



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**  
**San José, Costa Rica**  
**Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-5246. [aumana@aya.go.cr](mailto:aumana@aya.go.cr)**

**MEMORANDO**

**PARA:** Oscar Izquierdo Sandí  
**Cooperación y Asuntos Internacionales**

**FECHA:** 27 de octubre del 2017

**DE:** Allan Umaña Ortiz  
**UEN Programación y Control**

**No. UEN-PC-2017-02152**

**ASUNTO: Entrega de Informe de Taller PAM - Brazil 2017**

En referencia al oficio No. UEN-PC-2017-01620, en el cual se comunica a la Presidencia Ejecutiva el grupo de tres funcionarios de la UEN Programación y Control Área de Diseño, que asistieron a la visita técnica mediante invitación extendida por la Empresa Pam- Saint Gobain de Brasil, contándose con la debida aprobación de la Presidenta Ejecutiva y de la Dirección de la UEN Programación y Control, tal y como lo hace constar las respectivas firmas en el documento.

De la manera más atenta entregamos este informe, el cual incluye una recopilación de temas aprendidos durante el taller, esperamos que sea de enriquecimiento intelectual para nuestra Institución.

Se adjunta

- Informe de Visita
- CD con software, presentaciones e informe digital. Incluir texto, dejar un espacio en blanco cuando hay punto y aparte. Incluir el logotipo oficial de AyA.

C: Yamileth Astorga Espeleta, Presidencia Ejecutiva  
Rodhe Baez Espinoza, Cooperación y Asuntos Internacionales  
Saul Gerardo Trejos Bastos, UEN Programación y Control  
Gerardo Rivas Rivas, UEN Programación y Control  
Eduardo Tencio Avendaño, UEN Programación y Control  
Oscar José Cabezas Herrera, UEN Programación y Control  
Archivo





**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y  
ALCANTARILLADOS**

**DEPENDENCIA: PROGRAMACIÓN Y CONTROL**

**INFORME DE VIAJE AL EXTERIOR  
DEL 25 DE SETIEMBRE AL 29 DE SETIEMBRE DE 2017**

*Módulo Américas: “Visita de reconocimiento del proceso de fabricación e intercambio de conocimientos de diseño de tuberías de Hierro Dúctil de la Empresa Saint Gobain – Pam, Brasil”*

*fecha: 27 de octubre de 2017*



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y  
ALCANTARILLADOS**

**DEPENDENCIA: PROGRAMACIÓN Y CONTROL**

**INFORME DE VIAJE AL EXTERIOR  
DEL 25 DE SETIEMBRE AL 29 DE SETIEMBRE DE 2017**

*Módulo Américas: “Visita de reconocimiento del proceso de fabricación e intercambio de conocimientos de diseño de tuberías de Hierro Dúctil de la Empresa Saint Gobain – Pam, Brasil”*

*fecha: 27 de octubre de 2017*



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y  
ALCANTARILLADOS**

**Informe de Participación.**

**Visita de reconocimiento del proceso de fabricación e intercambio de  
conocimientos de diseño de tuberías de Hierro Dúctil de la**

**Empresa Saint Gobain — Pam, Brasil**

En referencia al oficio No. UEN-PC-2017-01620, en el cual se comunica a la Presidencia Ejecutiva el grupo de tres funcionarios de la UEN Programación y Control Área de Diseño, que asistieron a la visita técnica mediante invitación extendida por la Empresa Pam- Saint Gobain de Brasil, contándose con la debida aprobación de la Presidenta Ejecutiva y de la Dirección de la UEN Programación y Control, tal y como lo hace constar las respectivas firmas en el documento.

De la manera más atenta entregamos este informe, el cual incluye una recopilación de temas aprendidos durante el taller, esperamos que sea de enriquecimiento intelectual para nuestra Institución.

*Ing. Oscar Cabezas Herrera*

Cédula 4-0194-0202

Firma

*Ing. Eduardo Tencio Avendaño*

Cédula 3-320-921

Firma

*Ing. Allan A. Umaña Ortiz*

Cédula 114690617

Firma

## Tabla de contenido

Ficha informativa.....	4
Introducción .....	4
Objetivos .....	5
Desarrollo del Informe .....	5
Desarrollo de la Agenda: Sesiones (Diarias).....	9
Turbogeneradores.....	9
Nociones En Transitorios Hidráulicos (Th).....	16
Software De Diseños – Ductilcad 2D y 3D;.....	23
Pam Proyectos.....	23
Construcción Civil: -Bloques de Anclajes versus Tubería Acerrojada-.....	29
Válvulas.....	38
Metodología BIM.....	50
Visitas realizadas .....	53
Proceso de producción de tuberías de hierro dúctil.....	53
Conclusiones /Recomendaciones .....	64
Anexos.....	64

## Ficha informativa

- País y ciudad visitado: Barra Mansa, Rio de Janeiro, Brasil.
- Fecha de la visita: del 25 de setiembre al 28 de setiembre
- Funcionario(s) de misión AyA:
  - Oscar Cabezas Herrera
  - Allan Umaña Ortiz
  - Eduardo Tencio Avendaño
- Motivo del viaje: Asistir a la Academia PAM en Brasil para recibir nuevos conocimientos en el diseño de acueductos con tuberías de hierro dúctil, e intercambiar experiencias de diseño y operación con profesionales de distintos países de América Latina.
- Contacto en el lugar de misión: Nathalia de Carvalho Duarte.  
Nathalia.Duarte@saint-gobain.com

## Introducción

Entre el 25 de setiembre y el 28 de setiembre los funcionarios supracitados asistieron a un taller destinado a informar a diseñadores de sistemas hidráulicos sobre las últimas tendencias en diseño y accesorios en la gama de hierro dúctil. El taller se realizó en la Academia PAM de la Empresa PAM- Saint Gobain, en Barra Mansa Brasil. A la actividad asistieron profesionales de distintos países de América Latina encargados del diseño y operación de sistemas de agua potable y saneamiento, quienes mediante preguntas y comentarios intercambiaron sus experiencias y dudas sobre problemas que comúnmente enfrentan en sus actividades cotidianas. Las charlas estuvieron a cargo de profesionales de la misma empresa PAM y consultores externos para tratar temas más específicos y técnicos como Francisco Veiga ingeniero mecánico encargado de exponer el tema de los transitorios hidráulicos y Jaime de Castro Neto que introdujo el tema de la Metodología informática BIM que busca realizar representaciones gráficas de los sistemas hidráulicos con gran realismo y amplio contenido de información.

Las charlas se complementaron con dos visitas al proceso productivo de las tuberías y zonas de prueba y verificación de la calidad, con el fin de establecer un vínculo estrecho entre las propiedades físicas y mecánicas de las tuberías de hierro dúctil y su interacción con las condiciones especiales y agrestes del medio ambiente. La visita a los laboratorios de calidad y patios de pruebas mecánicas, permitió discernir con claridad los límites de aplicabilidad de las tuberías, y

constatar el comportamiento de estas a las condiciones extremas que fueron llevadas las tuberías.

Finalmente se conoció toda la gama de accesorios que fabrica la empresa PAM, cabe destacar que esta empresa se dedica intensivamente a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, por lo tanto, se pudo verificar algunos productos particulares destinado a resolver problemas específicos, que pueden ser de gran utilidad para aplicarse en los sistemas diseñados para Costa Rica

## Objetivos

- General:

La transferencia de información sobre nuevas tecnologías en tuberías, accesorios y válvulas de hierro dúctil.

- Específicos:

Conocer características específicas de las tuberías de hierro dúctil, asociadas al tipo de material, comportamiento mecánico, hidráulico y de instalación.

Conocer las últimas tendencias de diseño empleadas en la utilización de tuberías de hierro dúctil.

Conocer experiencias y lecciones aprendidas de colegas internacionales que se han enfrentado a múltiples problemas en el desarrollo de sus actividades ingenieriles

## Desarrollo del Informe

- Antecedentes
- Agenda de la actividad

*PAM ACADEMIA*

*Módulo Américas*

*GTC - Gerencia Técnica Comercial*

*Programación*

*Día 25/09/2017 – Lunes*

*08:00h – Salida de Oficina Saint-Gobain - Rio de Janeiro*

*11:30h – Llegada a la Usina Saint-Gobain - Barra Mansa*

12:00h – *Coffee Break*

12:30h – *Apertura*

*El Grupo Saint Gobain;*

*Características del Hierro Fundido Dúctil;*

*Productos, Servicios y Mercados de actuación;*

14:15h – *Almuerzo*

15:15h – *Presentación – Tema: Desarrollo de Productos*

*Centro de Investigación y Desarrollo;*

*Líneas en Desarrollo (productos y softwares);*

15:45h – *Presentación – Tema: Productos PAMEX – Rafael Penaloza – México*

16:15h – *Presentación – Tema: Productos PAMEX – Christian Gutierrez – Perú*

17:15h – *Presentación – Tema: Turbogeneradores (microturbinas) – Alexander Contreras – Colombia*

18:00h – *Cierre del primer día y regreso al Hotel*

*Día 26/09/2017 – Martes*

07:30h – *Salida del hotel con destino a la Usina*

08:00h – *Presentación – Tema: Nociones en Transitorios Hidráulicos*

10:15h – *Coffee Break*

10:45h – *Presentación – Tema: Nociones en Transitorios Hidráulicos*

12:10h – *Discusión: Transitorios Hidráulicos*

13:00h – *Almuerzo*

14:00h – *Medidas de Seguridad y Distribución de EPIs*

14:15h – *Visita al proceso productivo y laboratorios*

*Metal: Ensayos de tracción, Estiramiento, dureza, análisis químico y metalografía;*

*Elastómeros: Ensayos de estiramiento y envejecimiento;*

*Revestimientos: Ensayos de mortero de revestimiento y hoja de Millar;*

*Trazabilidad;*

*Prueba hidráulica;*

16:30h – *Cierre del segundo día y regreso al Hotel*

19h30 – *Cena de Integración (Punto de encuentro y salida en la recepción del hotel)*

*Día 27/09/2017 – Miércoles*

07:30h – Salida del hotel con destino a la Usina

08:00h – Presentación – Tema: Diferencial Saint Gobain

PAMcad – Estudio de Tramo;

Estudio Cuesto Global;

Case;

08:45h – Presentación – Tema: Softwares Disponibles para Download

Software de Diseños – DuctilCad 2 e 3D; PAM Proyectos;

Case;

09:30h – Presentación – Tema: Construcción Civil

Asentamiento aéreo con bloques, durmientes, pilares de hormigón;

Asentamiento enterrados;

Sistemas de anclajes;

Descargas y ventosas;

Instalaciones especiales;

10:15h – Coffee Break

10:45h – Presentación – Tema: Instalación, Montaje y Pruebas de Estanqueidad

Tubería, Conexiones y Válvulas;

Juntas JGS, JTI, JTE, JM, Bridadas, Blutop y Klikso;

Anillos de Goma EPDM, NBR y ABMF;

Pruebas de Estanqueidad;

11:30h - Presentación – Tema: Mantenimiento de Tuberías y Conexiones

Tuberías enterradas;

Tuberías aéreas;

Tuberías en caños camisa;

12:15h – Presentación – Tema: PAM Servicios

Entrenamiento de equipos para montaje de los materiales;

Acompañamiento parcial y integral durante la instalación;

Acompañamiento do pruebas de estanqueidad y Geofonia;

Estudio del Potencial Corrosivo del Suelo;

Mantenimiento de Válvulas y Compuertas;

*Asistencia técnica permanente;*

*13:00h – Presentación – Tema: Tapas y Rejas*

*14:00h – Almuerzo*

*15:00h – Medidas de Seguridad y Distribución de EPIs*

*15:15h – Visita Estand de Demonstración*

*Montaje de las juntas, corte del caño y bevel, reparos en los revestimientos, cordón de soldadura, aplicación de la manta de polietileno, simulación de Transitorios Hidráulico y Sistema EPAMS;*

*17:00h – Cierre del tercer día y regreso al Hotel*

*Día 28/09/2017 – Jueves*

*07:30h – Salida del hotel con destino a la Usina*

*08:00h – Presentación – Tema: Línea Predial (Sistemas y Aplicaciones)*

*Montaje de la Línea SMU;*

*09:00h – Presentación – Tema: Válvulas*

*10:30h – Coffee Break*

*11:00h – Presentación – Tema: Revit – Jaime de Castro Neto - Conen*

*11:45h – Presentación – Tema: Calidad Saint-Gobain Canalização*

*13:00h – Presentación – Tema: Certificación de Calidad – Alexander Contreras – Colombia*

*14:00h – Almuerzo*

*15:00h – Presentación – Tema: Logística*

*16:00h – Reunión de Cierre con Director General*

*16:30h – Coffee Break*

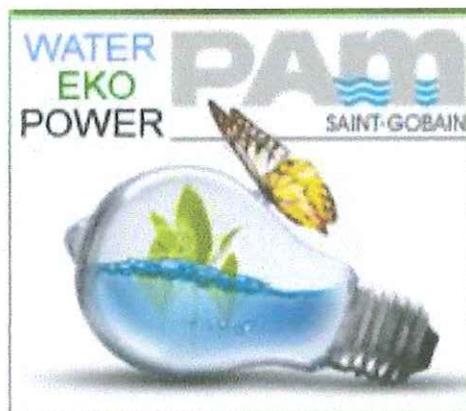
*17:00h – Regreso al Rio de Janeiro*

*20h00 – Llegada estimada Rio de Janeiro*

## Desarrollo de la Agenda: Sesiones (Diarias)

*Día 25/09/2017 – Lunes*

### Turbogeneradores



Uno de los problemas comunes a que se enfrenta el departamento de diseño de la UEN Programación y Control, es el de tener una fuente de electricidad apta para alimentar los equipos electromecánicos que es necesario instalar en las zonas de tanques y estaciones de bombeo. Es común que estas obras se desarrollen en lugares remotos de difícil acceso, en donde no existen servicios eléctricos, lo que implica que para poder energizar el proyecto se tenga que realizar obras onerosas de tendidos eléctricos que se extienden por kilómetros.

