados de disipar la energía. El tubo perforado interno, debe en todos los casos poseer un tapón en la parte inferior, separado 5 cm del fondo para que exista una distribución uniforme del caudal a través de los orificios. Esta separación junto con las dimensiones del flotador determina la



longitud L_i del niple interior de entrada. El tubo perforado externo, debe poseer en el fondo un tapón o preferiblemente una platina, a fin de evitar la erosión que podría causar, las altas turbulencias y velocidades que se presentan en ese sitio. En cuanto a las perforaciones de ambos tubos es importante aclarar que los diámetros recomendados pueden ser reemplazados por mayores o menores siempre y cuando se conserve la misma área distribuida en igual longitud. Además es importante que sea concéntrico al primero para que se pueda formar el colchón en forma de anillo.

En la tubería de salida del tanque es necesario colocar una válvula de contención, que será la encargada de mantener el colchón de agua en las dos cámaras, evitando la inclusión de aire en la conducción. La calibración se hace en las horas de máximo consumo hasta obtener la altura de agua recomendada. Es necesario observar, al menos durante media hora el nivel del agua a fin de verificar que se ha estabilizado completamente.

En caso que el diseñador determine el uso de una válvula de flotador para restringir el flujo, en aquellas horas donde no se presente mucho consumo en la red, es necesario conocer de antemano el tipo de flotador que usará, para que de esta manera se determine la altura de la tapa.

En la cámara de entrada es necesario ubicar una tapa de mínimo 0,5 x 0,5 m para darle mantenimiento al tanque. Es importante proveer al tanque de desagües en ambas cámaras para practicar limpieza.

2.2.2.2 Dimensiones propuestas (Camargo Gómez, 1999)

El objetivo inicial de este estudio era obtener parámetros de diseño para los tanques de quiebre de presión, de tal forma que cualquier diseñador pueda obtener su propio tanque, para las condiciones que su caso requiera con base en las recomendaciones, parámetros, ecuaciones o cualquier otro tipo de información que se le suministre.



Sin embargo, los resultados obtenidos de la experimentación, no permitieron generar una formulación precisa que permita hacer diseños específicos, para las diferentes condiciones de caudal y presión que en cada caso se puedan tener, pues no es posible relacionar las diferentes variables con las que se han obtenido resultados favorables y obtener unas recomendaciones únicas, aplicables a todas las situaciones, debido a que no existe ninguna relación directa entre ellas.

Por lo tanto, los autores de este trabajo de grado, optaron por tomar las dimensiones y condiciones que presentaron resultados satisfactorios y realizar varios diseños de tanques que fueran óptimos tanto en funcionamiento como en economía, y a los cuales se les pueda especificar las condiciones en que debe trabajar, de tal forma que el diseñador, seleccione para cada necesidad el que mejor se adapte a sus requerimientos. Las dimensiones típicas se determinan con base en el caudal y la presión de servicio en el punto y se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de tanques de quiebre de presión.

TANQUE	1	2	3	4	5	6
Caudal Máximo (L/S)	42	25	17	7.50	4.50	3.00
Altura de Presión Máxima (mca.)	140	140	140	7	70	70
L (m)	1.40	1.20	1.0	0.70	0.60	0.50
a (m)	1.0	1.0	1.0	0.50	0.50	0.50
b (m)	0.80	0.60	0.40	0.40	0.30	0.20
c (m)	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25
H (m)	1.20	1.20	1.10	0.60	0.60	0.50
h (m)	0.40	0.40	0.40	0.20	0.20	0.20
P (m)	0.80	0.80	0.70	0.40	0.40	0.35
e (m)	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05
Di (pulg.)	4	4	3	2	2	1
De (pulg.)	8	8	4	4	3	
Li (m)	0.675	0.675	0.575	0.375	0.375	0.325
Le (m)	1.00	1.00	0.90	0.50	0.50	0.45
Ni	36	35	38	36	35	38
Si (m)	0.30	0.50	0.24	15.00	0.25	0.12
Se (m)	0.40	0.50	0.40	20.00	0.25	0.20
θ i (pulg.)	1.50	1.50	1.00	0.75	0.75	0.50
θ e (pulg.)	1.50	1.50	1.00	0.75	0.75	0.50

Fuente: (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).



Tabla 2. (Continuación) Características de tanques de quiebre de presión.

TANQUE	1	2	3	4	5	6
Ds (pulg.)	6	4	4	3	2	2
Dr (pulg.)	6	4	4	3	2	2
Hr (pulg.)	0.90	0.90	0.80	0.50	0.50	0.45

Fuente: (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).

2.2.3 Modelos Empíricos

Las cámaras de quiebre hoy en día, son utilizadas en muchos de los acueductos de Colombia, en parte por la geografía quebrada y también por la creencia de diseño errónea que entre más alta se coloque la captación es mejor, lo cual hace que sean necesarias varias cámaras de quiebre a lo largo de la aducción.

Son diversos los modelos que se han diseñado e instalado en Colombia, pero la mayoría tienen en común, los siguientes elementos:

1. Caja para válvula de cierre a la entrada y entrada y salida de la cámara de quiebre. Esta puede ser en mampostería, con tapa de acceso en alfajor.
2. Válvula de flotador para control del caudal de entrada, además de inducir mayores pérdidas al sistema,
3. Cámara de turbulencia y cámara de aguas tranquilas, separadas por un tabique interior a media altura.
4. Accesorios de entrada, salida, rebose y limpieza.
5. Tapas de Acceso.

Un modelo típico, se muestra en la Figura 19 y la Figura 20.

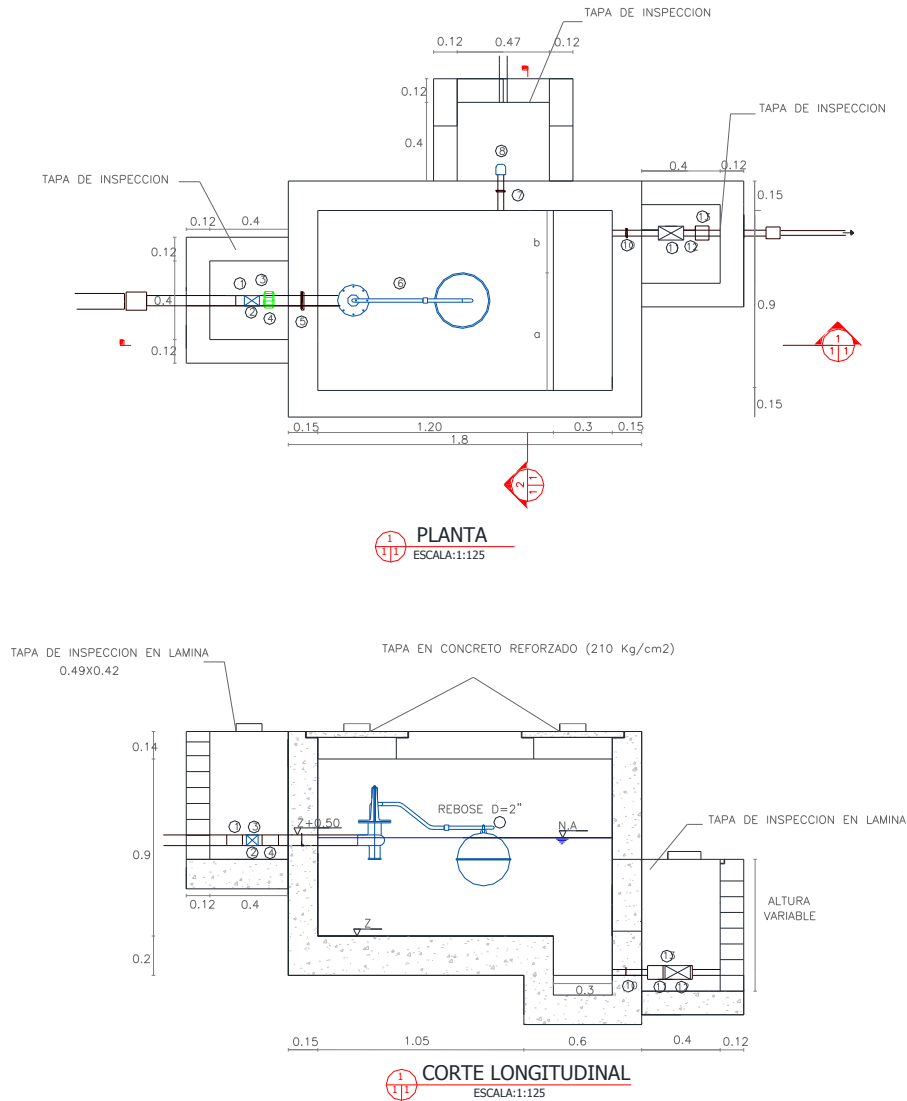


Figura 19. Modelo cámara de quiebre – Empírico.
Fuente: Autor.

