

**APOYO TÉCNICO EN EL PROCESO DE REVISIÓN DE PROYECTOS E
INSTALACIONES HIDRÁULICAS, EN LA SECCIÓN DE DISPONIBILIDADES
DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A ESP**

ISABEL CRISTINA LATORRE VESGA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016**

**APOYO TÉCNICO EN EL PROCESO DE REVISIÓN DE PROYECTOS E
INSTALACIONES HIDRÁULICAS, EN LA SECCIÓN DE DISPONIBILIDADES
DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A ESP**

ISABEL CRISTINA LATORRE VESGA

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniera Civil

**Director y Tutor en la empresa
M.Sc. LUIS FENRANDE CASTAÑEDA GÁLVIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016**

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de estos años.

A mi director de proyecto M.Sc. Luis Fernando Castañeda Galvis, por las enseñanzas y el apoyo brindado.

A los funcionarios del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, por la ayuda y la familiaridad con la que me trataron.

Y a todos aquellos que han estado conmigo a lo largo de esta etapa de mi vida.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. MARCO TEORICO	17
3.1 PROYECTO HIDRÁULICO.....	17
3.2 GOLPE DE ARIETE.....	21
3.3 FRACCIONAMIENTO DE CAUDAL	23
3.4 VARIADOR DE VELOCIDAD ELECTRÓNICO.....	26
4. REVISIÓN DE PROYECTOS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS	29
4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN	29
4.2 VISITA DE REVISIÓN EN CONSTRUCCIONES.....	31
5. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE PROYECTOS REALIZADA.....	34
6. CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	42

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Fraccionamiento de caudal recomendado en [Granados]	26
Tabla 2. Fraccionamiento de caudal recomendado en [Construdata]	26
Tabla 3. Cantidad de proyectos revisados, según la altura de la edificación	36

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Instalación de cámaras de aire	24
Figura 2. Curvas H-Q en función de la velocidad	28
Figura 3. Registro fotográfico de una de las visitas realizadas	33
Figura 4. Proyectos aprobados y rechazados	35
Figura 5. Distribución por pisos de los proyectos revisados	37
Figura 6. Distribución por pisos de los proyectos rechazados	37
Figura 7. Distribución por pisos de los proyectos aprobados	38
Figura 8. Porcentaje de incidencia por causas de rechazo	40

RESUMEN

TÍTULO: APOYO TÉCNICO EN EL PROCESO DE REVISIÓN DE PROYECTOS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS, EN LA SECCIÓN DE DISPONIBILIDADES DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A ESP*.

AUTORA: ISABEL CRISTINA LATORRE VESGA†

PALABRAS CLAVE: Instalaciones hidráulicas, Proyecto hidráulico, Revisión de proyectos hidráulicos, Golpe de ariete, Fraccionamiento de caudal, Variadores de velocidad.

DESCRIPCIÓN:

Se presenta el informe del trabajo de grado desarrollado en la modalidad de práctica empresarial en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb). El objetivo planteado para el proyecto fue prestar apoyo técnico en el proceso de revisión de proyectos e instalaciones hidráulicas, en la sección de disponibilidades de la empresa. En ese sentido, se apoyó la revisión de proyectos hidráulicos de construcciones mayores a diez (10) unidades o tres (3) pisos de altura; de predios destinados a vivienda, industria o comercio; con dotación superior a $1\text{m}^3/\text{h}$; o de establecimientos comerciales con área mayor a 500 m^2 .

Además, en el marco de la práctica se realizaron visitas de revisión de instalaciones hidráulicas, para verificar que su realización se hizo de acuerdo con el diseño aprobado por el amb. Con la revisión de proyectos hidráulicos y las visitas de revisión en las edificaciones se dio cumplimiento a dos de los objetivos planteados

* Trabajo de grado.

† Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: M.Sc. Luis Fernando Castañeda Galvis.

para la práctica. En constancia, este informe del trabajo de grado contiene estadísticas de los resultados de revisión de proyectos, discriminando entre edificaciones de pequeña, mediana y gran altura; y un registro fotográfico de la revisión realizada a una de las instalaciones visitadas durante la práctica.

En el tercer objetivo se propuso elaborar un documento técnico, como propuesta de actualización de la norma vigente en el amb para el diseño y construcción de instalaciones hidráulicas. Con ese propósito, se estudió el golpe de ariete, el fraccionamiento de caudal y los variadores de velocidad electrónicos. Tal estudio permitió incluir esos temas en la propuesta de actualización de la norma. De esa forma, los temas señalados complementaron la actualización que se propone en materia de acometida, medidores, unidades de gasto, pérdidas, tanques y protección contra incendios.

ABSTRACT

TITLE: APOYO TÉCNICO EN EL PROCESO DE REVISIÓN DE PROYECTOS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS, EN LA SECCIÓN DE DISPONIBILIDADES DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A ESP[‡].

AUTHOR: ISABEL CRISTINA LATORRE VESGA[§]

KEYWORDS: Hydraulic installations, Hydraulic project, Hydraulic projects verification, Water hammer, Flow rates fractioning, Variable frequency drives.

DESCRIPTION:

This document contents the grade work report developed in the mode of practice business in the Aqueduct Metropolitan of Bucaramanga (amb). The target raised for the project was to give technical support in the process of project review and hydraulic facilities, in the section of availability of the company. In this sense, the work supported the review of hydraulic projects verification exceeding ten (10) units or three (3) floors of height; of premises destined to housing, industry or trade; with over 1m³/h manning; or commercial establishments with greater than 500 m² area.

In addition, within the framework of practice it was conducted visits to hydraulic installations, to verify that achievement was done in accordance with the design approved by the amb. The review of hydraulic projects and the visits to the buildings fulfillment two of the targets raised for the practice. On record, this report contains statistics of the results of review of projects, discriminating between buildings of

[‡] Bachelor Thesis.

[§] Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: M.Sc. Luis Fernando Castañeda Galvis.

small, medium-sized and big height; and a photographic record of the review realized to one of the facilities visited during the practice.

The third objective proposed to write a technical document, as an update proposal to the current norm in the amb for the design and construction of hydraulic facilities. For that purpose, it was studied water-hammer, flow rates fractioning and variable frequency drives. The study allowed to include these topics in the update proposal to the norm. That way, the indicated topics complemented the updates that was proposed on the subject of onslaught, water meters, units of expenses, losses, tanks and fire protection.

INTRODUCCIÓN

El auge de la construcción en el área metropolitana ha implicado el desarrollo de proyectos de gran volumen, con construcciones mayores a 20 pisos, y un incremento en el número de proyectos a revisar. La cantidad de trabajo y los retos técnicos que plantean los proyectos de gran volumen, generaron un espacio para adelantar el trabajo de grado cuyo informe se presenta en este documento y que se desarrolló en la modalidad de práctica empresarial.

De otra parte, la inclusión de variadores de velocidad y la posibilidad de considerar el golpe de ariete como un fenómeno adverso en las instalaciones hidráulicas, evidenciaron la necesidad de revisar la norma vigente en el amb. En ese sentido, este informe presenta lo que es un proyecto hidráulico y qué debe contener; el procedimiento que sigue el amb para la revisión de los proyectos hidráulicos; en qué consiste la visita de revisión de instalaciones hidráulicas; estadística de resultados del trabajo de revisión de proyectos; descripción del cálculo del golpe de ariete, con un ejemplo de aplicación; el fraccionamiento de caudal y cómo se determina; descripción general de los variadores de velocidad electrónicos, con un ejemplo de aplicación en su selección; y las conclusiones del trabajo realizado.