Existe una solución técnica muy novedosa que permite solucionar estos problemas y a la vez ofrecer ventajas adicionales como el control de altas presiones y eventualmente la generación de energía eléctrica a niveles rentables para el abastecimiento de la red pública, estos dispositivos se llaman "turbogeneradores".

La idea de utilizar turbogeneradores concuerda con los objetivos y visión futura que el país tiene de conformarse en un país de energías verdes, no está demás, que, si el agua se canaliza desde su lugar de origen, hasta el lugar de servicio

para proporcionar bienestar y salud, agregue un componente adicional que sería la contribución al medioambiente con la generación de energía limpia.

## 1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El turbogenerador aprovecha la energía potencial ( $H1-H2$ ) existente entre dos puntos topográficos ver figura:1, transformando la energía mecánica en energía eléctrica a través del turbogenerador.

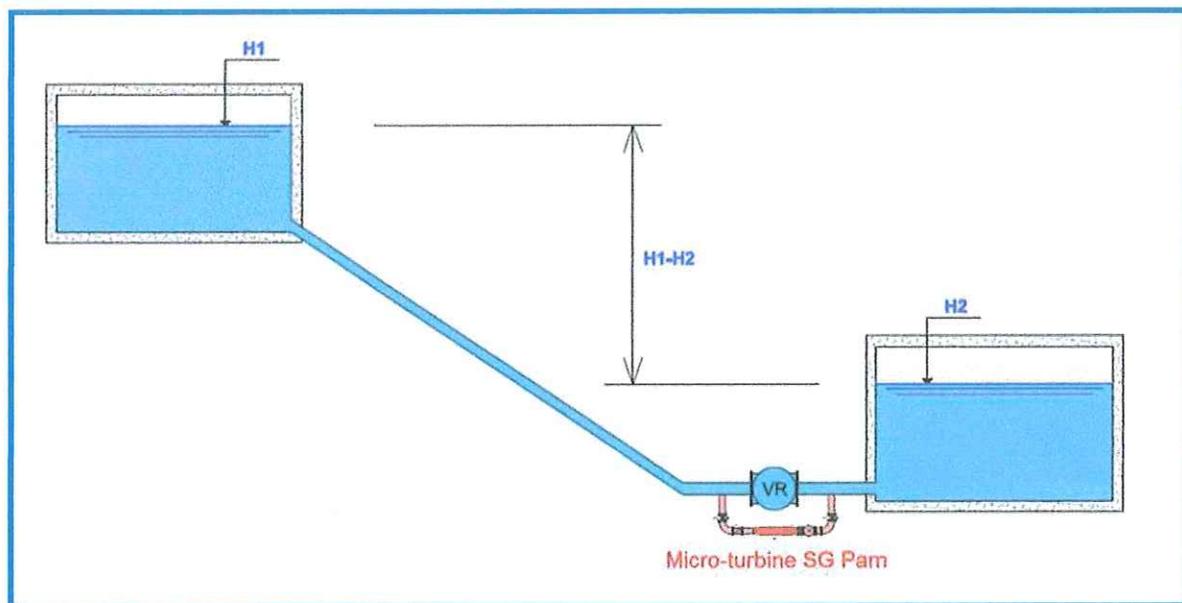


Figura 1. Energía potencial disponible entre dos posiciones.

Es un principio muy sencillo y que comúnmente se encuentra en los sistemas desarrollados por AyA. Actualmente esta diferencia de presión se controla mediante válvulas reductoras de presión, que generan una gran pérdida de carga, con el consecuente riesgo que se genere cavitación en la válvula y por ende el deterioro acelerado de esta, pero el tema principal es que, por este esfuerzo de reducir la presión, no se está recibiendo ningún beneficio adicional, como lo es una fuente de energía limpia.

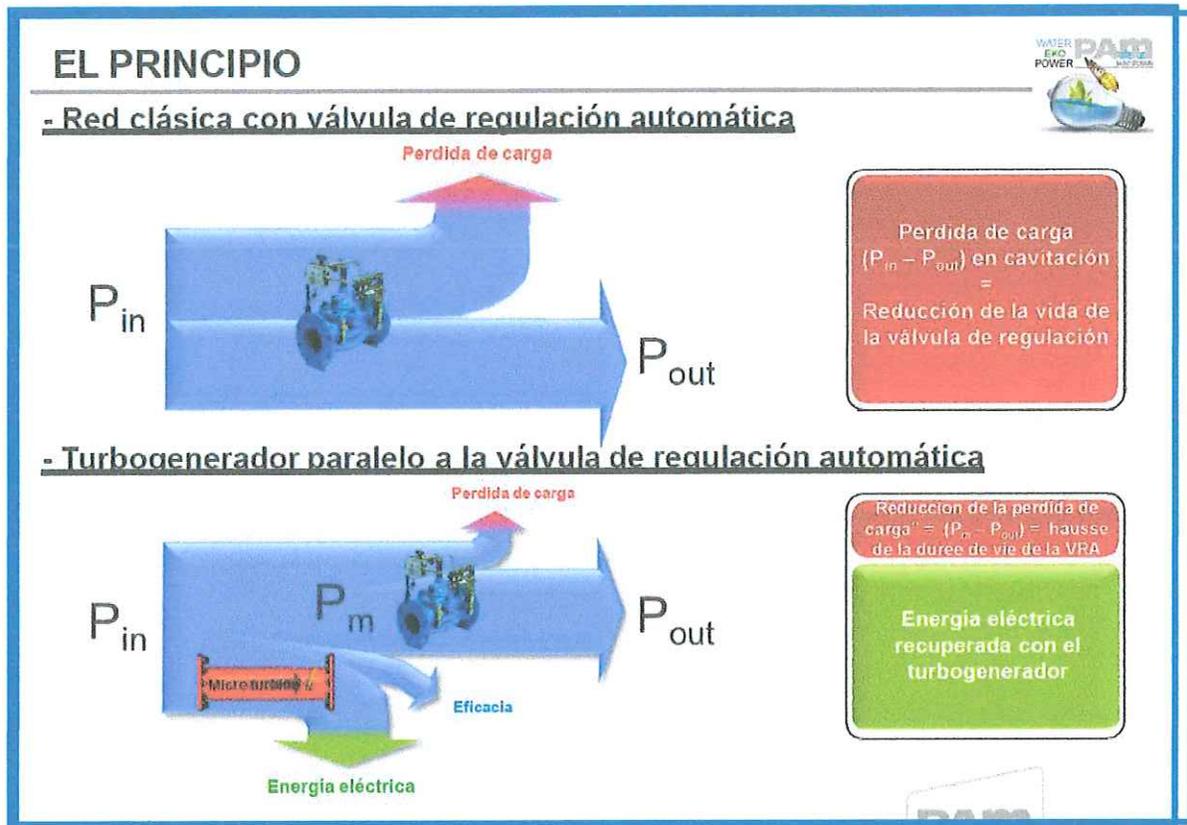


Figura 2. Comparación entre un sistema con y sin turbogenerador

Los dispositivos a diferencia de las turbinas generadoras se colocan en línea con la tubería, por lo que ocupan muy poco espacio, permitiendo inclusive que se modifiquen las condiciones existentes en los sistemas para poder ser introducidas.

En la figura 3 se muestran los componentes principales del turbogenerador, una turbina en la dirección del flujo que transmite la energía de movimiento a un generador que mediante inducción magnética genera la corriente eléctrica.

## Funcionamiento : componentes



- 1 **TURBINA:** tipo axial mono o multi-etapas con uno o múltiples difusores y rotores (1.000, 1.500 o 2.900 rpm).
- 2 **GENERADOR:** Tri-fase asíncrono (  $V = 400-500-690-1.000$  y  $3.300$  voltios). Integrado en un cinturón metálico en acero al carbono recubierto tanto al interior como al exterior de epoxi rojo alimentario al agua potable

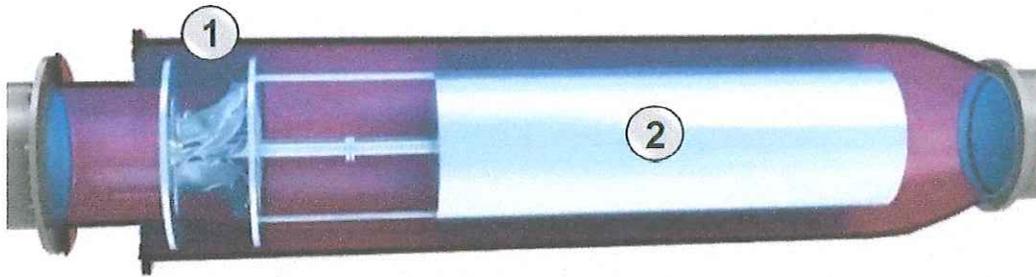


Figura 3. Componentes principales

Como lo indica la figura 3, los generadores tienen capacidades desde 400 voltios hasta 3300 voltios.

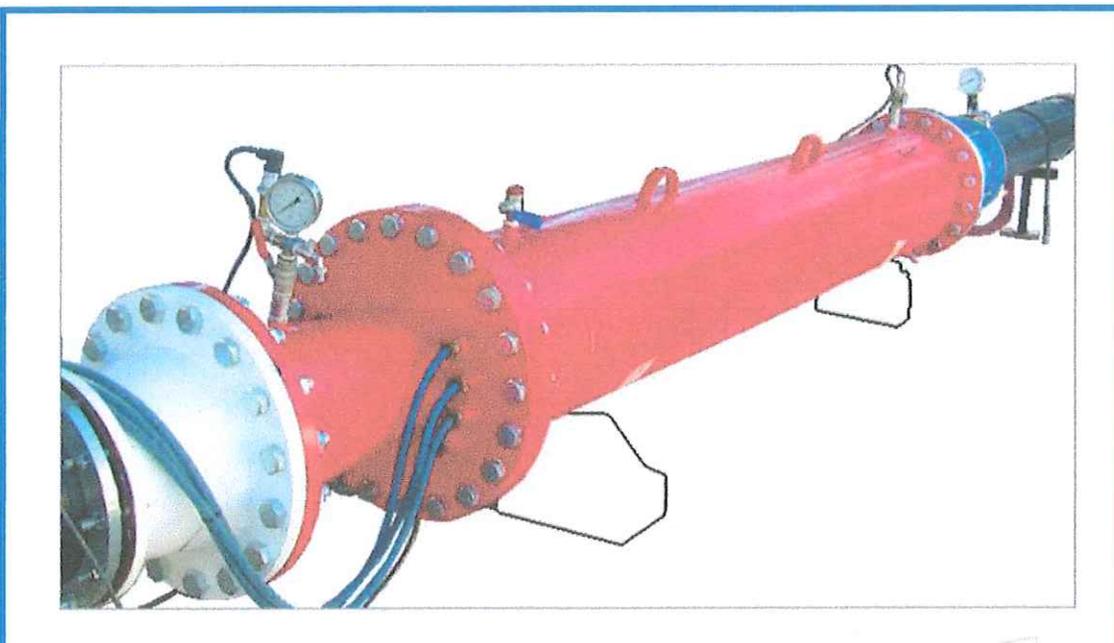


Figura 4. Turbogenerador instalado en línea.

## 2. RENDIMIENTOS

Los turbogeneradores tienen rendimientos totales bastante buenos en la recuperación de la energía hidráulica, en la siguiente figura se muestra el caso para un turbogenerador de 30 a 100 kw, trabajando a 100 l/s y presión de 40 a 45 mca, la eficiencia alcanzada es del 69%, para caudales de 350 la generación es 100kw y la eficiencia es del 72%.

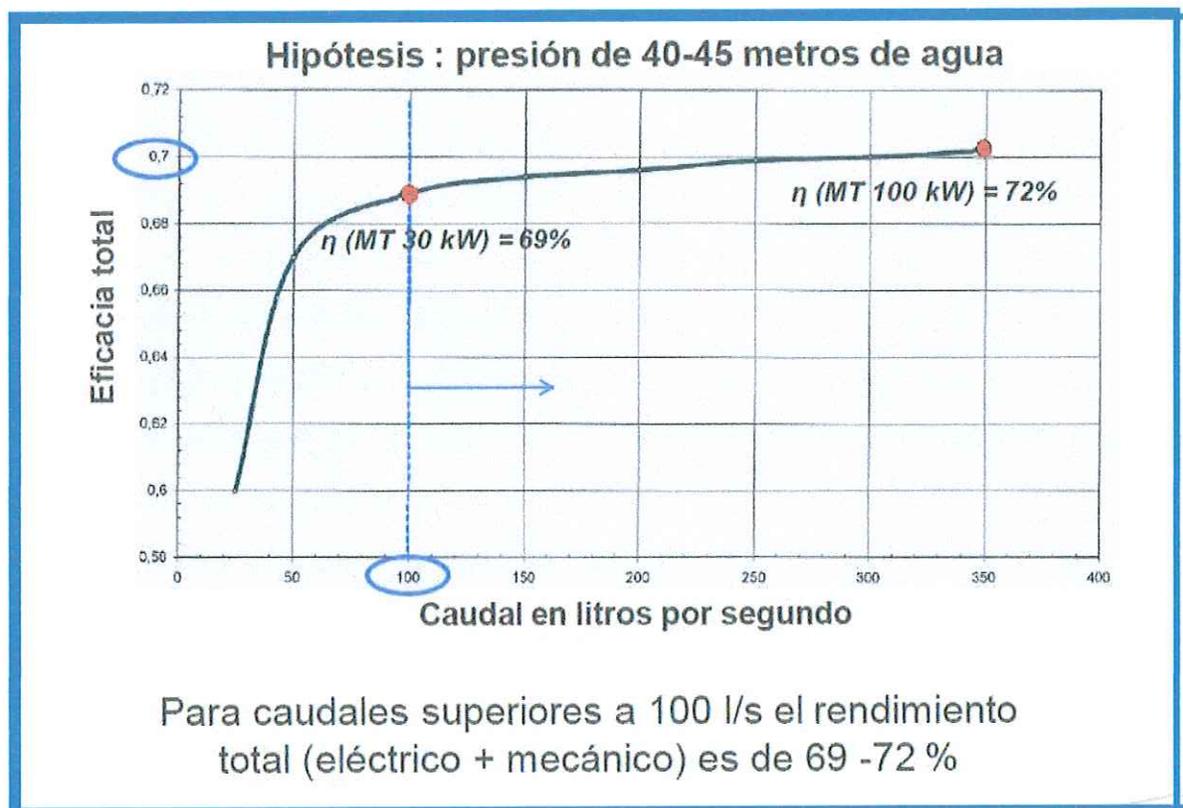


Figura 5. Eficiencia de un turbogenerador

## 3. INSTALACIONES TÍPICAS

La figura 6, muestra las instalaciones típicas de los turbogeneradores, así como los requisitos y especificaciones requeridas en los sistemas en los cuales van a ser instaladas, se puede observar las distintas configuraciones según caudal y

presiones a controlar, pueden ser en línea, en paralelo para grandes caudales o en serie para grandes presiones, además la válvula reguladora siempre se debe de mantener como una redundancia.