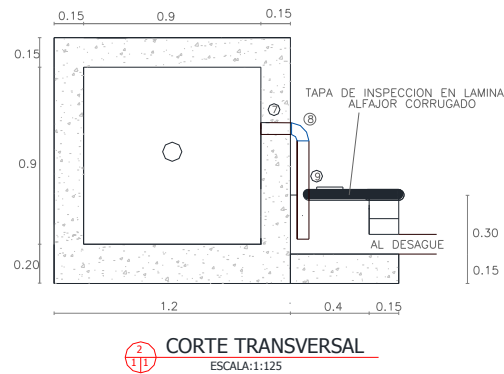
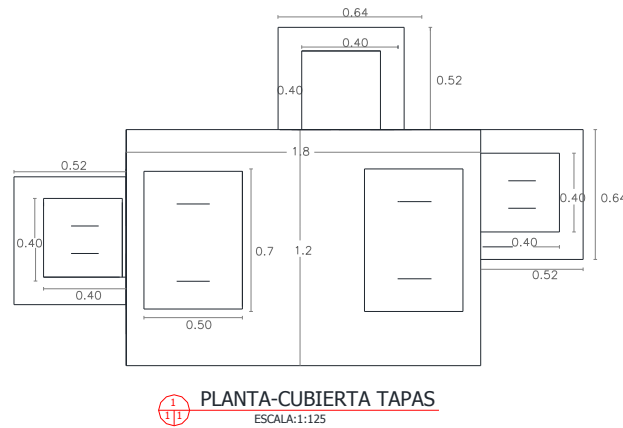


Figura 20. Modelo cámara de quebre – Empírico (2).
Fuente: Autor.

La numeración de los accesorios de conexión de las cámaras anteriormente expuestas, se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Accesorios cámaras de quebre empíricas.

No.	DESCRIPCIÓN
1	Adaptador macho PVC 0
2	Registro ERxER
3	Niple HG ERxER L=120 mm
4	Unión universal HG
5	Pasamuro HG ERxER=350 mm Z=175 mm
6	Válvula de flotador CLASE 125-175 PSI
7	Niples PVC L=250 mm

Fuente: Autor.



Tabla 3. (Continuación) Accesorios cámaras de quiebre empíricas.

No.	DESCRIPCIÓN
1	Adaptador macho PVC 0
2	Registro ERxER
3	Niple HG ERxER L=120 mm
4	Unión universal HG
5	Pasamuro HG ERxER=350 mm Z=175 mm
6	Válvula de flotador CLASE 125-175 PSI
7	Niples PVC L=250 mm
8	Codo PVC
9	Niple PVC L=500 mm
10	Pasamuro HG ELXER L=250 mm
11	Registro ERXER
12	Niple HG ERXER L=120mm
13	Adaptador hembra PVC

Fuente: Autor.

2.3 ESTRUCTURAS PARA REDUCCIÓN DE PRESIÓN: VÁLVULAS Y PLATINAS

2.3.1 Válvulas Reductoras de Presión

Las válvulas son un elemento muy importante en el diseño de tuberías. Son usadas para regular el flujo y la presión, proteger las tuberías y bombas de sobrepresiones, ayudar a prevenir fenómenos de transientes, prevenir contraflujos en las bombas, remover aire, entre otras varias funciones. En general, pueden clasificarse en cuatro categorías, a saber: válvulas de control, válvulas reguladoras de presión, válvulas de contención y válvulas de control de aire. Como se observa, las válvulas son muy útiles dentro de un sistema de abastecimiento, pero si no se seleccionan y operan adecuadamente, pueden causar muchos problemas.

2.3.1.1 Descripción (Mateos de Vicente, 2006)

Las válvulas reductoras de presión (VRP) son aquellas válvulas que reducen la presión en un punto de la red, mediante una regulación del paso de caudal. Cuando la presión de salida sea la adecuada, se mantiene esa presión abriéndose automáticamente la válvula,



cuando el caudal aumenta y cerrándose cuando éste disminuye. Para un caudal constante la válvula queda estabilizada en una posición.

Básicamente, las válvulas reductoras pueden clasificarse en dos grupos:

- Las que proporcionan una presión constante a la salida, calibrada previamente, con independencia de las fluctuaciones en la presión aguas arriba. Es decir, la presión a la salida de la válvula es siempre la misma.
- Las que regulan una presión de salida en función proporcional a la presión aguas arriba.

Conviene aclarar que las válvulas reductoras de presión, a veces se les llaman válvulas reguladoras de presión. Esta denominación puede llevar a confusión, pues válvulas reguladoras son las que mantienen una presión aguas arriba, o las que regulan la presión manteniéndolas por debajo de un máximo. Así, es mejor que se identifiquen por alguno de los siguientes nombres: válvulas reductoras de presión, válvulas reguladoras reductoras de presión, y válvulas mono reductoras.

Las válvulas, dependiendo a la forma de operarlas, se pueden clasificar en válvulas reductoras de acción directa y válvulas reductoras de mando por piloto externo. Ambas pueden ser de pistón o diafragma.

2.3.1.2 Partes VRP (Corcho Romero & Duque Serna, 2005)

2.3.1.2.1 Válvula reductora

Está constituida por los siguientes elementos (Ver Figura 21):

- Cuerpo: Parte mayor de la válvula en cuyo interior está colocado el conjunto móvil.
- Conjunto móvil: Consta de un eje o vástago alrededor del cual está montado un émbolo doble, un diafragma y un resorte. También contiene los anillos de sellado.
- Cubierta: Instalada sobre el cuerpo unida a éste mediante pernos.



2.3.1.2.2 Válvula Piloto

Censa continuamente la presión aguas abajo de la válvula principal y la mantiene en un valor constante. Se encuentra ubicada aguas abajo de la válvula principal.

2.3.1.2.3 Válvula de Aguja

Evita los golpes de ariete generados por el cierre rápido de válvulas de control. Esta válvula controla la velocidad en válvulas de control hidráulico. Se encuentra ubicada aguas arriba de de la válvula principal.

2.3.1.2.4 Accesorios Opcionales

Para el correcto funcionamiento de las VRP, se hacen necesarios accesorios, tales como, filtros, ventosas, indicador de alza en la válvula principal, entre otros.

2.3.1.3 Funcionamiento (Corcho Romero & Duque Serna, 2005)

La válvula reductora de presión está controlada por una válvula piloto (control reductor de presión). El control contiene un resorte ajustable el cual se coloca en un punto que garantice una presión constante de descarga de acuerdo con la presión de salida.

Cuando la presión de salida comienza a superar el punto de presión establecido, el control se mueve hacia la posición de cerrado, estrangulando el flujo por el canal que comunica el control con la válvula principal, lo que hace incrementar la presión en la cámara superior de la válvula, cerrándose ésta un poco hasta encontrar el punto que garantice la presión preseleccionada para la salida.