El documento está organizado de la siguiente forma: en el capítulo 1 se presenta el planteamiento y la justificación del problema; el capítulo 2 contiene el objetivo general y los objetivos específicos; en el capítulo 3 se incluye el marco teórico, que está conformado por la descripción del proyecto hidráulico, junto con una breve referencia al golpe de ariete, el fraccionamiento de caudal y los variadores de velocidad electrónicos; el capítulo 4 se destinó a la descripción del procedimiento para realizar la revisión de los proyectos hidráulicos y para las visitas a instalaciones en construcción; el capítulo 5 se destinó a la presentación de resultados de la revisión de proyectos realizada; y en el capítulo 6 se consignaron las conclusiones del trabajo realizado.

1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. (amb) es una empresa de servicios públicos que tiene como propósito prestar el servicio domiciliario de acueducto y saneamiento básico, así como realizar actividades complementarias al suministro de agua potable en las localidades que integran el área metropolitana de Bucaramanga y demás municipios vecinos, a los cuales se extiende la prestación de estos servicios. En general, en cualquier lugar del país o del exterior, que por vía contractual se convenga en esta gestión.

El amb produce y distribuye agua potable; y presta servicios de asesoría y asistencia de carácter técnico, operativo, comercial, administrativo e institucional a sistemas de acueducto y saneamiento básico. Dentro de su estructura cuenta con la Oficina de Grandes Clientes, adscrita a la División Servicio al Cliente, que tiene como objetivo asesorar y orientar a constructores/urbanizadores o a personas naturales y jurídicas que soliciten disponibilidad de servicio; en relación con los diferentes pasos o actividades que se deben desarrollar para obtener la aprobación del servicio.

En el marco de la aprobación del servicio, el proceso de vinculación para constructores/urbanizadores inicia con la Solicitud de Disponibilidad y finaliza con la venta e instalación de los nuevos suscriptores; para proyectos urbanísticos o predios con las siguientes características: Construcciones mayores a diez (10) unidades o mayores a tres (3) pisos de altura; Predios mayores a 3 unidades que requieran infraestructura de redes; Predios a construir que proyecten industria o comercio que tenga más de 20 empleados; Dotación superior a 1m³/hora; Establecimientos comerciales con área mayor a 500 m²; y Edificaciones que por disposición legal requieran sistema interno de protección contra incendio.

Dentro del proceso de vinculación para constructores/urbanizadores se encuentran las actividades de revisión de proyectos e instalaciones hidráulicas; actividades que

se realizan en la sección de disponibilidades. La revisión de proyectos e instalaciones hidráulicas tienen un fuerte componente técnico, para lo cual el amb cuenta con un grupo de profesionales altamente calificado; que ha acumulado una vasta experiencia y posee la apertura suficiente para admitir un estudiante en práctica que apoye dichas actividades.

Teniendo en cuenta que el auge de la construcción en el área metropolitana ha implicado el desarrollo de proyectos de gran volumen, con construcciones mayores a 20 pisos, el grupo de profesionales antes señalado ha identificado la necesidad de actualizar la norma de diseño y construcción de redes del amb; principalmente en lo referente a las instalaciones hidráulicas. Entonces, identificó la necesidad de elaborar un documento de referencia técnica sobre instalaciones hidráulicas, que sirva de base para actualizar la norma vigente en el amb.

2. OBJETIVOS

Para la realización del trabajo se planteó un objetivo general y tres (3) objetivos específicos, como se indica a continuación:

2.1 OBJETIVO GENERAL

Prestar apoyo técnico en el proceso de revisión de proyectos e instalaciones hidráulicas, en la sección de disponibilidades del acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A ESP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar proyectos hidráulicos de construcciones mayores a diez (10) unidades o tres (3) pisos de altura; de predios destinados a industria y comercio, con dotación superior a 1m³ / hora; o de establecimientos comerciales con área mayor a 500 m²; bajo la tutela del ingeniero revisor encargado, quien asignará los proyectos a revisar.
- Revisar instalaciones hidráulicas de construcciones para verificar que su realización se hizo de acuerdo con el diseño aprobado por el AMB; bajo la tutela del ingeniero revisor encargado, quien asignará las instalaciones a revisar.
- Elaborar documento de referencia técnica sobre instalaciones hidráulicas, que sirva de base para actualizar la norma de diseño y construcción de redes del amb.

3. MARCO TEORICO

En esta sección se describe en detalle el proyecto hidráulico, y se hace una breve referencia a tres temas incluidos en el documento técnico propuesto para actualización de la norma del amb. Esos temas son: el golpe de ariete, el fraccionamiento de caudal y los variadores de velocidad electrónicos.

3.1 PROYECTO HIDRÁULICO

Según el PMBOK, un proyecto es “un esfuerzo que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único, y tiene la característica de ser naturalmente temporal; es decir, tiene un inicio y un final establecidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto o cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos. También puede terminar porque ya no existe la necesidad que le dio origen” [PMBOK]. En ese contexto, los proyectos de instalaciones hidráulicas y sanitarias comprenden todos los esfuerzos que se llevan a cabo para dar servicio de agua potable a edificaciones o urbanizaciones, de manera que ésta llegue en cantidades y presiones adecuadas - según normativa.

El proyecto hidráulico inicia con un diseño, que debe ser presentado ante la empresa de acueducto para su revisión y aprobación. La aprobación exige el cumplimiento de normas establecidas por la Empresa, que comprenden tanto el ámbito técnico como el ámbito formal de contenido y descripción del proyecto. Ambos ámbitos son igualmente importantes, porque regulan la interacción entre el proyectista, o interesado en el proyecto hidráulico, y la empresa que presta el servicio. En el área metropolitana de Bucaramanga, la empresa que presta el servicio es el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

En el ámbito técnico, el amb subdivide las instalaciones domiciliarias en dos partes: la acometida domiciliaria y la instalación interna. La acometida domiciliaria es una derivación de la red de distribución de acueducto, que llega hasta el medidor; en edificios de propiedad horizontal o en condominios, la acometida llega hasta el medidor general. Por su parte, la instalación interna incluye el conjunto de tuberías, accesorios y equipos que conforman el sistema de abastecimiento de agua potable. Entre la acometida y la instalación interna debe construirse la cámara del medidor; ubicada generalmente en propiedad pública o a la entrada del inmueble. En consecuencia, por medio de esta cámara se hace el enlace entre la acometida y la instalación interna; permitiendo la ubicación del medidor (dispositivo mecánico encargado de medir el consumo de agua) y sus accesorios.