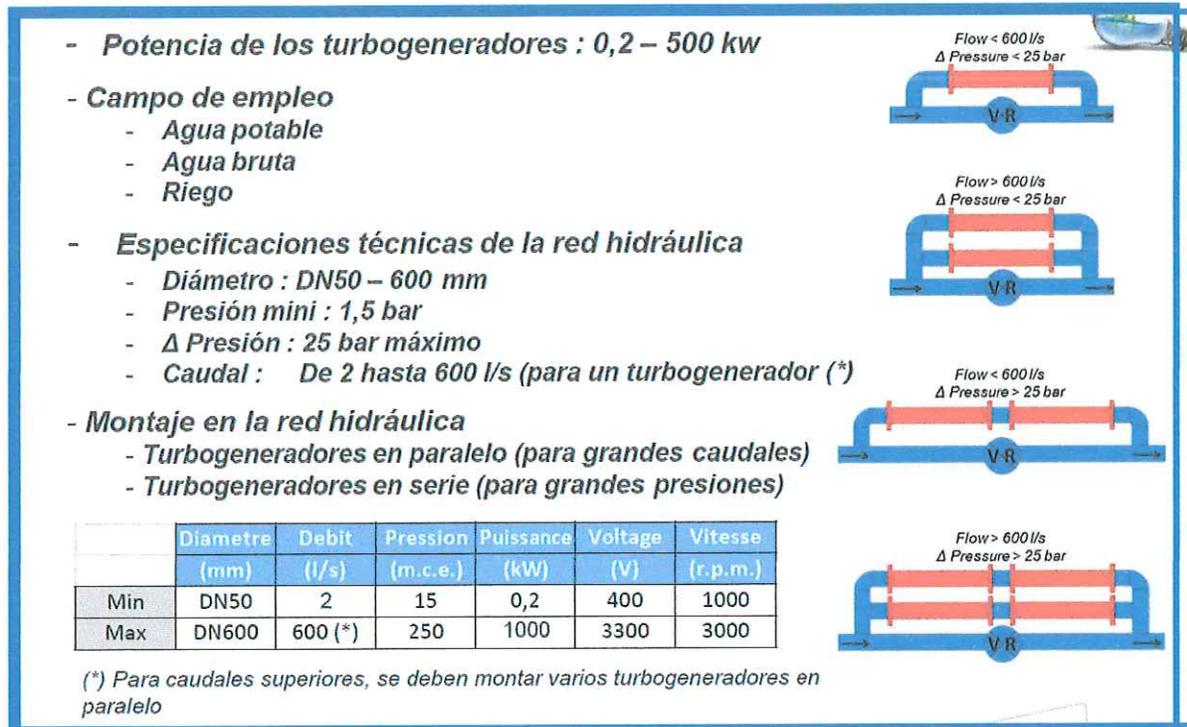


Figura 6. Instalaciones típicas y requerimientos de presión y caudal

En la siguiente figura 7, se muestra comparativamente, la eficiencia las necesidades de presión y capacidad de trabajar en inmersión de varios dispositivos generadores de electricidad.

Por ejemplo, los turbogeneradores analizados tienen más eficiencia que una turbina y tienen la ventaja de poder trabajar sumergidos y permite presiones de salida elevadas, el resto libera el agua a presión atmosférica. Una turbina el diferencial de presión máximo es de 150 mac, mientras que en los turbogeneradores es de 250 mca.

	Turbogenerador Tradicionales PAM	Bomba/turbina
<b>Recuperación de la energía hidráulica</b> ■ Rend total = Rend eléct + Rend mecánico	69-72 %	40-50 %
<b>Capacidad mecánica de presión</b> ■ $\Delta P = P_{Entrada} - P_{Salida}$ ■ P máxima a la salida : P <sub>salida máxima</sub>	25 bar	15 bar
	P elevadas	P atm
<b>Capacidad de trabajar en inmersión</b>	Posible	Imposible
<b>Mantenimiento</b>	Mínimo	Importante
<b>Dimensiones</b>	Minimas	Importantes
<b>Coste de fabricación</b>	Minimo	Elevado
<b>Otros...</b>		

Figura 7. Comparación de varios sistemas generadores de electricidad.

Las siguientes dos figuras muestran la instalación típica de un turbogenerador y los accesorios que lo deben acompañar.

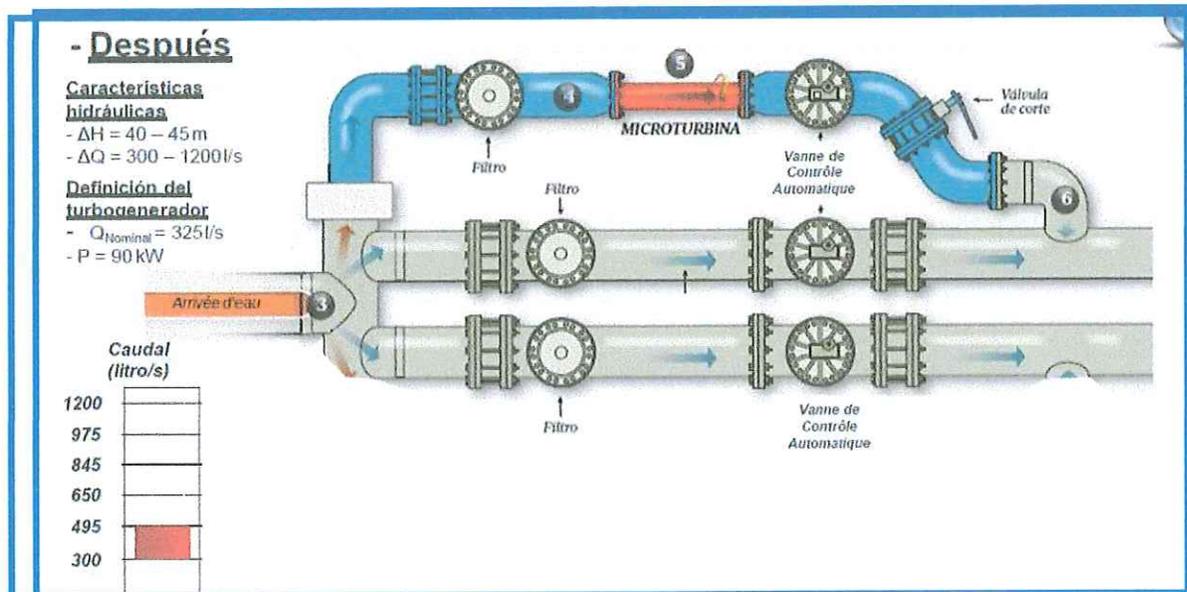


Figura 7. Instalación típica

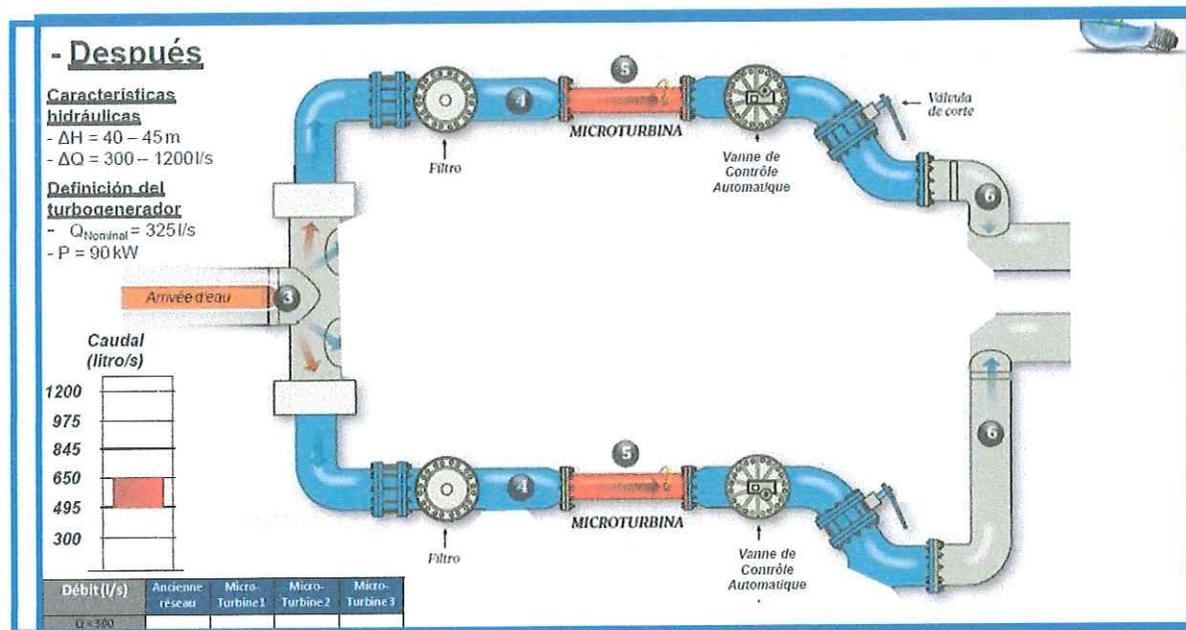
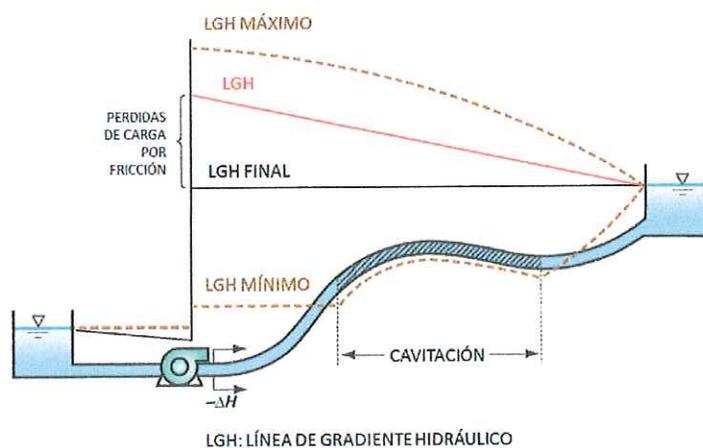


Figura 8. Instalación típica

Día 26/09/2017 – Martes

### Nociones En Transitorios Hidráulicos (Th)

FIGURA 1. PARADA DE BOMBA



Se sabe que cuando hay un cambio en el régimen en un fluido que es trasegado por una tubería (variación en la velocidad, presión, sección del flujo), se producen transitorios hidráulicos u ondas de presión que viajan como una perturbación en la

corriente de agua y pueden producir variaciones extremas de las condiciones del flujo.

#### EVENTOS QUE PUEDEN PRODUCIR TH

- Apertura y cierre de válvulas
- Cambio en la velocidad de las bombas
- Parada de bombas sin control
- Cambios en la demanda
- Apertura o cierre de hidrantes
- Cambios en las cargas de los depósitos.

#### POR QUÉ HACER UN ANÁLISIS DE TH

- Las presiones extremas siempre se van a producir durante un transitorio
- Se puede exceder la presión de diseño
- Se puede suscitar cavitación en algunos puntos, cuando se dan sub presiones bajo la presión de vapor del agua.
- Sub presiones rompen sellos y promueven la contaminación del agua.
- Analizar métodos de mitigación del problema.

La mayoría de las veces se tiende a considerar el transitorio como un problema de sobre presión que puede superar la presión máxima de diseño de la tubería, sin embargo, se pasa por alto el fenómeno contrario que genera sub presiones en el sistema.

En la figura 1 se muestra un ejemplo gráfico para entender rápidamente el fenómeno, implica imaginarse un tren a alta velocidad el cual es detenido de repente, todos los vagones presionarán a la locomotora con gran energía, lo que genera en el punto de la máquina altísimas presiones, pero luego, lejos de disiparse la energía, esta inicia un viaje en la dirección opuesta, con lo cual los

vagones dejan de presionar a la locomotora y más bien la halan en la otra dirección dejando un vacío.

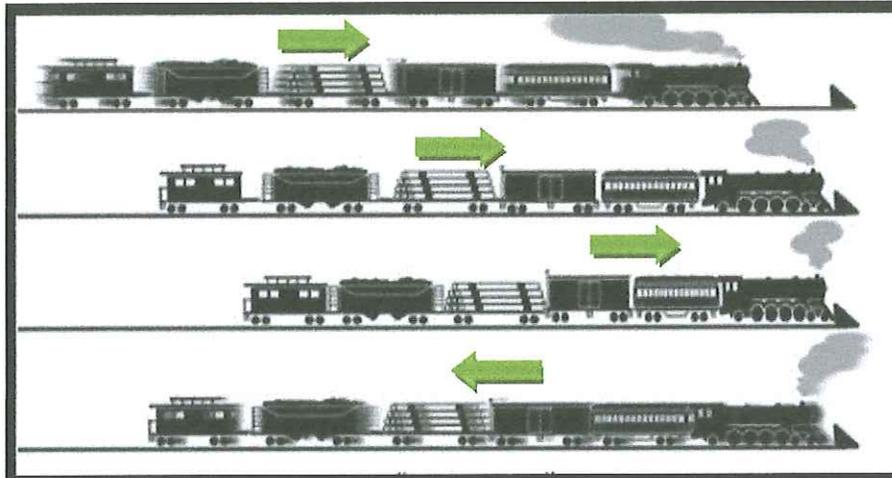


Figura 1. Un ejemplo gráfico y sencillo del transitorio hidráulico

Tanto un efecto como el otro son muy perjudiciales y deben ser controlados adoptando dispositivos de protección.