Si la presión de salida disminuye por debajo del límite, el control se mueve hacia la posición de abierta aumentando el flujo por el canal que comunica el control con la válvula principal, lo que origina una pérdida de presión en la cámara superior de la válvula principal, abriéndose ésta un poco para mantener la presión de salida constante igual a la preseleccionada.

La válvula de cierre está regulada por una válvula de aguja ajustable y la velocidad de apertura está regulada por un control de flujo ajustable.

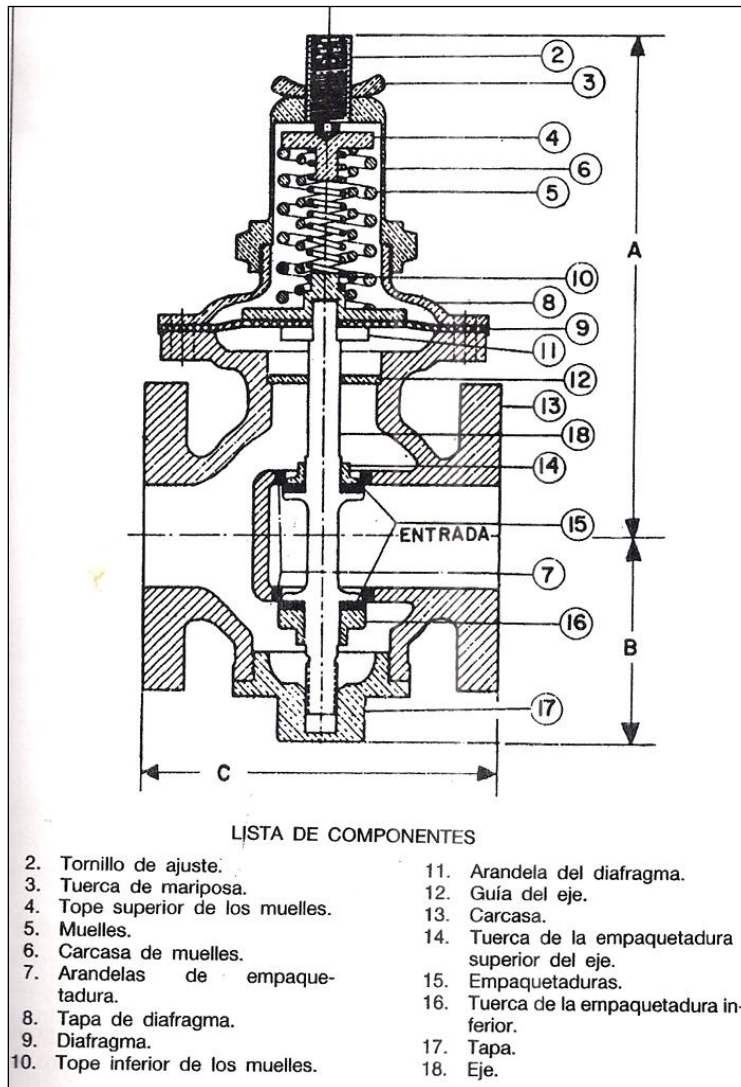


Figura 21. Sección y lista de componente de VRP – Acción directa.
Fuente: (Mateos de Vicente, 2006).

2.3.1.4 Diseño VRP

El diseño se basa en seleccionar el diámetro de la VRP, verificando condiciones de cavitación y velocidad máxima permitida. En la actualidad, se han desarrollado gráficas que permiten simplificar la verificación del efecto de la cavitación, por lo que un análisis extensivo no se hace necesario. Para tal efecto, se recomienda, estudiar este fenómeno en (Tullis, 1989).



Como datos de entrada se requieren:

P_1 : Presión a la entrada de la válvula

P_2 : Presión necesaria a la salida de la válvula (reducida)

$V_{m\acute{a}x}$: Velocidad máxima en la válvula, generalmente es suministrada por el fabricante.

$Q_{m\acute{i}n}$: Caudal mínimo normal

$Q_{m\acute{a}x}$: Caudal máximo normal.

Entre los pasos a seguir para el dimensionamiento de la válvula principal se tienen:

- Cálculo del tamaño según velocidad

$$D_{m\acute{i}n} = \sqrt{\frac{Q_{m\acute{a}x}}{V_{m\acute{a}x}}} \times 0.64$$

Ecuación 14

donde:

$Q_{m\acute{a}x}$: Caudal Máximo normal (GPM)

$V_{m\acute{a}x}$: Velocidad máxima en la válvula (fps)

Tener en cuenta que la velocidad máxima debe ser menor a los valores máximos recomendados, según el material de la válvula, como se ve en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores velocidad máxima recomendados en válvulas.

MATERIAL	$V_{m\acute{a}x}$
Hierro	18 fps
Acero	25 fps

Fuente: (Mateos de Vicente, 2006).

- Cálculo del tamaño según C_v mínimo

El factor C_v es el caudal por unidad de tiempo que fluye a través de la válvula cuando la pérdida de presión es unitaria. En el sistema internacional es el número



de litros por segundo de agua a los 15°C que fluye a través de la válvula cuando la diferencia entre la presión de entrada y la presión de salida es de un kilo pascal.

$$CV_{mín} = \sqrt{\frac{Q_{máx}}{P1_{mín} - P2_{máx}}} \quad \text{Ecuación 15}$$

donde:

$Q_{máx}$: Caudal Máximo normal (GPM).

$P1_{mín}$: Presión de entrada de la válvula (psi).

$P2_{máx}$: Presión de salida de la válvula (psi).

Con el valor de Cv mín, determinar el diámetro, según Tabla 5.

Tabla 5. Valores Cv máximo recomendados en válvulas.

Diámetro (in)	3	4	6	8	10
CV	124	220	460	840	1250

Fuente: (Mateos de Vicente, 2006).

- Seleccionar el diámetro que cumpla con Cv mín y que no exceda la velocidad correspondiente al material escogido, es decir, escoger el mayor diámetro de los cálculos según Cv mín y velocidad máxima.

2.3.1.5 Estación Reductora de Presión (Corcho Romero & Duque Serna, 2005)

Para un correcto funcionamiento de las válvulas reductoras de presión, éstas necesitan otras válvulas y accesorios que deben instalarse en una cámara, que se conoce como estación reductora de presión.

Para efectos de mantenimiento, se instalan dos válvulas de cierre, pueden ser de compuerta o mariposa, una aguas arriba y otra aguas abajo de la válvula reductora de presión. Estas válvulas son del mismo diámetro de la VRP. Además deben proveerse dos llaves de incorporación para la instalación de manómetros aguas arriba y aguas abajo para el control de presiones.



Es aconsejable instalar un filtro colador aguas arriba de la VRP, aún cuando el agua sea filtrada, pues siempre hay arrastre de partículas que ocasionan desgaste a la válvula y dificultan su correcto funcionamiento (Ver Figura 22).

Puede ocurrir que las variaciones de consumo sean tan grandes que no sea posible obtener una válvula que satisfaga las necesidades de caudal mínimo y máximo, o que exista gran incertidumbre en estos valores, que obliguen a emplear una estación reductora de presión con dos válvulas en paralelo, una de diámetro mayor para los caudales mayores y otra de menor diámetro para los caudales menores.

La instalación de dos VRP en paralelo permite conservar el servicio en forma ininterrumpida cuando una de ellas se encuentre en operación.

Además, puede presentarse que la presión de entrada sea muy grande por lo que es necesario instalar dos válvulas reductoras en serie.