Con respecto a la instalación interna, dentro de las tuberías, accesorios y equipos considerados por el amb se pueden destacar los siguientes – no todos ellos deben estar en un proyecto específico:

- Tanque de almacenamiento: dispositivo encargado de almacenar la cantidad de agua suficiente para el consumo de un día; así como para compensar las variaciones en el consumo a lo largo del día. Además, debe tener la capacidad suficiente para albergar el volumen de incendio requerido para el inmueble.
- Sistema de bombeo: comprende los elementos necesarios para suministrar energía al agua, de tal manera que permita su conducción desde un tanque de almacenamiento a otro; o desde un tanque de almacenamiento a las instalaciones de consumo, con apoyo de un equipo hidroneumático. Tales elementos son:
 - Tubería de succión: es la tubería de entrada de un equipo de bombeo.
 - Tubería de impulsión: es la tubería de salida de un equipo de bombeo.
 - Bomba centrífuga: máquina hidráulica compuesta de álabes que giran a alta velocidad angular, suministrando energía cinética al agua – en general, a un fluido incompresible.

- Equipo hidroneumático: está constituido por un tanque herméticamente cerrado, en el cual se almacena agua y aire a presión – en proporciones convenientes. El aire se utiliza como elemento auxiliar – que al comprimirse y descomprimirse facilita el control de la presión en la instalación hidráulica – mientras que el agua se dispone para su distribución y utilización por parte de los usuarios del servicio. El equipo hidroneumático puede evitar la construcción de tanques elevados, y permite que la red hidráulica mantenga una presión adecuada para el suministro de agua potable en las edificaciones.
- Tubería montante: tubería vertical ascendente, encargada de conducir agua potable al tanque elevado o a las tuberías de distribución en ruta.
- Tubería bajante: tubería vertical descendente, encargada de distribuir agua potable en ruta.
- Válvulas anti golpe de ariete: son válvulas que permiten la protección de bombas, equipos de bombeo y todas las tuberías que pueden estar sometidas a una presión transitoria peligrosa, ocasionada por cambios repentinos en la velocidad del flujo en las instalaciones hidráulicas. Dentro de este tipo de válvulas se encuentran las válvulas anticipadoras y las válvulas de alivio de sobrepresión. La válvula anticipadora se abre cuando ocurre una caída de presión generada por la parada súbita de una bomba, desviando el regreso de la onda de alta presión que se genera posteriormente en el sistema. Después, la válvula se cierra lentamente para evitar que se produzcan nuevas ondas transitorias de sobrepresión. Por su parte, la válvula de alivio de sobrepresión actúa cuando la presión sobrepasa un valor determinado, que ha sido considerado crítico para la protección de la instalación. En el momento en que la fuerza generada por la sobrepresión supera el valor con el que ha sido calibrada la válvula, ésta actúa permitiendo una descarga de agua proporcional a la sobrepresión misma; la válvula se cierra una vez cesa la fase transitoria que dio origen a su actuación.
- Válvulas reductoras de presión: También se les conoce como válvulas de control de presión, porque garantizan una presión de salida constante aguas abajo de

la válvula; independientemente del valor de presión aguas arriba. Por tanto, se emplean para reducir la presión de un sistema de alta presión a un valor predefinido. Se utilizan para nivelar las presiones fluctuantes o para proteger los dispositivos que sobresalen de la tubería principal contra presiones elevadas.

En el ámbito formal de contenido y descripción del proyecto, todo proyecto hidráulico debe presentarse al acueducto metropolitano de Bucaramanga para su revisión, acompañado de la siguiente información:

- Copia de la tarjeta profesional del diseñador, copia del COPNIA, la licencia de construcción y un CD con planos y memorias.
- Dos copias en físico de las memorias de cálculo, que deben contener:
 - Descripción del sistema hidráulico: debe incluir localización, número de pisos, número de viviendas, número de alcobas.
 - El tipo de suministro:
 - Desde un tanque bajo y equipo de bombas a un tanque alto; y si requiere, por restricción Arquitectónica, un equipo de presión constante.
 - Desde un tanque bajo y equipo de bombeo a presión constante.
 - Cálculo del volumen de almacenamiento y dimensionamiento del tanque o los tanques.
 - Diseño de la red de servicio para los apartamentos.
 - Diseño de la red de servicio para áreas comunes.
 - Determinación de consumos.
 - Diseño de acometida; medidor general en servicio, con gasto diario admisible en 10 horas; y medidores locales.
 - Cálculo de la presión y del caudal requeridos por el aparato crítico.
 - Diseño de montante y bajante.
 - Diseño de red interior para el último piso y para los pisos tipo.
 - Diseño del equipo de bombeo, incluyendo la presión necesaria para mover el agua desde la cámara de succión hasta el impulsor de la bomba – NPSH –

y la Altura dinámica total (HDT) – energía suministrada por una bomba a un fluido, expresada en términos de cabeza de presión.

- Dos copias en físico de planos, cuyo contenido debe ser:
 - Planos arquitectónicos aprobados por Planeación Municipal o Curaduría.
 - Plano de la red interna vista en planta, de los diferentes pisos.
 - Planos que contengan la red en vista isométrica o en corte, que muestre las redes internas principales.
 - Plano de detalles. (Acometida, conexiones a tanques, etc.).
 - El Tanque subterráneo, la zona de ubicación de los equipos hidráulicos, el tanque elevado y sus accesos; deben estar localizados en área común propiedad del edificio.
 - Tabla de especificación de equipo de bombeo y de equipo hidroneumático.
 - La localización del proyecto.

3.2 GOLPE DE ARIETE

En instalaciones hidráulicas se denomina “Golpe de Ariete”, al fenómeno físico que se produce cuando un cuerpo de agua cambia bruscamente su condición de movimiento o de reposo. El fenómeno produce una presión transitoria, que oscila entre valores positivos y negativos. Los valores negativos originan una depresión en la tubería, mientras que los valores positivos producen sobrepresión.

De acuerdo con [Melguizo], para el cálculo de la presión transitoria producida por el golpe de ariete se utiliza la ecuación (1).

$$h' = \frac{C*V}{g} \quad (1)$$

En donde C es la celeridad, en m/s; V la velocidad del agua en la tubería, en m/s; y g la gravedad, en m/s².

Para el cálculo de la celeridad en tuberías de PVC, Tipo 1, Grado 1 el Manual técnico tubosistemas presión PVC [PVC] recomienda utilizar la ecuación (2).

$$C = \frac{1.420}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} * (RDE - 2)}} \quad (2)$$

En donde K es el módulo de elasticidad volumétrico del agua, E el módulo de elasticidad del material de la tubería y RDE la relación diámetro-espesor de la tubería.

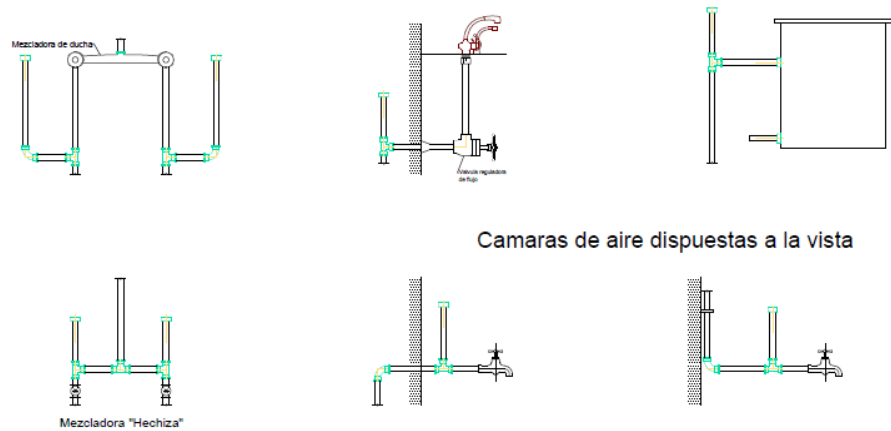
De acuerdo con el desarrollo presentado en el anexo 1, en tuberías de impulsión la sobrepresión es el doble de la altura de la tubería, H, ecuación (3) [Melguizo].