En la figura 2, se muestra una salida de computadora de un análisis de transitorio, se puede ver como la línea magenta máxima representa la envolvente máxima del transitorio sin protección, la línea magenta más intensa es el transitorio máximo controlado por un dispositivo de seguridad, la línea celeste tenue representa la envolvente mínima de sub presión, y la línea roja la envolvente mínima de sub presión controlada por un dispositivo de protección.

Se destaca que la línea celeste corta el terreno, lo que implica que en esa sección la presión interna de la tubería puede llegar a la presión de vapor del agua, dándose una separación de columna líquida, que produce dos fases en el agua gas y líquido, posteriormente cuando la onda regresa estas burbujas de vapor implotan produciendo cavitación y grandes daños en las tuberías.

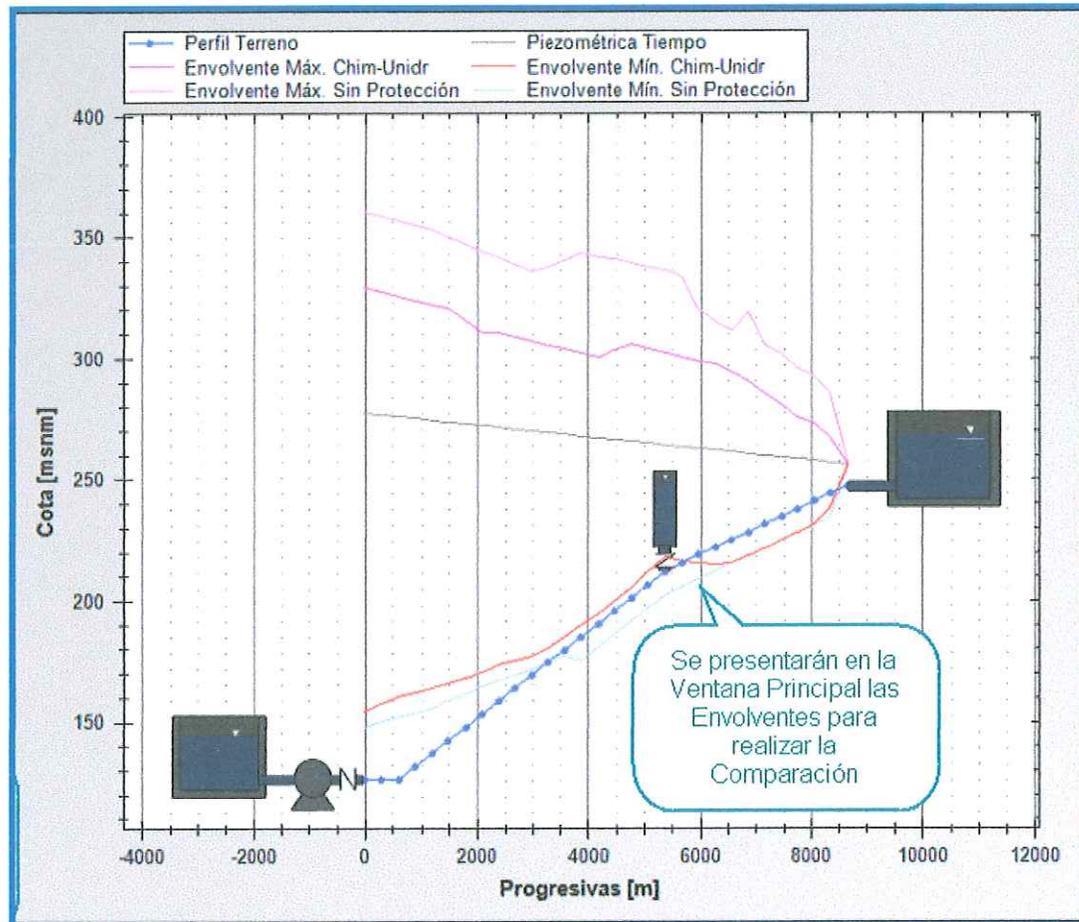


Figura 2. Salida de software simulando transitorio hidráulico

De igual forma si las sub presiones no se controlan, estas pueden superar la capacidad de succión de la tubería dándose el colapso por aplastamiento.



Figura 3. Falla por aplastamiento en una tubería de acero

Un punto importante a considerar es la linealidad de las válvulas, únicamente la válvula de globo se comporta lineal entre giros y porcentaje de cierre, la válvula de compuerta con un 50% de los giros ya ha cerrado en un 65%, mientras que la de mariposa con un 50% del giro tiene apenas un 25% del cierre, por lo tanto, es de esperar que una válvula de compuerta pueda producir más riesgo de generar un transitorio, siendo la de mariposa más beneficiosa si lo que se quiere es evitar transitorios.

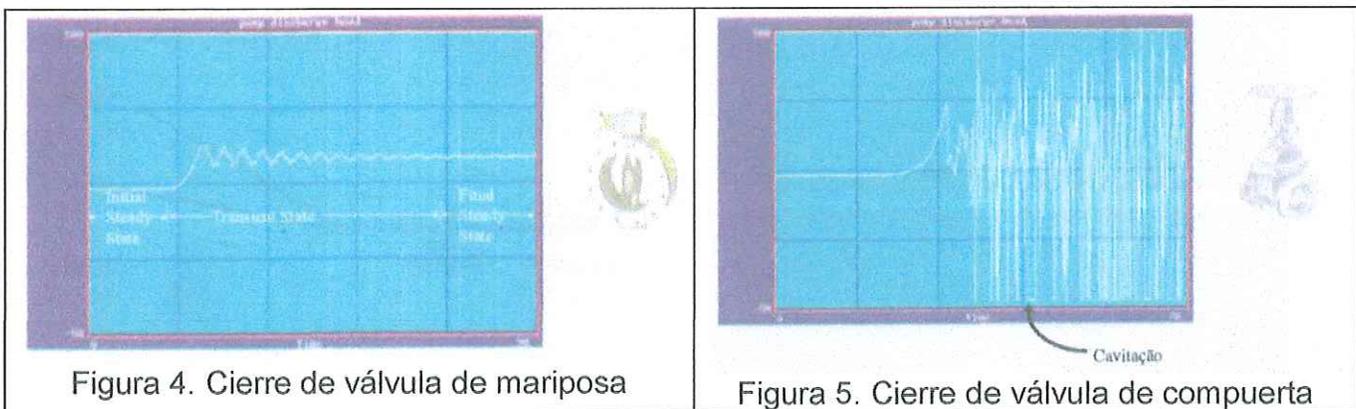


Figura 4. Cierre de válvula de mariposa

Figura 5. Cierre de válvula de compuerta

Un aspecto que deben tener claro los diseñadores son la formación de las cavidades de vapor, este efecto puede ser fácilmente ilustrado en un sistema de bombeo hacia un tanque elevado, en el cual se da una parada súbita de la bomba, en la proximidad de la bomba la presión cae y alcanza la presión de vapor del agua, generándose la cavidad de vapor, cuando la onda regresa con altas presiones hace colapsar la cavidad de vapor y la tubería se ve afectada.

Es necesario colocar ventosas de aire sin golpe para incluir aire y contrarrestar la formación de la separación de columna de agua y por ende de vapor de agua.

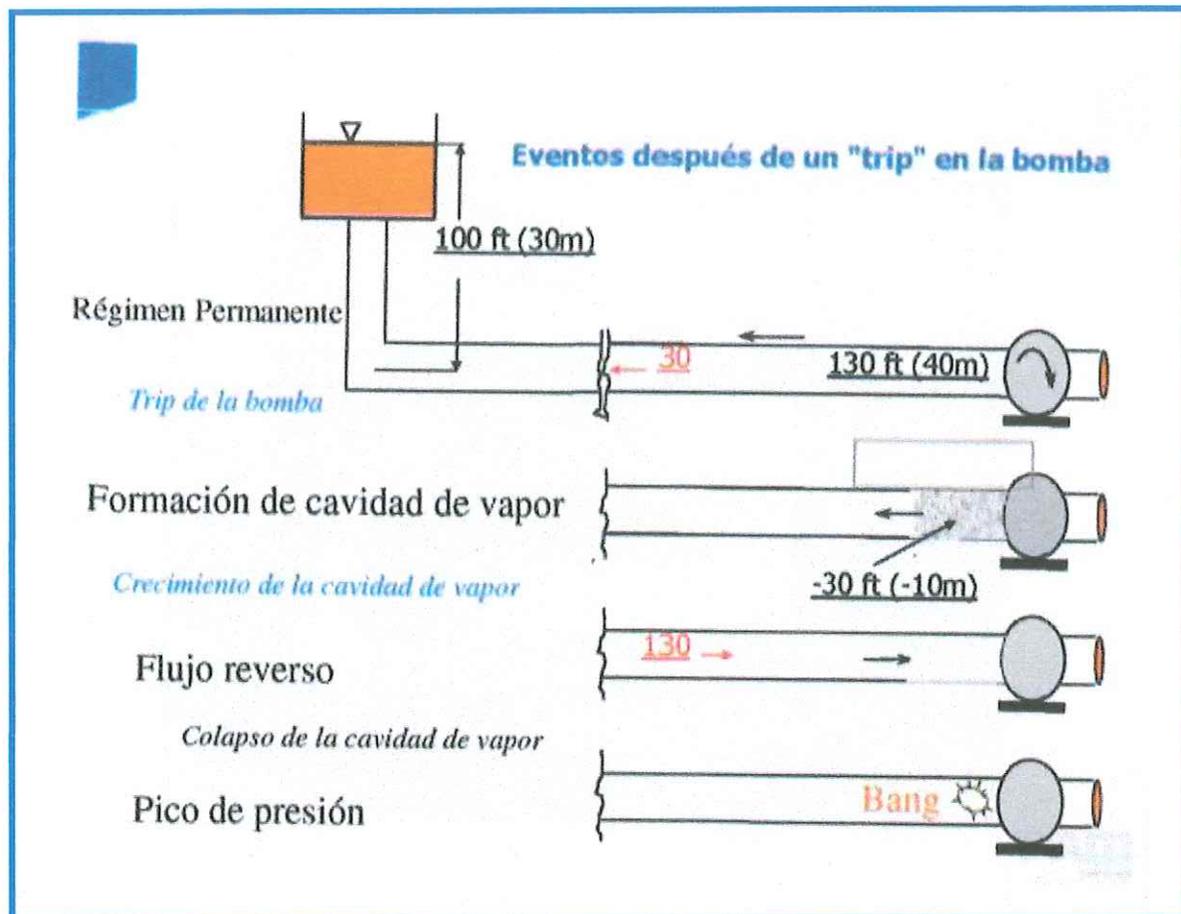


Figura 6. Colapso de una cavidad de vapor

Otro aspecto importante que tomar en cuenta en los transitorios es la transmisión y reflexión de las ondas de presión, las ondas de presión cambian su magnitud cuando encuentran un cambio del diámetro de la tubería. Una parte de la sobrepresión o sub presión continúa después del cambio de diámetro y otra parte de refleja (se regresa).

Se define como coeficiente de trasmisión "s" a la relación de la sobrepresión o sub presión que continúa propagándose después de la variación de diámetro.

Si el área de la tubería antes del cambio de diámetro es  $A_1$  y después del cambio  $A_2$  el coeficiente "s" se expresa por la siguiente ecuación:

$$s = \frac{2A_1}{A_1 + A_2}$$

Para las ondas que serán reflejadas por efecto del cambio de diámetro se define el coeficiente "r":

$$r = 1 - s$$

Para el caso general de separación de más de dos tuberías se tiene la siguiente relación:

$$s = \frac{2A_1}{\sum A}$$

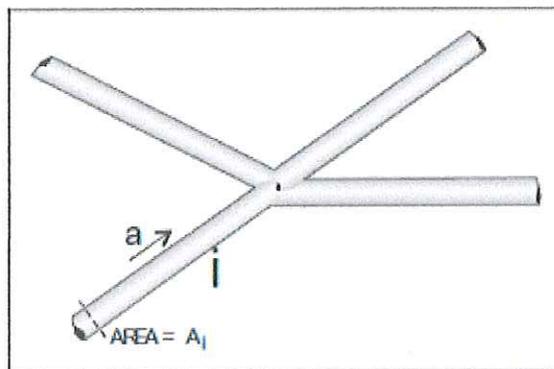


Figura 7. División del flujo en varias tuberías

El coeficiente "r" se designa sólo para la tubería de llegada de la onda de presión, mientras que el coeficiente "s" se define para las tuberías de derivación.

Para el caso de derivación de una tubería A1 en dos tuberías A1 y A2 (es decir se aumenta el diámetro) la relación sería:

$$s = \frac{2A_1}{A_1 + A_2}$$

Es decir “s” adquiere un valor menor a 1, lo que implica que la mayor parte de la onda se refleja ( $s < 1$ ), este aspecto hay que tomarlo en cuenta cuando una tubería está conectada a un gran depósito, este se puede considerar como una tubería de diámetro infinito, la onda no se propaga pero sí se refleja con el mismo valor de llegada al depósito,  $s=0$  y  $r=1$ .

De manera inversa cuando una sobrepresión pasa de una tubería de diámetro mayor a otra de diámetro menor, la onda transmitida incrementa su valor. El caso límite responde a un extremo cerrado, el cual puede considerarse como transición de cierto diámetro dado a otro diámetro igual a cero, aquí la onda se duplica.

$$s = 2, r = -1$$

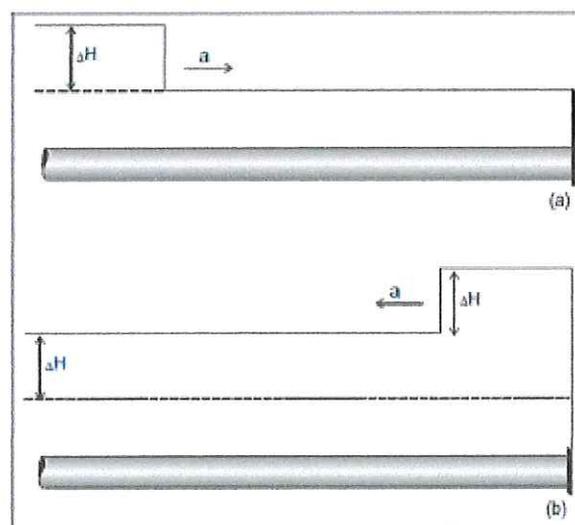


Figura 8. Duplicación de la onda en un final ciego.