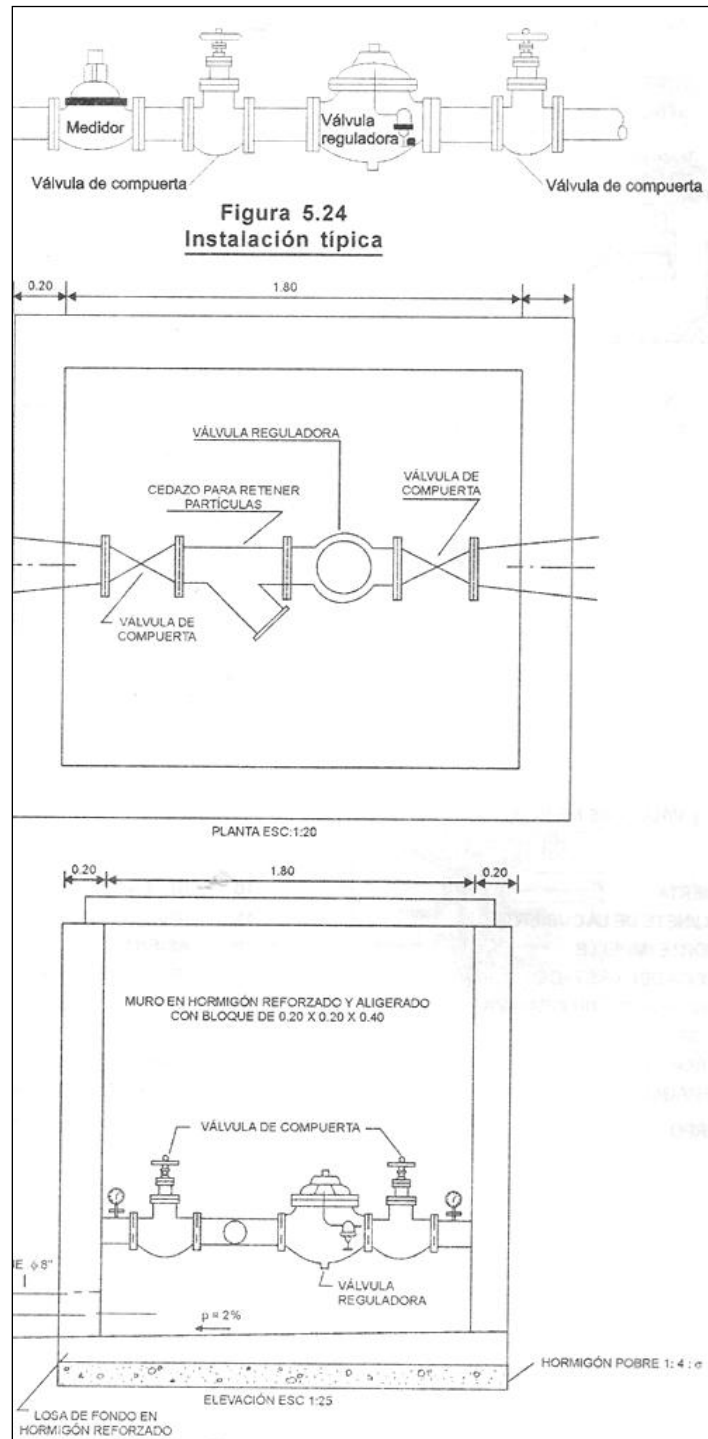


Figura 22. Modelo de estación reguladora de presión.
Fuente: (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).



2.3.1.6 Innovaciones en VRP

Las válvulas reductoras de presión sólo pueden reducir una parte de la presión de entrada; generalmente, la presión de salida es la tercer parte de la presión de entrada, así se garantiza el buen funcionamiento de la válvula, dentro de los límites de velocidad máxima y que no se presente cavitación o en su defecto cavitación moderada. Esta restricción ha llevado a la creación de estructuras complementarias, como es el caso de jaulas anticavitatorias, que entre otras empresas las comercializa TECVAL®. Estos elementos van dentro de la válvula reductora de presión y consta de un cuerpo con orificios, que se determinan de acuerdo con las características propias del proyecto (Ver Figura 23).



Figura 23. Jaula Anticavitatoria.
Fuente: TECVAL®.

2.3.2 Placa de Orificios

Las placas de orificios son disipadores eficientes de energía que han sido usados principalmente en proyectos hidroeléctricos y que consisten en variaciones súbitas de la sección transversal. Estos elementos han sido usados debido a su simplicidad, construcción conveniente y alto porcentaje de disipación (Ver Figura 24).

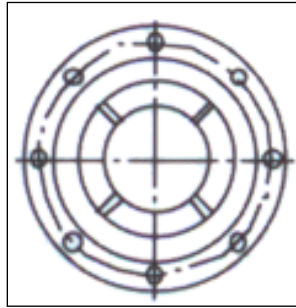


Figura 24. Placa de orificios.
Fuente: (Jianhua, Wanzheng, & Qi, 2010).

2.3.2.1 Descripción

La placa de orificios es básicamente una lámina plana circular con un número determinado de orificios. Los parámetros a tener en cuenta son el diámetro de los orificios (d), diámetro de la tubería (D), espesor de la placa de orificio (T), la longitud de recirculación y el número de Reynolds (Re) (Ver Figura 25).

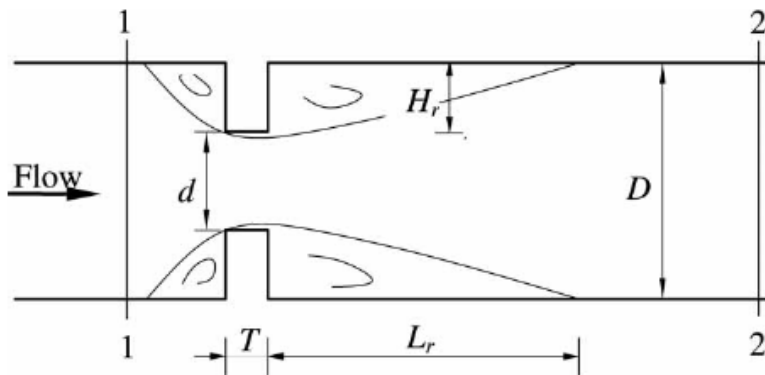


Figura 25. Flujo a través de la placa de orificios.
Fuente: (Jianhua, Wanzheng, & Qi, 2010).

2.3.2.2 Diseño Placa de Orificios

Cuando se coloca una placa de orificio en una tubería, al igual que cualquier otro obstáculo, se produce una disminución local de la presión.

Un procedimiento de diseño fue propuesto por Jianhua, Wanzheng & Qi en 2010 como función de la proporción de diámetros (d/D), proporción del espesor de la placa (T/D) y del número de Reynolds de aproximación. Sin embargo, en esta metodología el análisis de



cavitación se hace muy ligero, por lo que el diseño propuesto en se realizará con base en Tullis (1989).

La cavitación produce ruido, fluctuaciones de la presión, erosión, y en avanzados estados de la misma, puede reducir considerablemente la efectividad de la placa de orificio. El nivel aceptable de cavitación para una válvula o placa de orificio, varía con el tipo de elemento. Por ejemplo, para una válvula de control que funcione de manera continua, lo más recomendable es seleccionarla de forma que el nivel de cavitación sea el mínimo, de forma que la erosión y el ruido y vibraciones sean aceptables.

2.3.2.2.1 Límites de cavitación

Una solución analítica al problema de cavitación, no ha sido aún encontrado. Así, los esfuerzos se centran en experimentos de laboratorio que permitan encontrar relaciones que determinen los diferentes niveles de cavitación.

A fin de tener una información adecuada para el análisis y diseño de placas de orificio y válvulas, es necesario identificar y proporcionar datos experimentales para varios niveles de la intensidad de cavitación. En principio se pueden definir cinco niveles de cavitación que representan las posibles intensidades de cavitación:

- Cavitación Incipiente: Se define como la condición del flujo en la que la cavitación comienza a ser detectable. Usualmente se identifica con sonidos suaves e intermitentes que pueden ser detectados por el oído humano o mediante la asistencia de hidrófonos o acelerómetros.
- Cavitación contante o Crítica: Este segundo límite de cavitación se define como la situación del flujo en la que aparece cavitación continúa en un grado moderado. Puede identificarse por medios de detección sonora (se caracteriza por ruidos de intensidad inferior a 80 dB). La cavitación crítica no se considera generalmente un problema y no debería producir daño o reducir la vida de servicio de la válvula.