$$h' = 2H \quad (3)$$

De otra parte, para evitar daños en los aparatos – daños ocasionados por el golpe de ariete – se recomienda lo siguiente:

- Limitar la velocidad del agua en las tuberías, ver ecuación (1).
- Cuando la presión de diseño es mayor o igual a 10 m.c.a. se debe instalar una tubería vertical de longitud 30 cm [NTC 1500]; ver detalle de conexión en la figura 1. Se debe garantizar la presencia de aire en el tubo; el cual se instala directamente en la prolongación de la tubería de alimentación. Su uso está previsto en la alimentación de lavamanos, inodoros de tanque, inodoros de fluxómetro, cambios bruscos de dirección, tanques elevados con válvula de flotador, lavaplatos, lavaderos y duchas; El diámetro del tubo debe ser mínimo el de la tubería protegida, e idealmente el doble. El volumen debe ser del orden del 1% del volumen de la tubería protegida.

Figura 1. Instalación de cámaras de aire



Fuente: Melguizo Bermúdez [Melguizo]

- Instalar válvulas reductoras de presión, para dar un margen de holgura a la sobrepresión que se origina por el golpe de ariete.
- En equipos de bombeo, instalar cheques antigolpe de ariete, “cheque resortados”, que garantizan el cierre rápido y se mantienen cerrados mientras no haya flujo de agua en la tubería; además, su cierre no depende del retorno del agua [Melguizo].
- También es posible utilizar válvula anticipadora del golpe de ariete. La válvula anticipadora se abre cuando ocurre una caída de presión generada por la parada súbita de una bomba, desviando hacia el tanque el regreso de la onda de alta presión que se genera posteriormente en el sistema. Después, la válvula se cierra lentamente para evitar que se produzcan nuevas ondas transitorias de sobrepresión.

3.3 FRACCIONAMIENTO DE CAUDAL

En edificaciones de mediana y gran altura se utilizan bombas centrífugas para impulsar el agua desde el tanque bajo hacia un tanque elevado o hacia las instalaciones de consumo; en este último caso, con apoyo de equipo hidroneumático. Cuando se bombea directamente hacia las instalaciones de

consumo, es necesario planificar adecuadamente la operación de las bombas para que funcionen de forma eficiente y siguiendo las variaciones en el consumo de agua potable a lo largo del día. Dicho consumo depende de la cantidad de equipos que se estén utilizando simultáneamente en la edificación, el consumo por aparato, la presión disponible en cada punto de salida y del tipo de grifería que se haya conectado [Granados].

Teniendo en cuenta que en las edificaciones no se dispone de un operario que esté planificando y supervisando la operación de las bombas, es necesario que la planeación de la operación adecuada del sistema de bombeo quede establecida desde su diseño. Para ello, es posible recurrir al fraccionamiento de caudal en dos o tres unidades de bombeo; emplear equipo hidroneumático, o implementar métodos de control de la velocidad a la que operan las bombas – utilizando variadores de velocidad electrónicos. El objetivo es atender la demanda de agua potable, de forma eficiente. Esto es, con bajo consumo de energía, poco desgaste de equipos, bajos niveles de ruido, mínima afectación a los usuarios durante los mantenimientos y baja frecuencia en los ciclos de operación de las bombas [Granados].

Cuando se utiliza una única bomba para que opere sobre un relativamente amplio rango de caudales y presiones, normalmente se elige la bomba que pueda operar con el máximo caudal probable y con la máxima presión esperada; condiciones que se presentan sólo unos pocos instantes a lo largo del día. De esa forma, la bomba se sobredimensiona y, por tanto, trabajará ineficientemente gran parte del tiempo [Granados]. Dado que no se justifica mantener un equipo operando en puntos de baja eficiencia la mayor parte del tiempo, es necesario instalar dos o más bombas y fraccionar entre ellas el caudal máximo estimado.

Entonces, el fraccionamiento de caudal consiste en dimensionar cada bomba para una fracción del caudal total. Es decir, el caudal total se divide en dos o tres partes,

y para cada parte se calcula una bomba que debe suministrar dicho caudal; así, la potencia de cada bomba se obtiene para una determinada fracción del caudal total, pero para la cabeza dinámica total. De esa forma, las potencias de los motores y el tamaño de los aparatos de control pueden ser pequeños; facilitando establecer ciclos de operación que permitan seguir la demanda de agua potable diaria y ahorrar energía. La tabla 1 presenta el fraccionamiento recomendado en [Granados].

Tabla 1. Fraccionamiento de caudal recomendado en [Granados]

Tipo de Uso	Fraccionamiento [%]	
	Qtotal < 16 [l/s]	Qtotal 16 a 32 [l/s]
Apartamentos y oficinas	50/50	20/40/40
Hoteles	65/65	30/40/40
Colegios	50/50	20/40/40
Hospitales	70/70	30/70/70
Industrias	65/65	20/50/50
Municipios	70/70	20/50/50

Fuente: [Granados]

Por su parte, en la Tabla 2 se presenta el fraccionamiento recomendado en [Construdata].

Tabla 2. Fraccionamiento de caudal recomendado en [Construdata]

Tipo de Uso	Fraccionamiento [%]	
	Qtotal < 16 [l/s]	Qtotal 16 a 32 [l/s]
Apartamentos y oficinas	50/50	33/33/34
Hoteles	40/60	30/40/40
Colegios	30/70	20/40/40
Hospitales (a)	40/60	30/70/70
Hospitales (b)	40/60	50/50/50
Industrias	30/70	20/50/50
Municipios	40/60	20/50/50

Fuente: [Construdata]

Los datos presentados en las tablas 1 y 2, aunque coinciden en algunos valores, reflejan que no hay un criterio común para realizar el fraccionamiento de caudal. Teniendo en cuenta la aceptación que tiene el Construdata en el ámbito de la construcción, se propone incorporar la tabla 2 en la norma del amb.

3.4 VARIADOR DE VELOCIDAD ELECTRÓNICO

Los variadores de velocidad electrónicos son dispositivos que modulan la energía eléctrica que recibe el motor, logrando que éste experimente una variación en la frecuencia de la tensión de alimentación. Además, permiten controlar el arranque y la parada de los motores y pueden gestionar la operación de una o más bombas que funcionen en paralelo; entre otras funciones posibles [Monasca]. De esa forma, garantizan la aceleración y deceleración progresiva, permitiendo adaptar la velocidad a condiciones de caudal y presión favorables [Telesquemario].

El variador de velocidad es un dispositivo electrónico que cuenta con tres entradas y una salida. Una entrada permite su conexión a la fuente de alimentación trifásica, otra entrada está disponible para definir la referencia de velocidad y la tercera entrada permite encender o apagar el variador; la salida es trifásica y a ella se conecta el motor o los motores que se van a controlar. Internamente, el variador tiene tres etapas: el rectificador, el bus DC y el inversor.