**Día 27/09/2017 – Miércoles**

Software De Diseños – Ductilcad 2D y 3D;

Pam Proyectos

La implementación de software libre es un importante insumo que brinda al diseñador facilidades y ahorro de tiempo en el desarrollo de planos constructivos, memorias de cálculo y modelos hidráulicos.

PAM ofrece tres programas computacionales dirigidos al diseño de tuberías en Hierro Dúctil, los programas ofrecen facilidades a la hora de seleccionar y dibujar tuberías, accesorios y válvulas en Hierro Dúctil en formato 2D y 3D, con dimensiones estandarizadas dentro de una plataforma practica y muy funcional. Por otro lado, mediante la herramienta de PAM Proyecto, es posible implementar diferentes herramientas de diseño estructural e hidráulico, que tienen como objetivo la revisión, dimensionamiento y la comparación de costos de distintas alternativas en cuanto a otros materiales utilizados en tuberías.

#### 4. DuctilCAD 2D

Permite dibujar elementos de hierro dúctil, tales como tuberías, accesorios, válvulas y otros en dos dimensiones.

El programa permite a través de una plataforma muy amigable seleccionar de una biblioteca CAD de PAM los distintos diámetros comerciales normados en Hierro Dúctil e implementarlos en AutoCAD. Permite enumerar los diferentes accesorios y tabular un resumen del sistema hidráulico diseñado.

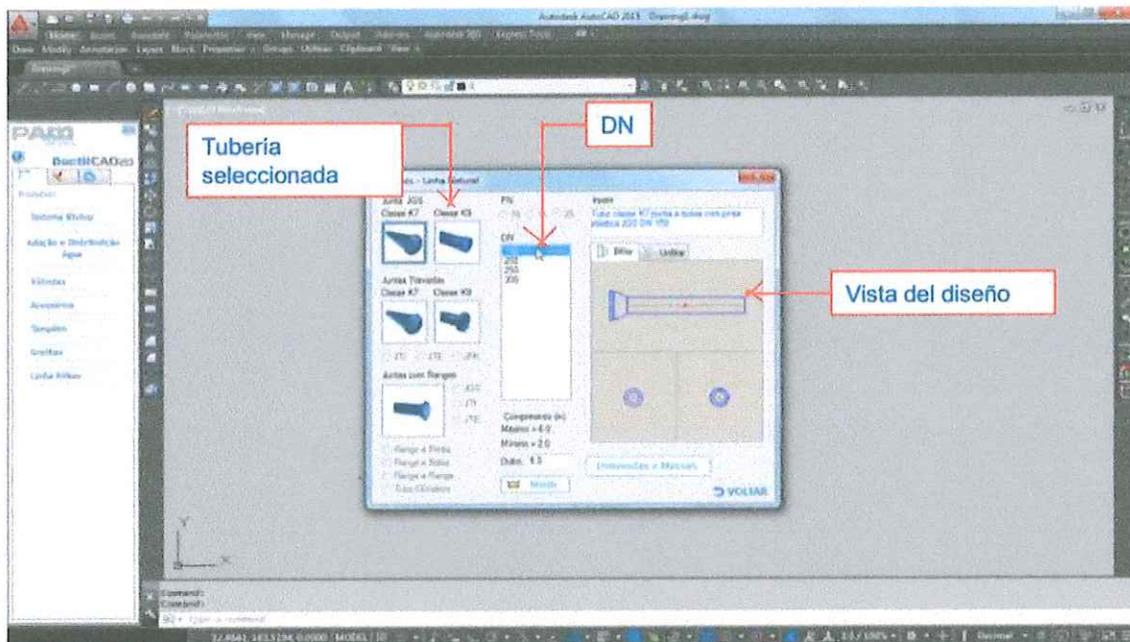


Figura 1. Entorno de Usuario de Ductil CAD2D en AutoCAD.

Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Otra función que brinda este programa es un Estudio de Desviación, el cual permite trazar la dirección de una tubería considerando la tolerancia que existe en la junta para lograr alcanzar curvas o giros en un alineamiento sin la necesidad de colocar codos. Esta herramienta es completamente automática por lo que los ángulos de deflexión normados para cada tubería están configurados según su diámetro.

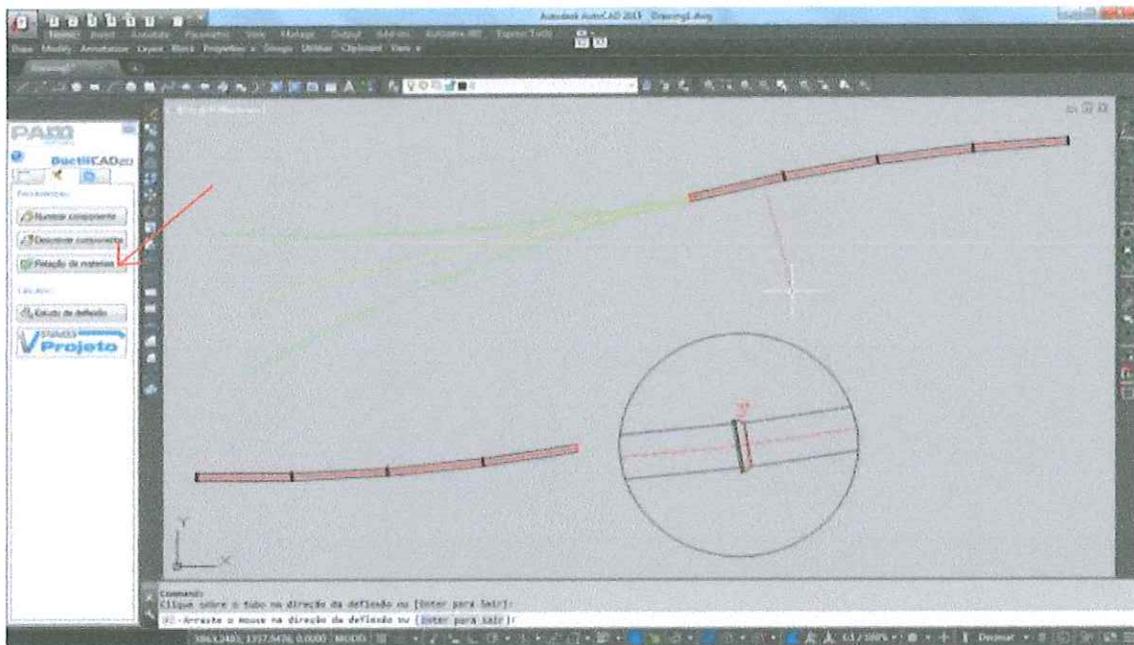


Figura 2. Plataforma de dibujo y revisión de deflexiones admisibles para tuberías.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

La aplicación de esta herramienta permite a los diseñadores generar un trazado más real, económico y detallado de las tuberías tanto en planta como en perfil, por lo que se recomienda la implantación de este software si se tienen trazados de conducción, distribución o impulsión en hierro dúctil.

## 5. DuctilCAD 3D

En caso de requerir un diseño detallado tipo plano de taller, la herramienta DuctilCAD 3D, permite dibujar sistemas hidráulicos con mucha facilidad y generar un producto de fácil interpretación en todas sus dimensiones, el software tiene a su disposición una biblioteca amplia de tuberías, válvulas, accesorios, bridas, transiciones, parrillas, tapas, y otros elementos de fundición completamente compatibles con AutoCAD. El software provee las mismas funciones de etiquetados y resumen de materiales al igual que DuctilCAD 2D.

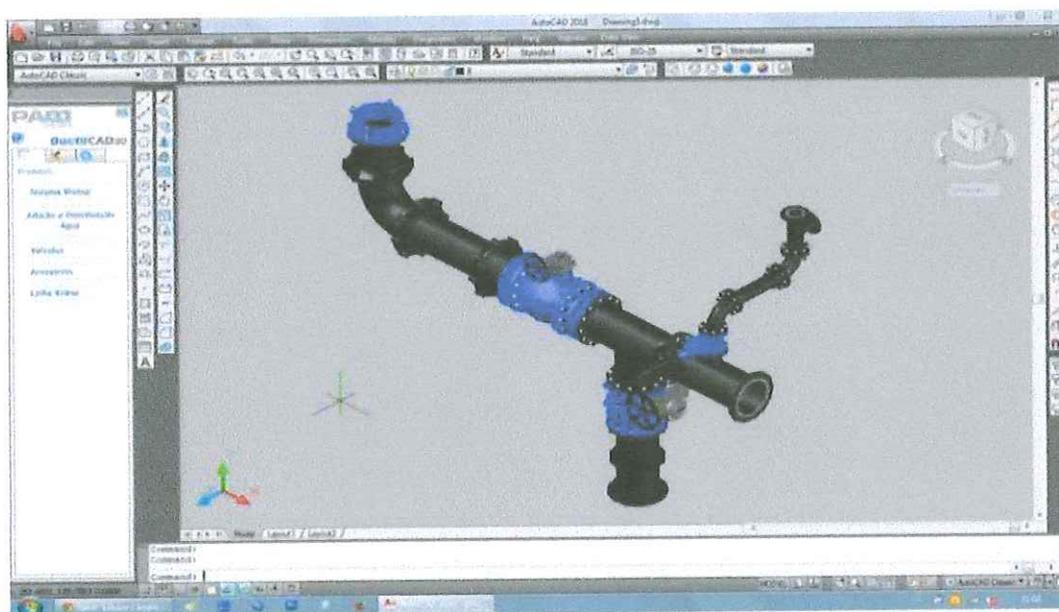


Figura 3. Plataforma de dibujo y revisión de deflexiones admisibles para tuberías.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

## 6. PAM Proyecto

PAM Proyecto es una herramienta de cálculo estructural e hidráulica enfocada a las tuberías de Hierro Dúctil, presenta una serie de módulos de cálculo para Bloques de Anclaje y Juntas acerrojadas. También una sección hidráulica que permite el cálculo de pérdidas de carga y comparativos de costo de bombeo.

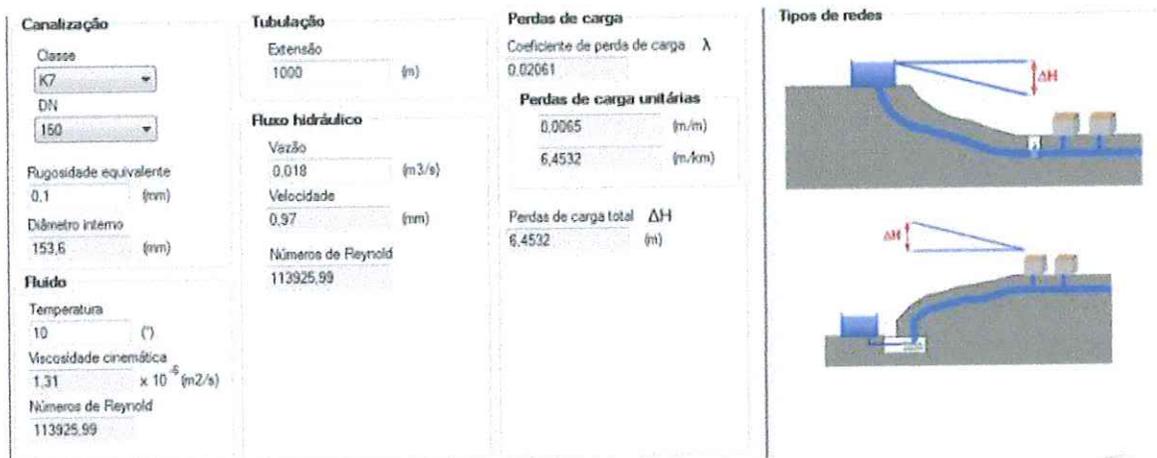


Figura 4. Módulo de Diseño Hidráulico para Tubería de Hierro Dúctil PAM Proyecto.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Plataforma permite ingresar ciertos parámetros de entrada y generar dimensionamiento, fuerzas, verificaciones, imágenes y una memoria de cálculo en PDF sobre el elemento.

## **Tema de discusión**

### **Construcción Civil: -Bloques de Anclajes versus Tubería Acerrojada-**

En conducciones enterradas que trabajan a presión se deben de tomar las precauciones necesarias para absorber los esfuerzos que en determinados puntos puedan producirse durante el funcionamiento del sistema y que pueden generar un desacople de accesorios o tubos.

En general estos esfuerzos son producto de empujes hidráulicos generados cuando la línea de la tubería cambia de dirección horizontal o verticalmente (codos o Tees), se reduce de diámetro (reducciones) o se tiene algún extremo cerrado (tapones).

La magnitud del empuje está en función de la presión, el diámetro de la tubería y la geometría del accesorio. De esta forma cuando la tubería está bajo presión interna y tiene un extremo cerrado, se presenta un empuje axial igual al producto de la presión del agua por el área de la sección de la tubería. Por su parte, en una reducción la fuerza se calcula de la misma forma, pero utilizando el área promedio de la sección.

En el caso de los codos otro factor que influye en la determinación del empuje es el ángulo del cambio de dirección, tal como se aprecia en la misma Figura. Si el ángulo es cero grados no hay desviación y por lo tanto no hay empuje, pero un cambio abrupto de 90 grados genera el mayor empuje con una magnitud de 1.41 veces el producto de la presión por el área de la tubería.