La cavitación crítica se debe considerar como el valor límite de diseño para válvulas o elementos que requieren un funcionamiento continuo, en medios donde algo de ruido de cavitación se puede tolerar, pero fuertes ruidos, intensas vibraciones o daños quieren ser evitados.

- Cavitación con daños incipientes: Se caracteriza, como su nombre indica, por el comienzo de la erosión de los contornos de la válvula. Este nivel de cavitación no es estable y es la antesala de la situación de bloqueo del caudal. La característica principal de este nivel, aparte de los daños físicos, es la disminución del caudal debido a la reducción de la sección de paso, ocupada por las burbujas gaseosas.
- Cavitación con bloqueo: En este nivel extremo se bloquea el caudal circulante debido a la obstaculización provocada por las burbujas. Llegados a este extremo, el caudal no aumentará aunque se reduzca la presión a la salida de la válvula.
- Máximo nivel de ruido y vibración

Para el cálculo y diseño de placas de orificio se toleran los tres primeros niveles. La intensidad de cavitación incipiente consiste en ligeros e intermitentes sonidos de burbujas estallando que son ligeramente perceptibles. La cavitación incipiente es por tanto un límite de diseño muy conservador y su uso como límite de diseño se recomienda para casos extremos cuando el ruido de la cavitación no es tolerable.

2.3.2.2.2 Metodología de Diseño Placa de Orificios

La metodología propuesta consiste básicamente en dos pasos: establecer la condición límite de cavitación en la placa de orificio y luego estimar el área de orificios, a partir de datos experimentales. Los datos experimentales se pueden obtener a través de tres recursos:

- Pruebas de laboratorio en la válvula real que reproduzcan condiciones similares del sistema.



- Pruebas en una válvula modelo.
- Datos provenientes de literatura.

En esta metodología se trabaja con datos provenientes de literatura, que son ajustados por efecto de escala.

Como datos de entrada se necesitan:

- Caudal de diseño, Q.
- Presión de entrada, P_u .
- Presión requerida aguas abajo, P_d .
- Diámetro de la tubería, d.
- Presión de vapor, P_{vg} .
- Presión de vapor de referencia, P_{vgo} .

Los pasos a seguir se enumeran a continuación.

1. Establecer condición límite de cavitación.
2. Calcular velocidad como Q/A.
3. Calcular σ (Ecuación 5).
4. Calcular coeficiente de descarga, Cd.

$$C_d = \frac{V}{\sqrt{\frac{2(P_u - P_d)}{\rho} + V^2}}$$

Ecuación 16

5. Calcular índice de cavitación de referencia.

σ_i = Cavitación incipiente.



σ_c = Cavitación Crítica.

σ_{id} = Cavitación daño incipiente.

σ_{ch} = Cavitación obstrucción incipiente.

$$\sigma_i = 0.62 + 4.4C_d + 6.6 C_d^2 + 1.3 C_d^3 \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\sigma_c = 0.78 + 1.0 C_d + 7.9 C_d^2 + 3.2 C_d^3 \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\sigma_{id} = -0.11 + 6.5 C_d + 7.6 C_d^2 + 8.6 C_d^3 \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\sigma_{ch} = 0.15 + 1.2 C_d - 0.31 C_d^2 + 3.3 C_d^3 \quad \text{Ecuación 20}$$

6. Leer presión de referencia aguas arriba, P_{uo} , de los valores del ensayo de referencia, generalmente 90 psi.
7. Calcular presión aguas abajo para sistema de referencia, P_{do} .

$$P_{do} = \frac{\sigma \times P_{uo} + P_{ugo}}{1 + \sigma} \quad \text{Ecuación 21}$$

8. Calcular efecto de escala por tamaño, SSE.

$$SSE = \left(\frac{D}{d}\right)^Y \quad \text{Ecuación 22}$$

donde,

K: Coeficiente de pérdida de carga.

$$K = \frac{1}{C_d^2} - 1 \quad \text{Ecuación 23}$$



$$Y = 0.3 K_i^{-0.25}$$

Ecuación 24

Para cavitación de daño incipiente, σ_{id} , SSE=1.

9. Calcular exponente para ajuste por efectos de escala, X.

Para cavitación de daño incipiente, σ_{id} , X=0.19.

Para otros valores, consultar (Tullis, 1989).

10. Calcular efecto de escala por presión, PSE.

$$PSE = \frac{P_u - P_{vg}}{P_{uo} - P_{vgo}}$$

Ecuación 25

11. Calcular índice de cavitación de referencia ajustado, (Escogido en el paso 5).

$$\sigma_{ajust.} = PSE \times SSE \times \sigma_{i,c,h}$$

Ecuación 26

12. Relación de diámetros, do/D.

$$\frac{do}{D} = 0.193 + 2.34 C_d - 3.94 C_d^2 + 2.73 C_d^3$$

Ecuación 27

13. Diámetro del Orificio (do).

$$do = \frac{do}{D} \times D$$

Ecuación 28

14. Área del orificio, Ao.

$$Ao = \frac{\pi}{4} \times do^2$$

Ecuación 29



15. Diámetro del agujero para la platina (supuesto), da.

16. Numero de Orificios.

$$\#orificios = \frac{4 A_o}{\pi da^2}$$

Ecuación 30



3 CRITERIOS DE SELECCIÓN: ESTRUCTURAS DE QUIEBRE Y/O REDUCCIÓN DE PRESIÓN

Las estructuras de quiebre o reducción de presión se utilizan cuando por las condiciones topográficas y de operación, se tiene una presión mayor a la presión de trabajo de la tubería, o por condiciones de servicio, como en redes de distribución, cuando existe un límite de la presión de entrega a las edificaciones.

Pero hoy en día estas estructuras se están utilizando por otras situaciones, que se deben más a malas prácticas de ingeniería, a saber,

- Por ahorro en el costo de las tuberías, se están usando tuberías con presiones de trabajo bajas. El reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS – 2000, deja a juicio del diseñador la relación diámetro espesor a utilizar. Sin embargo para el caso de aducciones y conducciones, se debería fijar como presión de trabajo mínima de 100 mca en zonas de pendientes abruptas.
- Las captaciones se están localizando muy altas y alejadas del sitio de tratamiento y distribución. Si bien con esta condición se quiere conseguir agua de mejor calidad, debe existir un equilibrio en la relación costo - beneficio. Hay que tener presente que entre más arriba se ubique la captación, hacia la parte alta de la cuenca, menos cantidad de agua se puede captar. Además, aguas de mediana calidad pueden mejorarse con una planta de tratamiento.

Si se tienen en cuenta las anteriores observaciones, muy seguramente serían menos las estructuras a implementar a lo largo del país.

En la práctica, las cámaras de quiebre se utilizan generalmente en conducciones; las válvulas reductoras de presión en aducciones, conducciones y redes de distribución. Mientras las placas de orificios poco se utilizan, su uso se da más en conducciones de diámetros grandes para reducir presión.

Para decidir qué estructura es mejor utilizar es necesario conocer las ventajas y desventajas de cada una de ellas. Manuel Mateos en su libro Válvulas Reductoras de



Presión, hace una comparación entre las válvulas reductoras y las cámaras de quiebre. A continuación se numeran las más relevantes.

- **Cámaras de Quiebre**

Ventajas

- Reduce la presión de salida a cero.
- No necesitan mucho mantenimiento.

Desventajas

- La cámara de quiebre necesita generalmente una válvula de flotador o nivel, que controle el llenado de la cámara e impida el desbordamiento.
- Una válvula de flotador para presiones mayores a 30 mca, al verter a la presión nula de la cámara de quiebre, puede sufrir efectos de cavitación.
- La cámara de quiebre puede perder agua, difíciles de detectar por grietas en su estructura o asentamiento del terreno.
- El agua en una cámara de quiebre puede ser contaminada muy fácilmente.