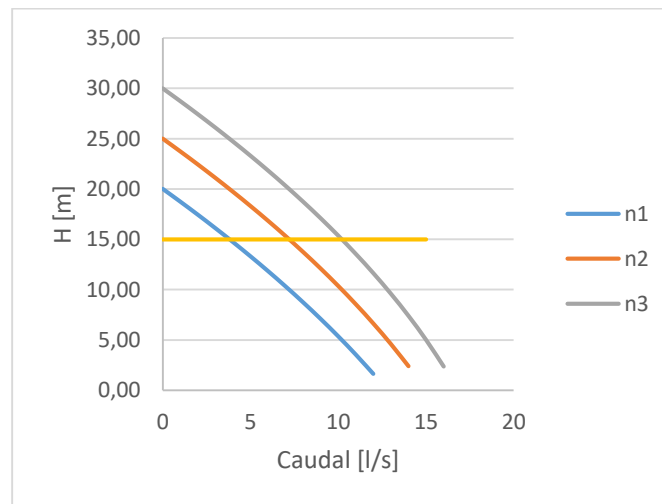
El rectificador convierte la señal trifásica de corriente alterna de entrada, que prácticamente es de frecuencia constante – 60 Hz en Colombia, a una señal de corriente continua. Es decir, toma la onda sinusoidal de entrada de cada fase y la rectifica pasando el semiciclo negativo a positivo. El bus DC elimina la pequeña ondulación que queda a la salida del rectificador, denominada rizado. Por su parte, el inversor genera una señal de pulsos positivos y negativos que el motor ve como una onda de corriente alterna de frecuencia determinada. Además de las tres fases mencionadas, el variador cuenta con un sistema de control electrónico que se

encarga de controlar el ancho y la amplitud de los pulsos; para que el motor vea una señal de frecuencia variable [Monasca].

Al controlar la frecuencia y el valor eficaz de la tensión de salida, el variador de velocidad puede gestionar el arranque y la parada del motor; logrando reducir las corrientes de arranque, controlando la velocidad de manera precisa y manteniendo un torque adecuado a las necesidades del sistema [Monasca]. Además, a lo largo del día el variador de velocidad permite ajustarse a las necesidades de caudal que impongan los usuarios del agua potable. Controlando la velocidad del motor se controla la velocidad de la bomba, con lo cual se puede sacar ventaja de las Leyes de Afinidad que aplican para las bombas centrífugas.

Según las Leyes de afinidad, la relación de caudales es igual a la relación de velocidades; la relación de presiones estáticas es igual al cuadrado de la relación de velocidades; y la relación de potencias absorbidas por el motor es igual al cubo de la relación de velocidades. Entonces, disminuyendo la velocidad se puede reducir el caudal, manteniendo la presión constante; ver figura 2.

Figura 2. Curvas H-Q en función de la velocidad



La selección del variador de velocidad electrónico se realiza con base en la tensión de la red y la potencia del motor. Para ello, se toma la potencia mayorada calculada para la bomba y se divide por 0,9; es decir, la potencia mayorada de la bomba se aumenta en un 11% [Telesquemario]. Con esa potencia y la tensión de alimentación del variador de velocidad, en volts, se elige el variador cuya potencia sea la inmediatamente mayor o igual a la calculada.

4. REVISIÓN DE PROYECTOS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS

En este capítulo se presenta el procedimiento que se sigue para la revisión de los proyectos hidráulicos presentados para aprobación del amb. El procedimiento está claramente establecido, lo cual facilitó la elaboración de una hoja de cálculo en Excel para verificar los valores presentados por el diseñador. El capítulo también contiene la explicación de lo se realiza antes y durante una visita de revisión de instalaciones hidráulicas ya construidas; presentando el registro fotográfico de una de las visitas realizadas.

4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN

Para solicitar la revisión de proyectos de instalaciones internas, a cargo del amb, es necesario tener aprobada la disponibilidad de servicio emitida por la empresa. Una vez verificado el cumplimiento de esta formalidad, se procede con la revisión del proyecto hidráulico; actividad que se divide en dos partes principales: 1) revisión de forma y contenido; y 2) revisión técnica. La primera parte corresponde a una revisión de forma, en la que se verifica que los proyectos contengan lo estipulado en el ámbito formal de contenido y descripción del proyecto. Cuando los proyectos no cumplen con lo allí estipulado, se devuelven por documentos; sin que se requiera la revisión técnica.

Una vez superada satisfactoriamente la revisión de forma, se procede a la revisión técnica; teniendo en cuenta las normas del código colombiano de fontanería NTC-1500, el RAS 2000 y la norma del acueducto metropolitano de Bucaramanga. En la revisión técnica, lo primero que se revisa son las generalidades del proyecto; espacio en el que el diseñador describe presenta: la localización, el número de viviendas, el número de pisos, el uso de la edificación, el punto de empalme, el tipo de suministro, el sistema de presión constante, el bombeo, la existencia o no de

variadores de velocidad, etc. Esa información permite al ingeniero revisor dimensionar lo que será la composición del proyecto a revisar.

Posteriormente, se revisa el diseño de las instalaciones hidráulicas; es decir, se verifican los cálculos y resultados presentados por el diseñador – teniendo en cuenta los parámetros establecidos en las normas anteriormente mencionadas. Para la práctica objeto de este informe, esta actividad se realizó con la ayuda de una herramienta de cálculo desarrollada en Excel por la autora.

En términos generales, para la revisión del diseño de las instalaciones hidráulicas se procede en el siguiente orden:

- El volumen de almacenamiento para la edificación, ya sea tanque subterráneo o tanque alto - tanque bajo, que debe tener un almacenamiento mínimo para el consumo de un día. De forma independiente, deberá proveerse el volumen de almacenamiento contra incendios. Cuando la instalación interna dispone de un sistema hidroneumático o de equipo de presión constante, no se exige el tanque elevado.
- Dimensiones de los tanques o del tanque, según edificación.
- El diseño del equipo hidroneumático, si se contempla en el diseño. Debe contener el cálculo de la presión mínima de encendido (presión requerida para el correcto funcionamiento de los equipos sanitarios), la presión de apagado (20 psi mayor a la de encendido) y el volumen del tanque hidroacumulador.
- Diámetro de la acometida, pérdidas en la acometida, cálculo del diámetro y pérdidas para el medidor general y para los medidores locales
- Conteo y sumatoria de las unidades de gasto por vivienda, apartamento, local, por torre, montante o bajante. Este valor se requiere para el cálculo del caudal de bombeo por el método de unidades de gasto de “Hunter modificado”.
- Cálculos realizados para el bombeo de consumo, que incluyen la presión mínima en la salida de la bomba; la altura dinámica total de bombeo, que incluye las

pérdidas por succión e impulsión; las respectivas restricciones de succión e impulsión, según el RAS 2000; la potencia teórica de la bomba; la altura máxima de succión (AMS); y la NPSH.

- Diseño de montante y bajante, debe coincidir en memorias y planos.
- Diseño de la red interior en los pisos – verificando que cumpla con lo estipulado en la NTC 1500 y que sea suficiente para abastecer el aparato crítico.
- Se revisa que lo mencionado y calculado en memorias, coincida con lo mostrado en planos.