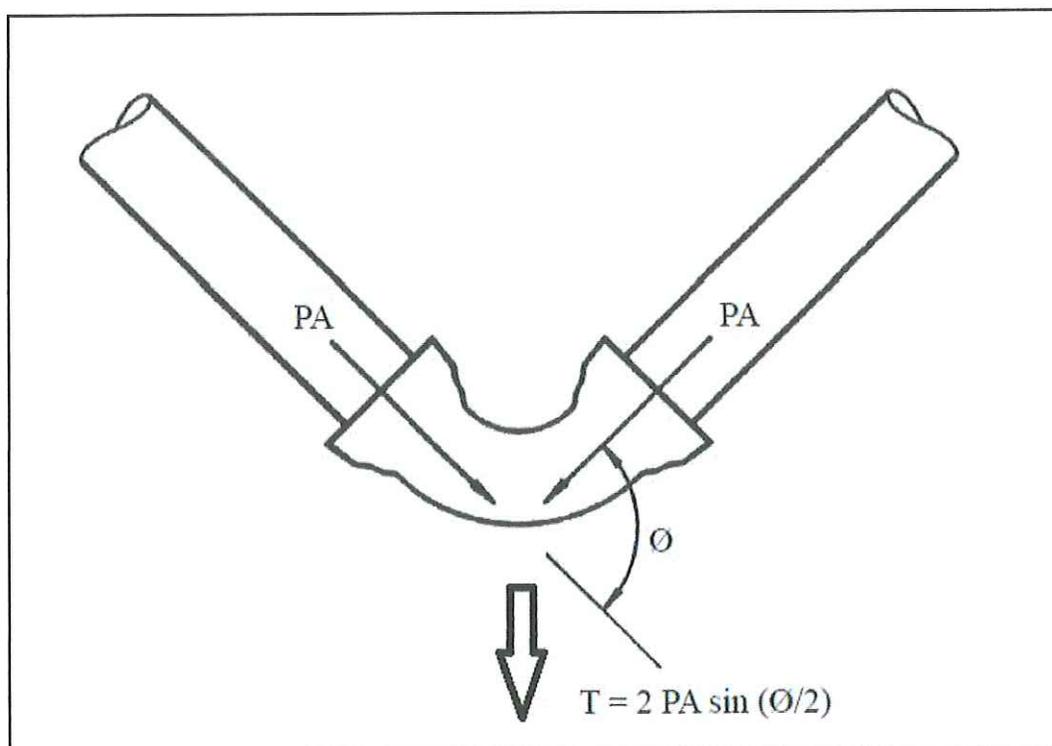


Figura 1. Empuje hidráulico generado en cambio de dirección de tubería.  
Fuente: Normas para Redes de Abastecimiento Canal de Isabel II (2012).

## 7. Bloques de Anclaje

Una de los métodos más comunes para evitar que estos empujes puedan alterar la estanqueidad de la conducción en tuberías de hierro dúctil con uniones espiga-campana es el uso de bloques o macizos de anclaje en concreto adosados a la tubería justo en el punto donde se produce el empuje.

Se pueden diseñar diferentes tipos de anclajes dependiendo de la configuración de la tubería, la resistencia y el tipo de suelo, el espacio disponible y el nivel de seguridad con que se quiera trabajar. Básicamente, el anclaje soporta los esfuerzos debidos al empuje hidráulico por medio de dos fuerzas:

- La fuerza de fricción generada por el rozamiento del bloque con el suelo. Dicha fuerza está principalmente relacionada con el peso del suelo sobre el bloque y el peso propio del macizo.

- El apoyo del bloque contra el terreno posterior. En la literatura existen diferentes teorías sobre cómo calcular la resistencia del terreno, algunos autores se basan en la teoría de empuje, mientras que otros utilizan valores de capacidad soportante para estimar la resistencia al aplastamiento.

En la siguiente Figura se muestra las diferentes fuerzas involucradas en el equilibrio.

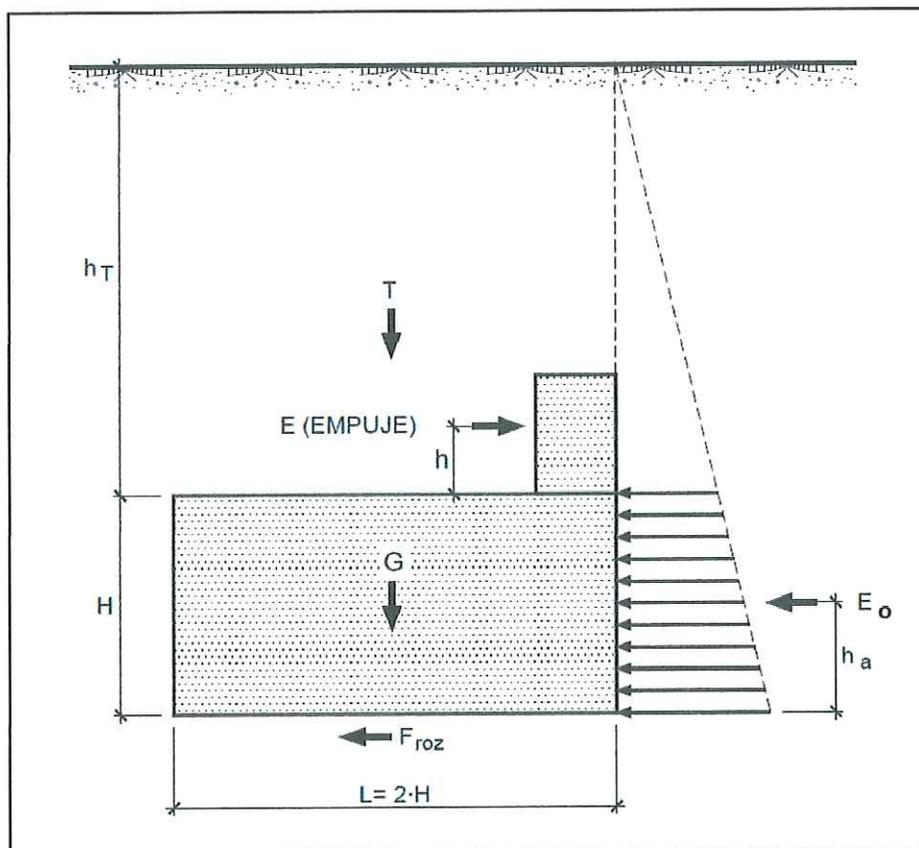


Figura 2. Diagrama de fuerzas involucradas en el equilibrio de un bloque de anclaje para tubería.  
Fuente: Normas para Redes de Abastecimiento Canal de Isabel II (2012).

A pesar que los bloques de anclaje se utilizan con de uso muy frecuente en los sistemas acueductos de tuberías enterradas a presión, presentan algunas desventajas haciendo que su uso sea desfavorable en ciertas condiciones, entre ellas:

- Pueden ocupar un volumen físico significativo especialmente para diámetros grandes (ver Figura 3), el cual puede ser difícil de disponer en

espacios reducidos o congestionados por otros elementos estructurales o tuberías enterradas.

- Conllevan a todo un proceso constructivo propio, ya que se debe hacer una excavación, preparación de la zanja, armaduras de acero de refuerzo, colocación, colado y curado del concreto (Ver Figura 3). Todo esto implica costos y tiempo de obra.
- Los dos puntos anteriores pueden implicar que vías y caminos públicos permanezcan cerrados por días.
- En caso de que se realicen excavaciones posteriores en las cercanías del bloque, el apoyo del terreno se puede perder y el bloque podría fallar.

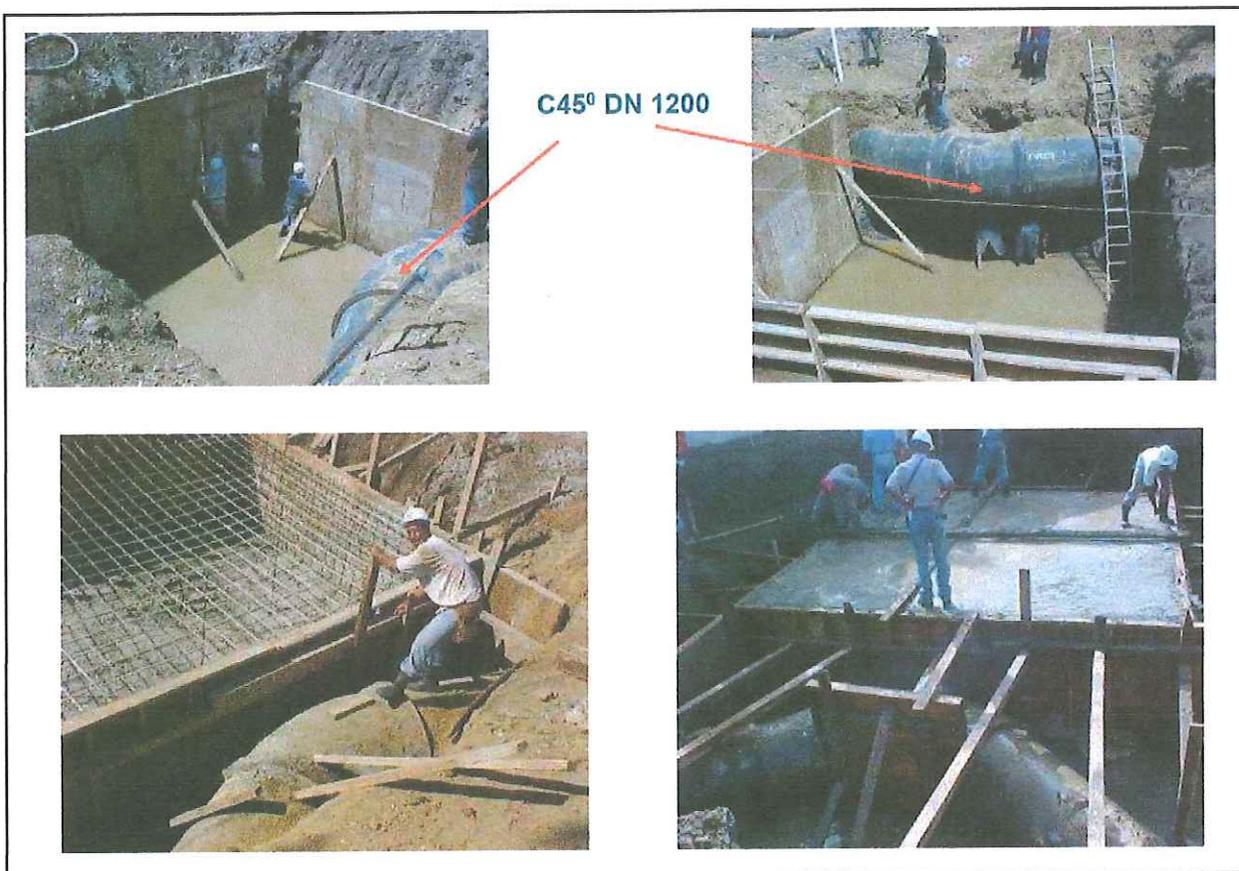


Figura 3. Proceso constructivo de un bloque de anclaje.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

## 8. Tuberías Acerrojadas

Ante los problemas ya descritos para los bloques de anclaje, en los últimos años han surgido diferentes alternativas comerciales. Entre ellas, para las tuberías de hierro dúctil se encuentran las uniones acerojadas o restringidas, las cuales básicamente consisten en dispositivos internos o externos que se colocan en las uniones de la tubería para evitar el desacople; de esta forma la tubería funciona como un sistema rígido y continuo.

Para explicar el principio de funcionamiento de las uniones acerojadas, se puede partir del mismo caso de análisis de equilibrio para un cambio de dirección en la tubería.

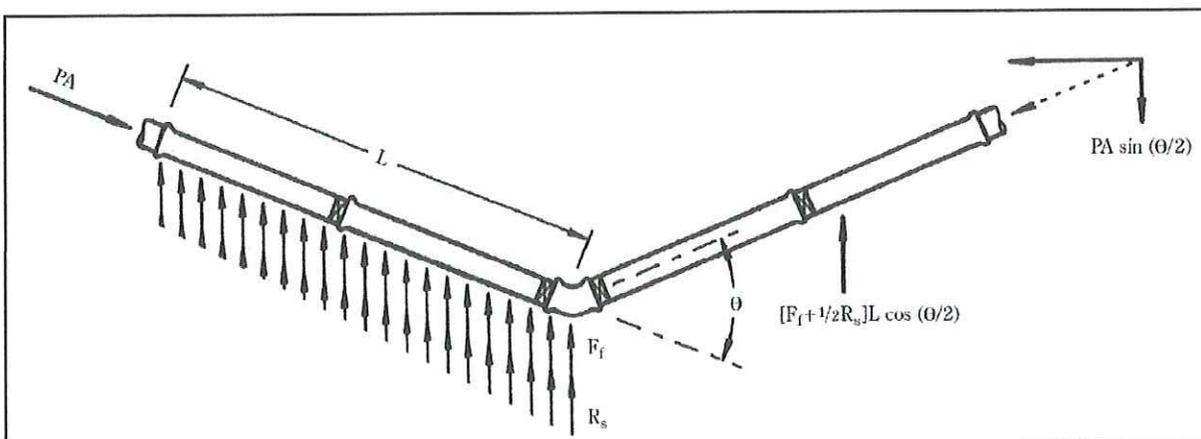


Figura 4. Diagrama de fuerzas involucradas en el equilibrio de un codo con uniones acerojadas.  
Fuente: Thrust Restraint Design for Ductile Iron Pipe, DIPRA (2016).

En este nuevo escenario, dónde se elimina el bloque de anclaje, la fuerza de empuje es equilibrada por las siguientes fuerzas que están estrechamente relacionadas con el terreno circundante a la tubería:

- Fuerza unitaria de fricción generada entre la tubería y el suelo ( $F_f$ ). Se considera la componente de la fuerza opuesta al empuje.
- Resistencia pasiva o al aplastamiento del terreno detrás de la tubería ( $R_s$ ). Se considera una distribución triangular variable desde 0 hasta  $R_s$  en el

codo. De la resultante de esta distribución se considera la componente opuesta al empuje.

Tal como se aprecia en la Figura anterior, ambas fuerzas actúan a lo largo de una distancia  $L$ , en la cual la tubería está sometida a esfuerzos axiales para alcanzar el equilibrio. La longitud  $L$  debe considerarse a ambos lados del cambio de dirección y debe existir continuidad estructural de las uniones, lo que implica que a todo lo largo de estos tramos se deban utilizar uniones acerrojadas. Más allá de esas distancias, se pueden seguir utilizando uniones simples espiga-campana.