- **Válvulas Reductoras de Presión**

Ventajas

La válvula reductora de presión adapta su apertura para que pase solamente el caudal necesario y así la presión aguas abajo se mantenga constante.

Desventajas

- Las válvulas reductoras necesitan mantenimiento periódico.



- Costo inicial mayor que la cámara de quiebre.
- No permite reducir la presión de salida a la atmosférica.

Algunos diseñadores consideran que para niveles de complejidad¹ medio alto y alto, no se deberían construir cámaras de quiebre sino válvulas reductoras.

De acuerdo con las ventajas y desventajas, se puede establecer que para aducciones o transporte de agua sin tratar donde se haga necesario reducir la presión hasta el valor de presión atmosférica, se recomienda utilizar cámaras de quiebre de presión debido a que el desperdicio de agua no es tan relevante y ante una eventual contaminación, el agua va a un posterior tratamiento. Para el caso de conducciones o transporte de agua tratada y de redes de distribución se recomienda utilizar válvulas reductoras de presión, por el riesgo de contaminación y por el costo mayor del agua potable.

3.1 CÁMARAS DE QUIEBRE

Para establecer límites de aplicabilidad de los modelos de cámaras de quiebre anteriormente estudiados, es necesario que éstos hayan sido probados en laboratorio y se pueda cuantificar su eficiencia, así parámetros de diseño más relevantes.

De acuerdo con los modelos detallados en el Capítulo 2, se pueden establecer ciertos rangos, que se constituyen una recomendación, y por tanto pueden variar según las características propias del sistema.

Como parámetros de selección se tienen en cuenta variables hidráulicas como la velocidad y la presión, y como variable técnica el nivel de complejidad, que generalmente es un indicador del costo de producción y venta del agua en cada nivel.

¹ Nivel de complejidad: Clasificación función del número de habitantes, de la capacidad económica y del grado de exigencia técnica del sistema (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, 2000).



Si bien se acostumbra a utilizar como límite de presión 60 mca. para implementar una cámara de quiebre, éste límite debería revaluado hasta 120 mca, que representa una presión de trabajo que manejan los diferentes materiales utilizados hoy en día. La mayoría de las veces, es más conveniente cambiar el RDE de la tubería, que optar por la construcción de una cámara de quiebre.

La Tabla 6 muestra los valores recomendados de velocidad, presión y nivel de complejidad para cada modelo estudiado.

Tabla 6. Valores recomendados de velocidad, presión y nivel de complejidad para cámaras de quiebre.

Modelo	Velocidad(m/s)	Presión (m)	Nivel de complejidad
Modelo USBR	7	120	Alto, Medio Alto, Medio
Universidad de Medellín	5	70	Medio, Bajo
Empírico	3	50	Bajo

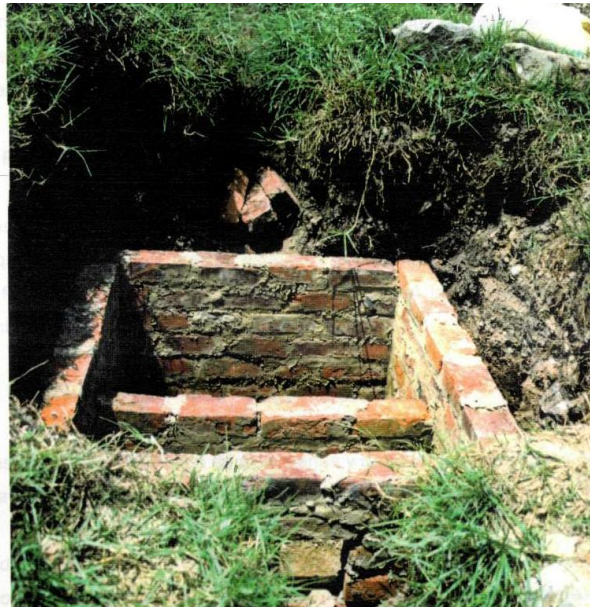
Fuente: Autor.



4 CASO DE APLICACIÓN: CÁMARAS DE QUIEBRE Y VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN

Las cámaras de quiebre han sido las estructuras más utilizadas hasta el momento para el quiebre y reducción de presión en sistemas de abastecimiento. El modelo que más se ha implementado es el empírico.

Por las altas presiones a que es sometida la estructura, ésta debe ser construida en concreto reforzado. Algunas veces, constructores optan por hacerla en mampostería, lo cual puede causar erosión en la estructura y posibles fugas (Ver Fotografía 1).



Fotografía 1. Cámara de quiebre en mampostería.
Fuente: (Camargo Gómez, 1999).

Uno de los elementos que más daños sufre en las cámaras de quiebre de presión es el flotador, debido a las altas presiones que soporta y que causan pueden causar cavitación. A continuación se muestran algunas fotos donde se evidencia la poca confiabilidad de la válvula flotador en este tipo de estructuras.



Fotografía 2. Válvula de flotador con fugas.
Fuente: (Camargo Gómez, 1999).



Fotografía 3. Válvula de flotador con fugas (2).
Fuente: (Camargo Gómez, 1999).



Fotografía 4. Válvula de flotador dañada.
Fuente: (Camargo Gómez, 1999).

4.1 CASO HONDA

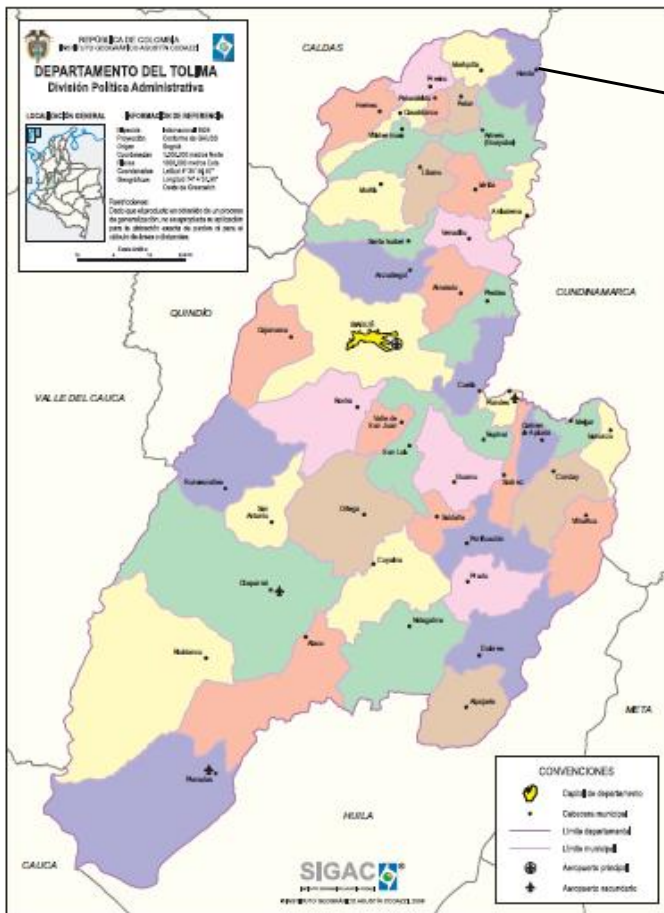
El Municipio de Honda se encuentra ubicado al norte del Departamento del Tolima, en límites con el Departamento de Caldas (Ve Figura 26).

En la actualidad, el municipio se abastece de la quebrada Padilla, la cual suministra la mayor parte del tiempo el caudal necesario para los requerimientos del municipio. La calidad del agua es buena dentro de los parámetros exigidos para una fuente de abastecimiento.

Con fundamentos, y propósitos no muy claros, el municipio de Honda emprendió hace mucho más de una década, la implementación de un proyecto para el transporte de agua desde el río Medina, de la cuenca del río Gualí y en el ámbito territorial del municipio de Mariquita, con la idea de conformar un acueducto regional integrado por los municipios de Mariquita, Honda en el Tolima y el corregimiento de Puerto Bogotá, de Guaduas, Cundinamarca.