4.2 VISITA DE REVISIÓN EN CONSTRUCCIONES

Después que el urbanizador a acordado la fecha y hora de la visita con el departamento de disponibilidades e instalaciones del acueducto metropolitano de Bucaramanga, el ingeniero a cargo revisa las memorias de cálculo y los planos del proyecto; con el fin de familiarizarse con lo que éste debe contener. También se verifica que la bomba escogida por el diseñador cumpla con los requerimientos del proyecto; esto teniendo en cuenta que la revisión del proyecto hidráulico no incluye la selección de las bombas a utilizar.

Una vez en la visita, se procede a revisar las instalaciones hidráulicas (tuberías y uniones); la configuración física del cuarto de bombas – ubicación y accesibilidad; los equipos de bombeo – realizando una prueba de encendido y apagado de las bombas y verificando su calibración; el buen funcionamiento del equipo de variadores de velocidad – en caso que se tenga; la ubicación, limpieza, presencia de flotador y ventilación en el tanque de almacenamiento; así como la existencia del candado de seguridad. También se revisan los medidores, tanto el general como los locales, y las cajas de los medidores; así como las válvulas ventosas mostradas en las memorias del proyecto. En la figura 3 se muestra el registro fotográfico de una de las visitas realizadas.

Figura 3. Registro fotográfico de una de las visitas realizadas



Válvula ventosa



Medidor General



Tanque bajo



Ubicación tanque bajo



Bypass



Medidor local



Variador de velocidad



Tanques hidroneumáticos



Bombas

Además, dependiendo de los requerimientos y contenidos del proyecto, se hacen las pruebas y comprobaciones que se consideren pertinentes. En ese orden de ideas, junto con el estudio de los proyectos y la visita de revisión, para que el acueducto metropolitano apruebe el servicio de suministro de agua potable a las edificaciones o urbanizaciones, se deben realizar pruebas de desinfección de las

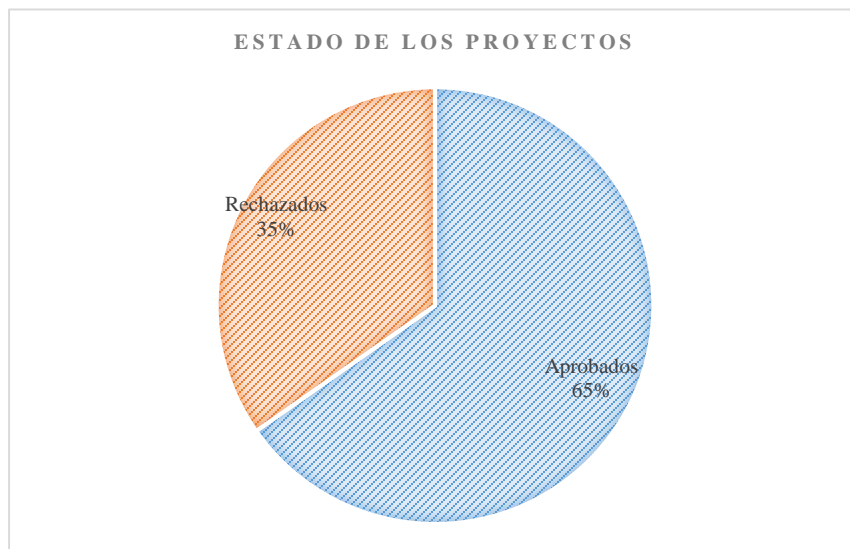
tuberías y pruebas hidráulicas. Las pruebas hidráulicas son un requerimiento indispensable para que el acueducto metropolitano de Bucaramanga apruebe las instalaciones de las edificaciones o urbanizaciones, y pasen a ser parte del catastro de redes de distribución de la ciudad.

Por su parte, las pruebas de desinfección permiten determinar si las redes de distribución de agua potable se encuentran libres de bacterias u otros elementos contaminantes antes de entrar en servicio. La desinfección se realiza utilizando compuestos clorados, con concentración mínima de 50 ppm de cloro en agua, y la duración mínima de la prueba es 24 horas. Al final de la prueba, se toma una muestra de agua y se hace un drenaje total del agua de lavado. Este proceso se debe repetir si al final de las 24 horas, el cloro residual en el agua es inferior a 5 ppm.

5. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE PROYECTOS REALIZADA

Durante la práctica empresarial en el acueducto metropolitano de Bucaramanga, iniciada el 22 de febrero de 2016 y con una duración de 4 meses, se revisaron en total 95 proyectos; de los cuales 62 fueron aprobados y 33 rechazados, ver Figura 4.

Figura 4. Proyectos aprobados y rechazados



Para efectos de análisis de los resultados presentados, es importante clasificar las edificaciones según su altura. En ese sentido, se distinguen tres categorías: Edificaciones de baja altura, edificaciones de mediana altura y edificaciones de gran altura. La definición de cada una de esas categorías se presenta a continuación:

EDIFICACIONES DE BAJA ALTURA: Edificaciones menores de 3 pisos, 7.5 metros de altura aproximadamente. En estas edificaciones se suministra agua directamente desde la red de distribución, hasta uno o varios tanques altos ubicados de tal forma que se obtenga en el aparato crítico una presión de funcionamiento adecuada.

EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA: Edificaciones menores de 20 pisos, 50 metros de altura aproximadamente. En estas edificaciones se suministra agua desde la red de distribución hasta un tanque subterráneo y desde allí hasta un tanque alto, usando un sistema de bombeo. También es posible distribuir del tanque bajo a los apartamentos, empleando equipos hidroneumáticos. En todo caso, se requiere que el aparato crítico tenga una presión de funcionamiento adecuada.

EDIFICACIONES DE GRAN ALTURA: Edificaciones de más de 20 pisos, altura superior a 50 metros. En estas edificaciones se suministra agua desde la red de distribución hasta un tanque subterráneo y desde allí hasta tanques ubicados estratégicamente, de acuerdo con una zonificación del edificio; para ello, se requiere un sistema de bombeo. Es posible utilizar válvulas reguladoras de presión en sitios estratégicos, con la finalidad de no sobrepasar la presión interna máxima de 55 m.c.a.

De acuerdo con las tres categorías presentadas, en la Tabla 3 se observa que la mayoría de los proyectos revisados correspondieron a edificaciones de mediana altura, 87 edificaciones, mientras que sólo fueron 4 los proyectos de edificaciones de gran altura y los de baja altura.

Tabla 3. Cantidad de proyectos revisados, según la altura de la edificación

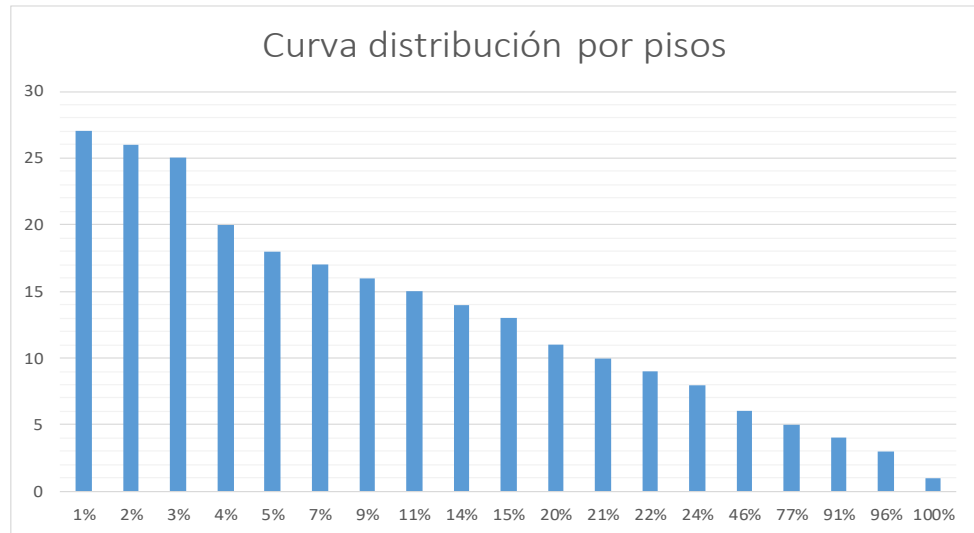
Altura	Cantidad
Baja altura	4
Mediana altura	87
Gran altura	4

Como se puede ver en la Figura 5, y teniendo en cuenta la categoría de edificación según su altura, en el tiempo de realización de este estudio el 96% de los proyectos

revisados se clasifican en las categorías de mediana y gran altura. Además, el 4% correspondían a edificaciones mayores de 20 pisos.

Figura 5. Distribución por pisos de los proyectos revisados

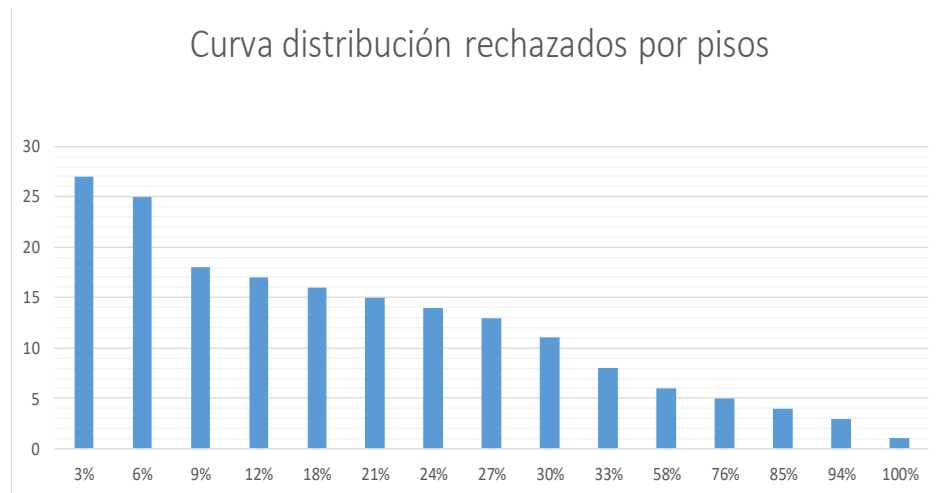
%	# pisos
1%	27
2%	26
3%	25
4%	20
5%	18
7%	17
9%	16
11%	15
14%	14
15%	13
20%	11
21%	10
22%	9
24%	8
46%	6
77%	5
91%	4
96%	3
100%	1



La Figura 6 presenta la distribución de los proyectos rechazados teniendo en cuenta el número de pisos. De ella se puede destacar que aproximadamente el 6% de los proyectos rechazados fueron de gran altura y el 88% de mediana altura.

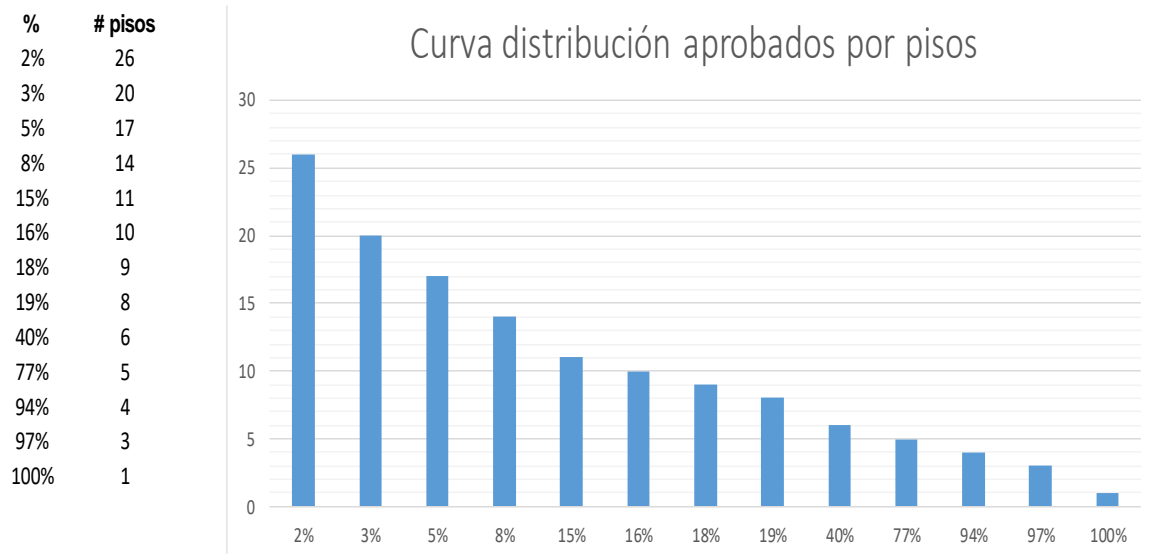
Figura 6. Distribución por pisos de los proyectos rechazados

%	# pisos
3%	27
6%	25
9%	18
12%	17
18%	16
21%	15
24%	14
27%	13
30%	11
33%	8
58%	6
76%	5
85%	4
94%	3
100%	1



En la Figura 7 se presenta la distribución de los proyectos aceptados, teniendo en cuenta el número de pisos. De la Figura 7 se puede destacar que cerca del 3% de los proyectos aceptados fueron de gran altura y el 94% de mediana altura.

Figura 7. Distribución por pisos de los aprobados



De lo analizado anteriormente, a partir de la información presentada en las Figuras 6 y 7, y consultando la experiencia de los profesionales encargados del tema en el amb, se concluye que el tamaño de la edificación no es un factor que incide en la aceptación o rechazo de los proyectos. Por tanto, es importante analizar las causas de rechazo de los proyectos. A continuación, se presentan las causas de rechazo detectadas durante la realización de la práctica.

- De las causas se puede observar que la mayoría de errores detectados en los proyectos entregados al acueducto metropolitano de Bucaramanga, en el tiempo del estudio, fueron debidos a descuido de los ingenieros, errores conceptuales y errores de cálculo. En la Figura 8 se muestra el porcentaje de incidencia por causa.

Causa

- 1 Error en sumergencia mínima.
- 2 Hotel: no presentó válvulas en los ramales de cada piso.
- 3 Error en la potencia.
- 4 No cumple la velocidad mínima de succión.
- 5 Error en el cálculo de la montante.
- 6 No presentó válvula anticipadora de golpe de ariete.
- 7 Error en el cálculo de la altura dinámica de bombeo.
- 8 Error en la acometida.
- 9 Error en el tiempo de llenado del tanque de almacenamiento.
- 10 Error en el cálculo de la red exterior.
- 11 Faltó información en los planos.
- 12 Error en el cálculo de la succión.
- 13 Error en la dotación de consumo.
- 14 Presiones mayores a la máxima permitida en redes interiores (55 m.c.a.).
- 15 No presentó volumen de incendio.
- 16 Error en el valor del coeficiente de fricción.
- 17 Error en longitudes equivalentes de los accesorios.
- 18 Error en el cálculo del volumen del hidroneumático.
- 19 Error en el valor del caudal nominal.
- 20 Faltó información necesaria para la revisión de los proyectos (memorias).
- 21 Error en las unidades de gasto.
- 22 Error en cálculo de medidores.
- 23 Error en concordancia entre lo mencionado y calculado en memorias, con lo mostrado en planos.