El proyecto carece de una conformación administrativa técnica y legal para constituir un sistema regional. Sin embargo, su avance es de casi un 95%; hasta el momento están construidas las estructuras de captación de fondo con presa vertedora, la aducción, desarenador y la aducción desarenador – planta de tratamiento. Sólo faltan algunas conexiones y empalmes, además de superar la problemática propia de la puesta en marcha para entrar en funcionamiento.



FUENTE: <http://www.honda-tolima.gov.co/>

Figura 26. Localización municipio Honda.

La línea de aducción desarenador- planta de tratamiento tiene una longitud aproximada de $L = 17750$ m (D18"-19.5%, D16"-36.5%, D14"-23.7%, D12"-20.3%) de material policloruro de vinilo, PVC, en RDE 41, que soporta presiones máximas de 70 mca. La diferencia de presión entre el desarenador y la planta de tratamiento es de más de 300 m, por lo que se propusieron dispositivos de Quiebre de Presión (Ver Figura 27 y Anexo II).



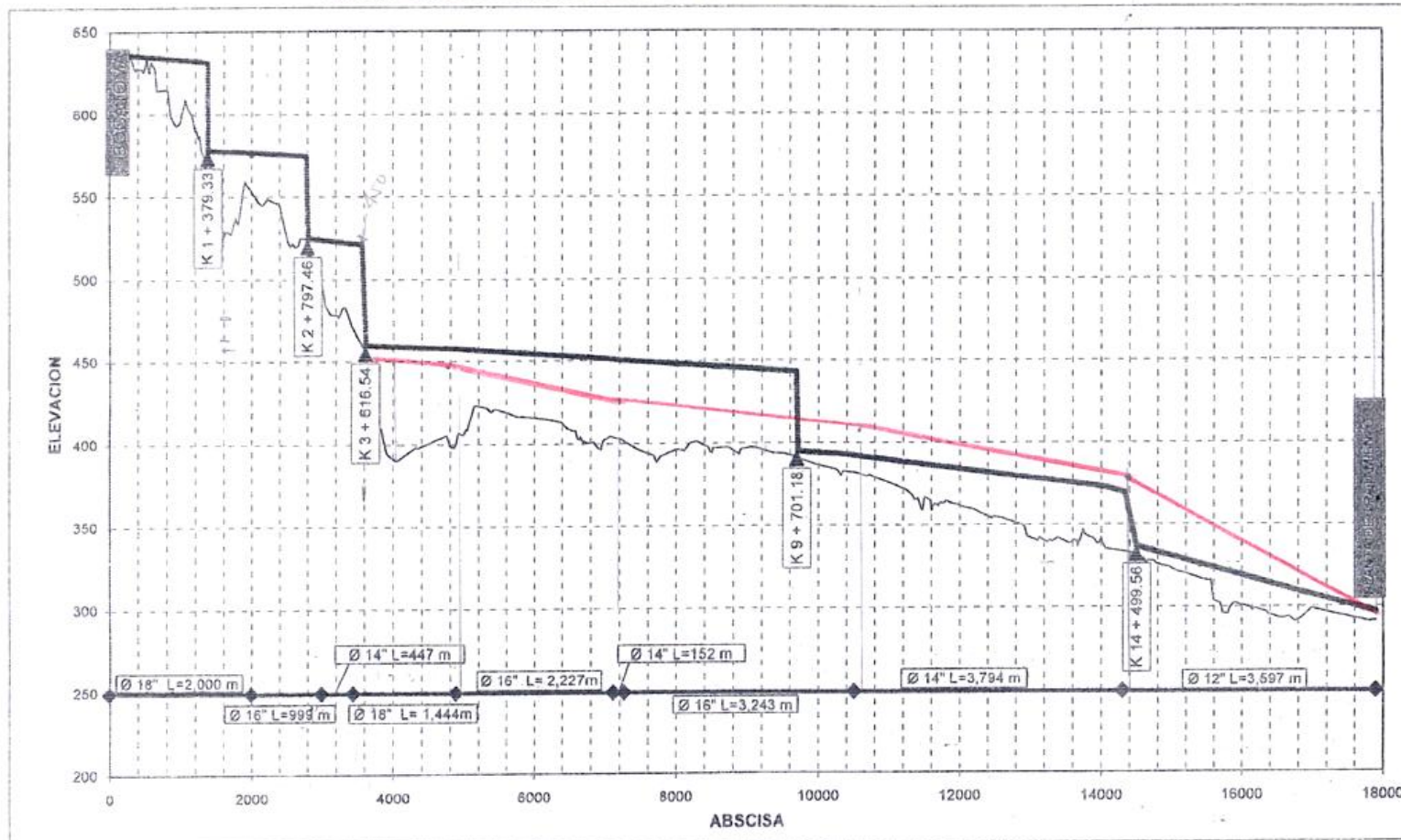
A la fecha, no existe un reporte de todos los estudios técnicos ni mucho menos el presupuesto invertido en el acueducto regional. El último estudio contratado por el municipio tiene por objeto el análisis de ingeniería y costos para la instalación de tubería y accesorios para la terminación de la línea de conducción de agua potable del municipio de Honda, elaborado por la Firma ESCALA en el año 2008. En éste se propuso la instalación de 5 cámaras de quiebre de presión del modelo empírico, para un caudal de 160 L/s y en intervalos de 60 mca aproximadamente.

Al momento de la construcción, se decidió, sin ningún estudio previo, la implementación de estaciones reductoras de presión, en vez de las cámaras de quiebre inicialmente propuestas.

Las estaciones reductoras fueron instaladas hace más de 2 años y aún no entran en funcionamiento. Según conversaciones con operarios y técnicos de la empresa prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado, EMPREHON, cuando han intentado hacer pruebas en el sistema de aducción, las válvulas han presentado problemas, pues sufren daños por elementos como hojas, y falta de calibración para el caudal de diseño. Por esto, la mayoría de las veces les ha tocado bypasear el agua, lo cual a los pocos metros, antes de llegar a la cámara de quiebre N° 1, ha causado sobrecarga y posterior explosión de la tubería, como se observa en la Fotografía 5, la Fotografía 6 y la Fotografía 7.



FIGURA No. 2.2
REPLANTEO DE CONDUCCION
LÍNEA DE CONDUCCIÓN RÍO MEDINA - PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPIO DE HONDA



27. Perfil Línea de aducción río Medina – Planta de tratamiento.
Fuente: (CONTELAC LTDA, 2011).

Figura



Fotografía 5. Explosión tubería río Medina – Honda.
Fuente: Autor.



Fotografía 6. Explosión tubería río Medina (2) – Honda.
Fuente: Autor.



Fotografía 7. Explosión tubería río Medina (3) – Honda.
Fuente: Autor.



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las estructuras de quiebre o reducción de presión son de uso frecuente en los sistemas de abastecimiento de agua debido a las condiciones topográficas y de operación, cuando se presenta una presión mayor a la presión de trabajo de la tubería; o por condiciones de servicio, como en redes de distribución, cuando existe un límite de la presión de entrega en las edificaciones.
- A fin de reducir la presión de entrada hasta la presión atmosférica, se utilizan las cámaras de quiebre. Se estudiaron tres modelos, el del Bureau el cual se utiliza a nivel mundial, pero en Colombia es poco conocido. Los más empleados en el país, son el modelo de la Universidad de Medellín y un modelo empírico.
- Las válvulas reductoras y las placas de orificio son utilizadas para reducir la presión hasta límites de operación. Las primeras generalmente se implementan en redes de de distribución de agua, y las segundas en conducciones de diámetros grandes.
- Del estado del arte realizado se concluye que muchas veces las estructuras para quiebre y reducción de presión utilizadas en el país, soportan presiones por encima de su rango de operación. Además, su implementación se ha visto afectada por malas prácticas de ingeniería como colocar tuberías con presiones de trabajo bajas y colocar la captación lo más alta posible sin que sea necesario.
- El diseño de las estructuras de quiebre y presión, muchas veces se hace a la ligera, sin estudiar los efectos de fenómenos como sobrepresión y la cavitación, lo cual genera que las estructuras fallen a los pocos meses de instalación.
- Se recomienda utilizar las cámaras de quiebre en aducciones y conducciones donde se requiere reducir la presión hasta el valor de la presión atmosférica. Para el caso de las redes de distribución, se recomienda utilizar en todo caso las válvulas reductoras de presión. El uso de las placas de orificio se recomienda para



reducción de presión y puede combinarse con las válvulas o cámaras de quiebre para aumentar la eficiencia de estas estructuras.