Figura 8. Porcentaje de incidencia por causas de rechazo



De la Figura 8 se deduce que:

- El 36% de rechazos se debió a descuido, con un 17% por discrepancias entre planos y memorias; 3% por no presentar válvula anticipadora de golpe de ariete; 1% por no presentar válvulas en los ramales por piso de los hoteles; 4% por no presentar volumen de incendio; 3% por falta de información en planos; y 8% por falta de información en memorias.
- El 36 % de rechazos se debió a errores conceptuales, con un 1% por sumergencia mínima; 1% por velocidad mínima en la succión; 3% por el tiempo de llenado del tanque de almacenamiento; 4% por presiones mayores a las permitidas en redes interiores; 5% por error en el cálculo de las longitudes equivalentes en los accesorios; 8% por errores en las unidades de gasto; 4% por errores de dotación de consumo; 4% por el coeficiente de fricción; y 6% por errores en la toma del caudal nominal para el cálculo de las pérdidas en los medidores.
- El 44 % de rechazos se debió a errores de cálculo en medidores, acometida, red exterior, potencia de la bomba, montante, altura dinámica de bombeo, succión y volumen del hidroneumático.

6. CONCLUSIONES

- Aunque la mayoría de los errores que cometen los ingenieros diseñadores de instalaciones hidráulicas se clasifican como errores conceptuales, una parte importante de causas de rechazo se debe a desconocimiento de las exigencias establecidas por el amb; evidenciando la necesidad de una campaña de divulgación de tales exigencias.

- El golpe de ariete es un fenómeno físico ampliamente conocido y tenido en cuenta en el diseño de centrales hidráulicas y sistemas de acueducto, pero no considerado en detalle para las instalaciones hidráulicas en edificaciones. En el área metropolitana de Bucaramanga su consideración se ha limitado a la instalación de válvulas anticipadores de sobre-presión y cheques a las salidas de las bombas. Tomando uno de los proyectos revisados, para una edificación de 20 pisos, se determinó que un tramo de tubería de RDE 21 alcanza a estar sometido a presiones por encima de la presión de trabajo dada por el fabricante. Entonces, si el fenómeno se presenta con frecuencia, puede llegar el momento en el que falle. No obstante, para plantear conclusiones definitivas es necesario realizar estudios que combinen la medición en terreno con análisis por simulación del fenómeno.

- Si bien es cierto que las construcciones de gran volumen implican mayores exigencias técnicas en la consideración de cómo atender la demanda de los usuarios, que es variable a lo largo del día, también es cierto que hay grandes avances en la tecnología de los semiconductores y eso ha permitido desarrollar variadores de velocidad que se ajustan a una gran variedad de necesidades. Por tanto, la combinación del fraccionamiento de caudal con el control de velocidad de las bombas, que se puede realizar a través de los variadores de velocidad electrónicos, permite alcanzar mayores eficiencias en los sistemas de bombeo. Además, los cálculos son relativamente sencillos y la oferta actual de variadores de velocidad es amplia.

- De otra parte, el trabajo permitió presentar una propuesta de actualización de la norma del amb. Dicha propuesta se elaboró modificando y complementando la norma existente. En ese sentido, se incluyeron ilustraciones sobre cómo debe ser la acometida y la instalación del medidor general. También especificaciones técnicas y caudal de operación de medidores clase B; junto con una expresión para calcular las pérdidas de presión en el medidor.

Con mayor detalle se determinaron expresiones para calcular el caudal probable por el método de unidades de gasto de "Hunter modificado"; se incluyeron expresiones para determinar pérdidas de energía por fricción para tuberías y accesorios; volumen del tanque contra incendios; expresiones para el cálculo del golpe de ariete; tabla de fraccionamiento de caudal; y selección del variador de velocidad electrónico.

BIBLIOGRAFÍA

Ahorro de energía en sistemas de bombas centrífugas [en línea]. [Consulta: 23 de septiembre de 2016]. Disponible en:

<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/bombas.pdf>

Bombas [en línea]. [Consulta: 15 de octubre de 2016]. Disponible en:

<http://www.construdata.com/bancoconocimiento/b/bombas/bombas02.htm>

BRICKLEY, Mark, et al. *Como se eleva el agua potable en un rascacielos* [en línea]. [Consulta: 20 de septiembre de 2016]. Disponible en:

<http://www.sistemasdebombeo.mx/documents/publicaciones/Como%20se%20eleva%20el%20agua%20potable%20en%20un%20rascacielos%20DIC.pdf>

Equipos de bombeo para agua en casas, edificios, hoteles, restaurantes y condominios [en línea]. [Consulta: 16 de octubre de 2016]. Disponible en:

http://www.hidrostral-peru.com/images_turbinas/folleto-equipos-bombeo-casas.pdf

Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable [en línea]. Lima, 2005. [Consulta: 16 de octubre de 2016]. Disponible en:

http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/quialcalde/2sas/d23/023_Disenio_estaciones_bombeo/Diseño%20estación%20de%20bombeo.pdf

GRANADOS Robayo, Jorge Armando. *Experimentación y análisis de redes hidráulicas en edificaciones* [en línea]. Brasil: 5 a 7 de junio de 2006. [Consulta: 20 de septiembre de 2016]. Disponible en:

[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoE%20\(3\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoE%20(3).pdf)

Manual electrotécnico telesquemario [en línea]. [Consulta: 1 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://roble.pntic.mec.es/jcat0021/Archivos%20para%20descargar/telesquemario.pdf>

Manual técnico tubosistemas presión PVC [en línea]. [Consulta: 10 de octubre de 2016]. Disponible en: <file:///C:/Users/Isabel%20Latorre/Downloads/MANUAL%20PRESION%20BAJA.pdf>

MELGUIZO Bermudez, Samuel (1980) *Fundamentos de hidráulica e instalaciones de abasto en las edificaciones*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

MONASCA, Lorenzo [lorenzo Monasca]. (2015, noviembre 26). *Curso variadores abb para Bombas de Presion Constante* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=lfA93U7wgZU>

Normas para diseño y construcción de redes de acueducto. Acueducto metropolitano de bucaramanga amb s.a. esp. gerencia de operaciones división distribución. Bucaramanga, junio de 2015.

Norma técnica colombiana NTC 1500 Código Colombiano de Fontanería. Bogotá Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC 2004

PÉREZ Carmona, Rafael (2015): *Instalaciones hidrosanitarias, de gas y de aprovechamiento de aguas lluvias en edificaciones*. Séptima edición. Bogotá: ECOE.

Project Management Institute, "A Guide To The Project Management Body Of Knowledge (PMBOK Guides)", 5a. edición.

Variadores de velocidad altivar 21 [en línea], 2007. [Consulta: 20 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/automatizacion-control/documentos/catalogo-altivar21-2007.pdf>