- Se recomiendan límites de operación para cada uno de los modelos de cámara de quiebre, de acuerdo con la velocidad, presión y nivel de complejidad. Hay que aclarar que estos son valores recomendados y que pueden variar de acuerdo con características propias del sistema.

Tabla 6. Valores recomendados de velocidad, presión y nivel de complejidad.

Modelo	Velocidad(m/s)	Presión (m)	Nivel de complejidad
Modelo USBR	7	120	Alto, Medio Alto, Medio
Universidad de Medellín	5	70	Medio, Bajo
Empírico	3	50	Bajo

Fuente: Autor.

- Se propone un modelo con base en las ventajas de los modelos propuestos por la USBR y la Universidad de Medellín. Básicamente, consiste en una tubería perforada concéntrica dentro de una flauta, que llegan hasta el fondo de la cámara y ahí se anclan al piso. Se complementa con un revestimiento en acero en la placa inferior y las paredes laterales de la cámara (Ver Figura 28).

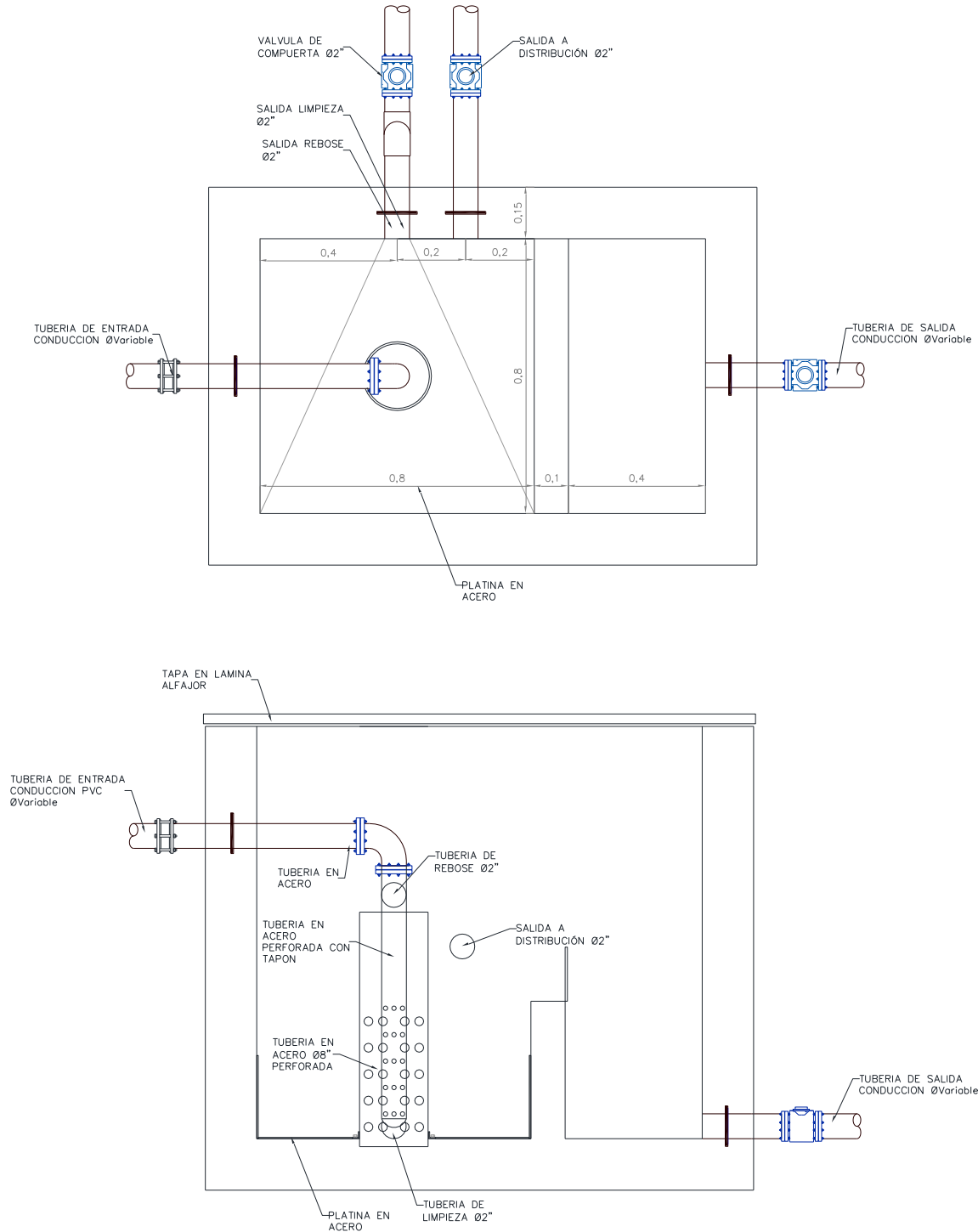


Figura 28. Cámara de quiebre propuesta.
Fuente: Autor.



6 BIBLIOGRAFÍA

- Camargo Gómez, J. R. (1999). *Criterios de Diseño de Cámaras de Quiebre de Presión en Sistemas de Abastecimiento de Agua y Distritos de Riego- Estado del Arte*. Santafé de Bogotá.
- COLOMBIA, Ministerio de Desarrollo Económico- Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS*. Santafé de Bogotá.
- CONTELAC LTDA. (2011). *Informe Diagnostico General del Sistema de Acueducto del Municipio de Honda-Tolima*. Santafé de Bogotá.
- Corcho Romero, F. H., & Duque Serna, J. I. (2005). *Acueductos, Teoría y Diseño*. Medellín: Sello Editorial. Universidad de Medellín.
- *Física en la Guía 2000*. (s.f.). Recuperado el 8 de Enero de 2012, de <http://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/ecuacion-de-continuidad>
- Jianhua, W., Wanzheng, A., & Qi, Z. (2010). Head Loss Coefficient of Orifice Plate Energy Dissipator. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 48, No. 4 , 526–530.
- Jianhua, W., Wanzheng, A., & Qi, Z. (Vol. 48, No. 4 - 2010). Head Loss Coefficient of Orifice Plate Energy Dissipator. *Journal of Hydraulic Research* , 526–530.
- Johnson, D. E. (1970). *Sleeve Valves*. Colorado: Institute on Control of Flow in Closed Conduits, Colorado State University.
- Mateos de Vicente, M. (2006). *Válvulas Reductoras de Presión*. Madrid: Bellisco, Ediciones Técnicas y Científicas.
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de Tuberías*. Santafé de Bogotá: Alfaomega.
- Tullis, J. P. (1989). *Hydraulics of Pipeline*. Wiley - Interscience.
- United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation. (1978). *Design of Small Canal of Structures*. Denver, Colorado: United States Government Printing Office.



Universidad de los Andes

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA

Estudio sobre Estructuras de Control para Quiebre y Reducción de Presión en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable.

- United States Department of the Interior - Bureau of Reclamation. (1980). *Hydraulic Laboratory Techniques*. Denver, Colorado: United States Government Printing Office.



7 ANEXOS

7.1 ANEXO I: CATÁLOGO VÁLVULAS TECVAL.

7.2 ANEXO II: PLANTA PERFIL ADUCCIÓN RIO MEDINA.