Al analizar el equilibrio considerando uno de los segmentos a partir del codo se tiene la siguiente ecuación (Sentido Y):

$$PA \sin (\varnothing/2) = F_f L \cos (\varnothing/2) + 1/2R_s L \cos (\varnothing/2)$$

Resolviendo para  $L$ , se obtiene:

$$L = \frac{S_f PA \tan (\varnothing/2)}{F_f + 1/2R_s}$$

$S_f =$  Safety factor (Usually 1.5)

De acuerdo a la configuración de la tubería, la resistencia y el tipo de suelo, la longitud que se debe acerrojar se modifica.

### Tipos de uniones acerrojadas

Las uniones acerrojadas se pueden clasificar de acuerdo a la ubicación (interno o externo), la complejidad de dispositivo que se coloca para lograr la restricción mecánica y el rango de presión de trabajo. Bajos esos criterios, durante la visita técnica se lograron conocer los distintos tipos de uniones acerrojadas para tubería de HD que maneja el fabricante en cuestión (PAM Brasil).

A pesar que las uniones acerrojadas resuelven el problema de tener que construir estructuras adicionales, sin duda un aspecto a considerar es que en algunos casos la presión que resiste el sistema estará limitada por la presión que resiste el tipo de unión acerrojada que se utilice, a pesar que la tubería tenga capacidad de resistir presiones mayores, tal como se verá más adelante.

a) Junta Estándar Vi ó JTI

Constituye la junta más sencilla. Consiste en adicionar insertos metálicos dentados a los empaques de estanqueidad de las uniones estándar espiga-campana para lograr el acerrojado (Ver siguiente Figura). De esta forma, cuando se presenta una fuerza de tracción que tiende a desacoplar la tubería, los insertos trabajan por fricción para mantener unidos los tubos y accesorios.

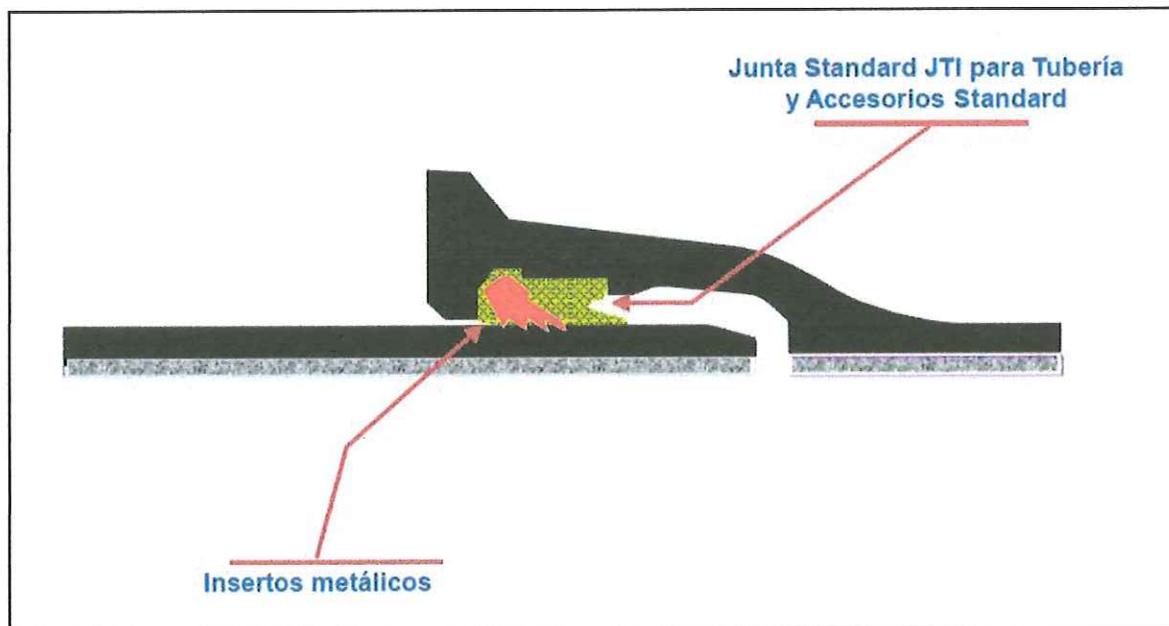


Figura 5. Componentes de unión acerrojada PAM Estándar JTI.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Dentro de las ventajas que presenta este tipo de unión es que se instala en la tubería con enchufe STANDARD, como si se tratara de la junta STANDARD no

acerrojada. Debido a esto, el costo tampoco difiere mucho en comparación a la junta típica, ya que únicamente se deben adicionar piezas metálicas sin tener que modificar los tubos.

En contraposición, una de las desventajas es que al trabajar por fricción este tipo de uniones se reserva para uso de presiones bajas o medias y para diámetros menores (de 80mm a 600mm). Por ejemplo, si se considera una tubería de 300mm clase C30, la cual tiene una presión de funcionamiento admisible (PFA) de 30bar y se decide utilizar uniones acerrojadas internas, la presión admisible se debe limitar a un valor de 16bar, de acuerdo a esta tabla suministrada por el fabricante. Como se observa, esto representa una reducción cercana al 50% de la capacidad de la tubería

DN mm	60	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
PFA* bar	22	16	16	16	16	16	16	16	16	16	13	11	10
Desviación angular °	5	5	5	5	5	4	4	3	3	2	2	2	2

\* PFA para tuberías de las gamas NATURAL® y URBITAL. Para otras gamas consultar.

### 1. Junta Estándar Ve o JTE

Constituye una más compleja. En este caso, la junta se instala en la tubería con enchufe STANDARD al que se le incorpora de fábrica un cordón de soldadura en el extremo liso. Adicionalmente, requiere un anillo metálico que ejercerá presión contra la soldadura. Dicho anillo se confina con una contrabrida externa sujeta con bulones o pernos que mantiene unidos la espiga y la campana.

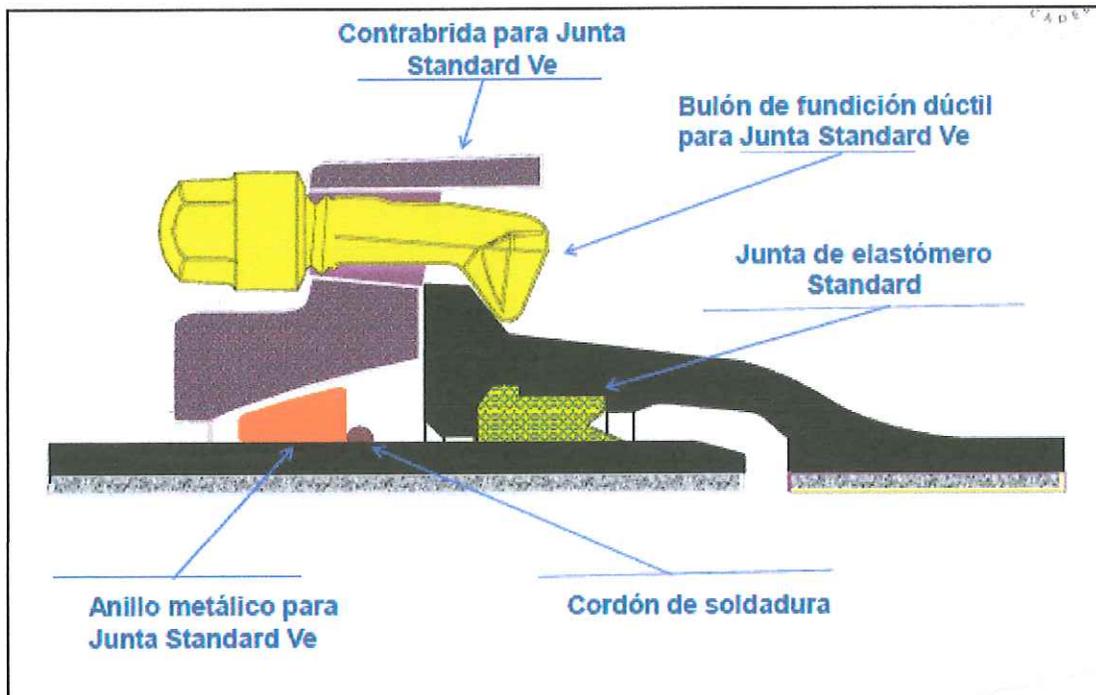


Figura 6. Componentes de unión acerrojada PAM Estándar JTE.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Esta unión tiene mayor capacidad, por lo que permite ser utilizado en aplicaciones de alta presión, en terrenos de alta pendiente (mayor al 25%) y para diámetros entre 300mm hasta 1200mm. Por ejemplo, si se considera la misma tubería C30 de 300mm, pero ahora se utilizan uniones acerrojadas, la presión del sistema estará determinada por la presión de la tubería, ya que la unión es capaz de resistir una presión de hasta 30 bar.

DN mm	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
PFA bar	64	64	64	55	44	39	37	32	30	30	30	27
Desviación angular°	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3

No obstante, para este tipo de unión el costo es significativamente mayor, ya que implica modificaciones de fábrica y el uso de accesorios adicionales.

Día 28/09/2017 – Jueves

## Tema de discusión

### Válvulas

#### ¿QUÉ ES UNA VÁLVULA?

Es un dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en un aparato o instrumento gracias a un mecanismo, diferencial de presión, etc.

#### COEFICIENTE DE CAUDAL Kv DE LA VALVULA

Expresa el caudal de agua (en m<sup>3</sup>/h) a la temperatura de 20 °C que circula a través de la válvula que provoca una pérdida de carga de 1 bar.

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$$

$\Delta P$  = pérdida de carga en bar  
 $Q$  = caudal circulante en m<sup>3</sup>/h  
 $Kv$  = coeficiente de caudal de la válvula en m<sup>3</sup>/h.

El Kv disminuye si disminuye el % de apertura

Las pérdidas de carga aumentan si disminuye el % de apertura

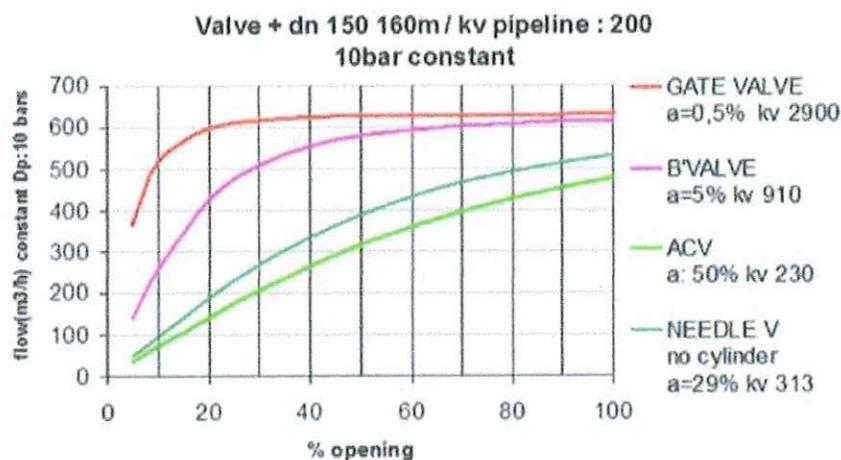


Figura 1. Comparación de Aberturas de Regulación para válvulas de Compuerta, Globo, Control Mariposa.

Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

## 1. VÁLVULA COMPUERTA

### CARACTERISTICAS

- Es una válvula con un obturador (compuerta) perpendicular al flujo de agua.
- Recomendada en su uso para  $DN \leq 300$  mm, PN 10-16
- Distancia entre bridas ISO 5752: Serie 14 (corta), Serie 3 (intermedia) y Serie 15 (larga)
- Volumen de seccionamiento, solo para uso On-Off (según Cap. 3.2 de norma técnica EN 1074-2 ), a posiciones intermedias: se produce altas velocidades del fluido, posibles daños internos por vibración y cavitación
- Usos: Seccionamiento de redes, mantenimiento de otras válvulas: V control, ventosas, filtros, bombas, hidrantes, medidores de caudal, etc.
- Aplicaciones: Redes de tuberías de agua, reservorios, cámara de válvulas, estaciones de bombeo, Plantas TAP, redes contra-incendios, purgas, etc.

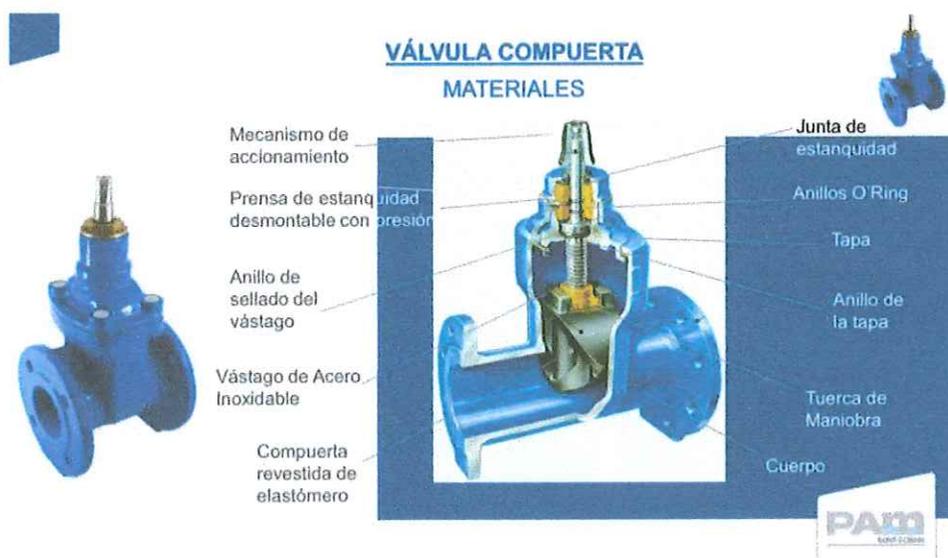


Figura 2. Válvula de Compuerta PAM.

Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

## 2. VÁLVULA MARIPOSA EUROSTOP



### CARACTERISTICAS

- Válvula con un disco intermedio o mariposa que gira a 90° al flujo de agua
- DN 150 – 2000 mm / PN 10 – 16 – 25 - 40
- Distancia entre bridas ISO 5752: Serie 14
- Incluye una caja de engranajes con tornillos sin fin que reducen drásticamente el torque o esfuerzo de operación
- Volumen de seccionamiento, solo para uso On-Off (según Cap. 3.2 de norma técnica EN 1074-2), a posiciones intermedias: se produce altas velocidades del fluido, posibles daños por cavitación (borde del disco de elastómero)
- Usos: Seccionamiento de redes, mantenimiento de otras válvulas: V. control, ventosas, filtros, bombas, medidores de caudal, etc.
- Aplicaciones: Redes de tuberías de agua, reservorios, cámara de válvulas, estaciones de bombeo, Plantas TAP, redes contra-incendios, purgas, etc.
- Versiones: Manual y Motorizada.

## ¿SE PUEDE REGULAR CON LA V. MARIPOSA?

Si, si se cumple con las siguientes condiciones a la vez:

- El ángulo de apertura de la mariposa debe situarse entre 30° y 90° (totalmente abierta)
- La Presión aguas abajo P2 (en bar) debe ser mayor a:  $P2 \geq 0,7 * P1 - 2,8$

*P1: Presión aguas arriba (en bar)*

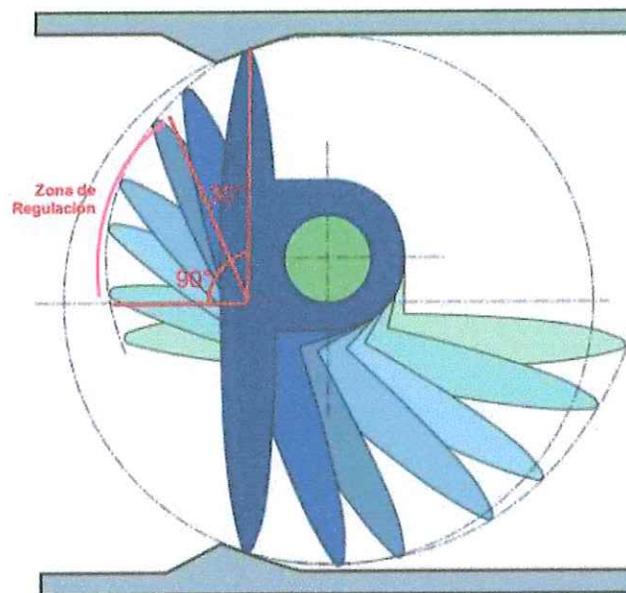


Figura 2. Zona de Regulación para Válvulas Mariposa.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

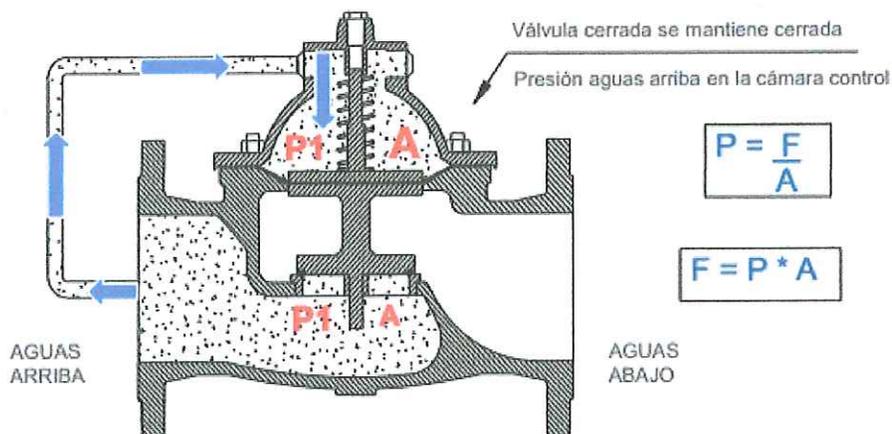
### 3. VALVULAS DE CONTROL

#### CARACTERISTICAS

- Válvula tipo Globo, por accionamiento de diafragma (presión de agua en la cámara superior)
- Válvula de cámara simple y paso reducido

- Distancia cara a cara: ISO 5752 Serie 1
- Dimensiones y taladrado de las bridas: ISO 7005-2, PN 10, 16 y 25
- Tamaño: DN 50-700 mm

### FUNCIONAMIENTO.



Funcionamiento: 1ro Llenado de cámara → Válvula Cierra

Figura 3. Llenado de Cámara, Válvula de Control.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Las presiones en las cámaras son iguales aguas arriba, esto permite un llenado de la cámara superior, lo cual cierra la válvula.

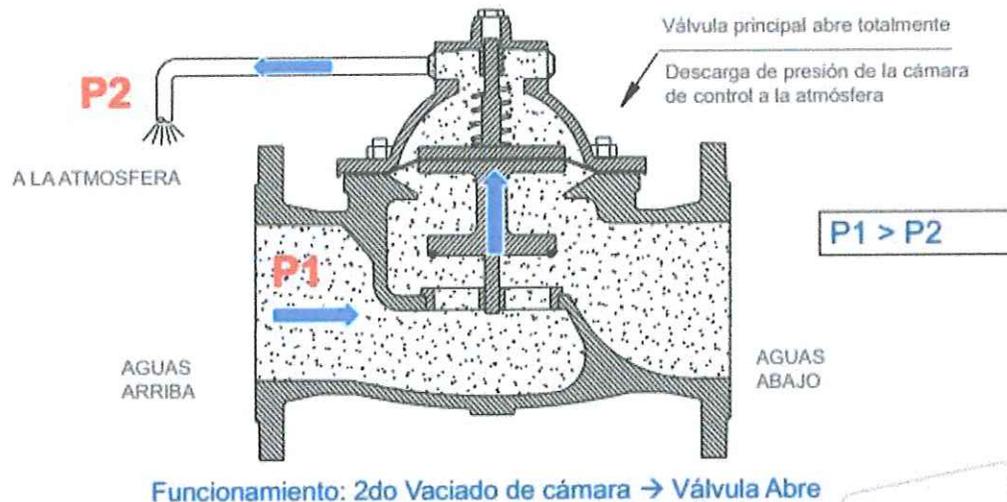


Figura 4. Vaciado de Cámara, Válvula de Control.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Una diferencia de presiones  $P1 > P2$ , permite abrir la cámara superior, lo cual permite abrir la válvula.

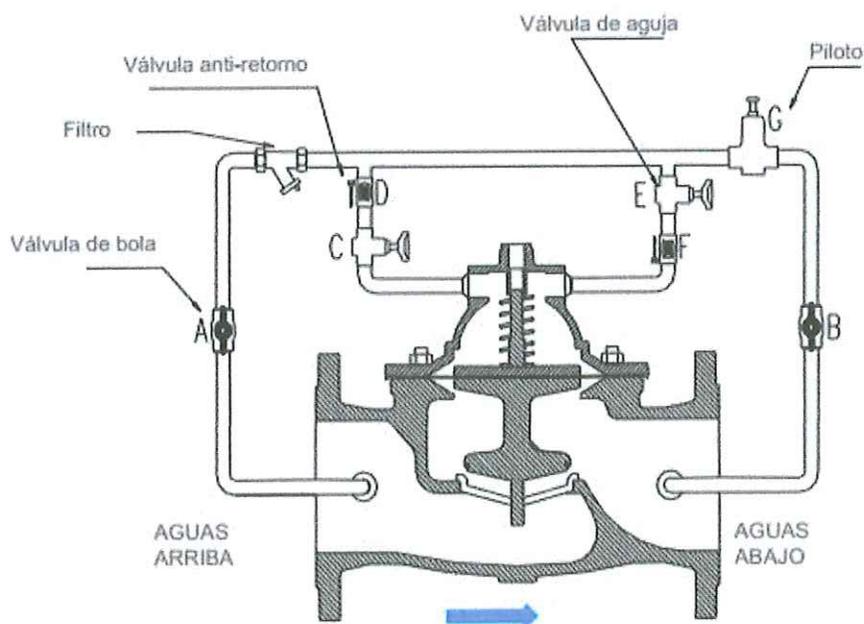
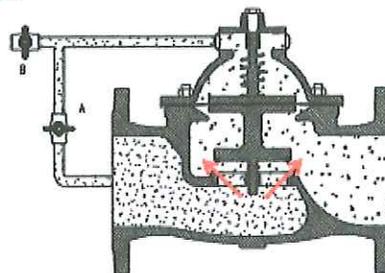
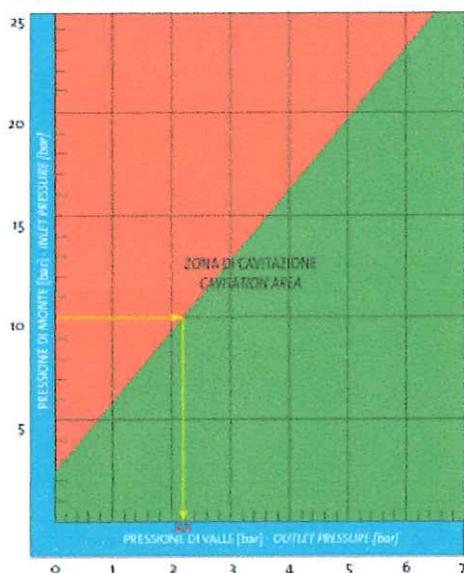


Figura 5. Elementos de regulación de una Válvula de Control.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

## SELECCIÓN

El principal criterio de revisión y selección para las válvulas de control es la Resistencia a la Cavitación.

Dimensionamiento: Resistencia a la Cavitación



A: Presión de ingreso = 10 bar

Presión de salida sin cavitación: 2,2 bar

**VCA PAM E2001 con Paso Reducido:**

Índice cavitación: **4.5 a 1** (Ingreso vs Salida)

VCA sola, **sin cilindro anti-cavitación**

Principales funciones de las Válvulas de Control:

1. Válvula reductora de presión
2. Válvula sostenedora de presión
3. Válvula limitadora de caudal
4. Válvula de alivio de presión
6. Válvula de control de bomba
7. Válvula de altitud
8. Válvula flotadora
9. Válvula de no retorno (check)
10. Válvula anticipadora de onda (anti golpe de ariete)
11. Válvula de control con solenoides o pilotos eléctricos (control remoto)

#### 4. VÁLVULAS DE AIRE.



Figura 6. Válvulas de Aire, en orden de izquierda a derecha, Desgasificación, Triple Propósito y Doble Función.

Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

#### **FUNCIONES**

##### **DESGASIFICACIÓN**

Evacua pequeñas cantidades de aire que se forman durante el flujo de agua.

##### **DOBLE FUNCION**

Admite y evacua grandes cantidades de aire.

##### **TRIPLE FUNCION**

Combina características como eliminación de aire, admisión de aire y purga de aire en un solo producto.

#### **APLICACIONES**

Aducciones, conducciones, redes de distribución, riego, etc.

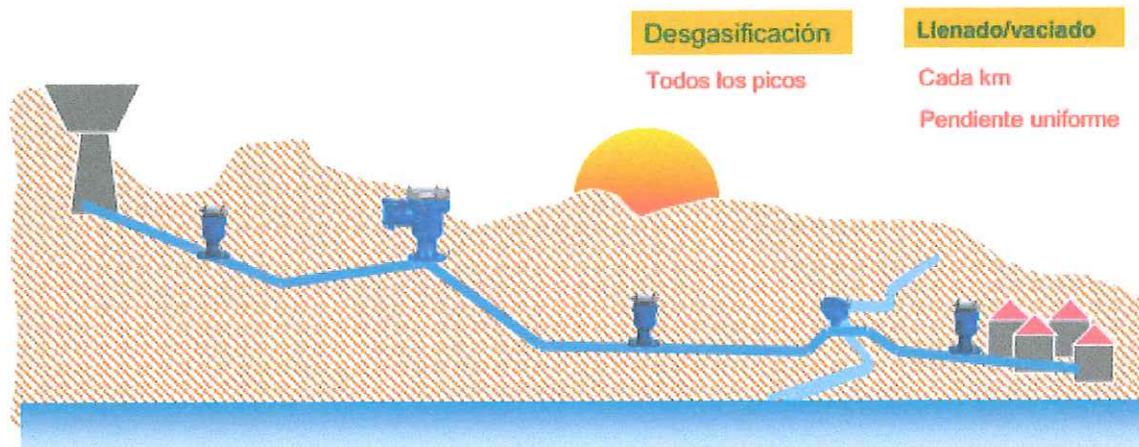
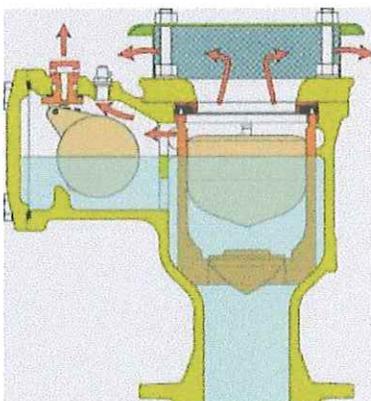


Figura 6. Ubicación de Válvulas de Aire, distancias cada KM, puntos altos, en la llegada a asentamientos urbanos.

Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

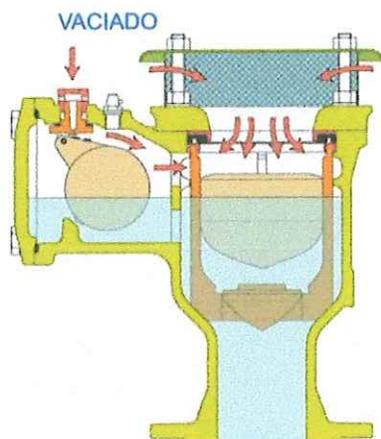
## FUNCIONAMIENTO DE LA DOBLE FUNCIÓN.

### LLENADO



El agua llena gradualmente la válvula elevando, por el efecto Arquímedes, el flotador grande hasta el empaque asegurando el sello perfecto. Durante el llenado una gran cantidad de aire es evacuada a través del orificio grande, mientras los flotadores están abajo. El orificio pequeño (alta presión) continúa evacuando lentamente un bajo caudal de aire, garantizando una elevación progresiva de la presión

evitando así el golpe de ariete. La válvula está completamente llena y presurizada, presentando estanquidad perfecta.



### VACIADO

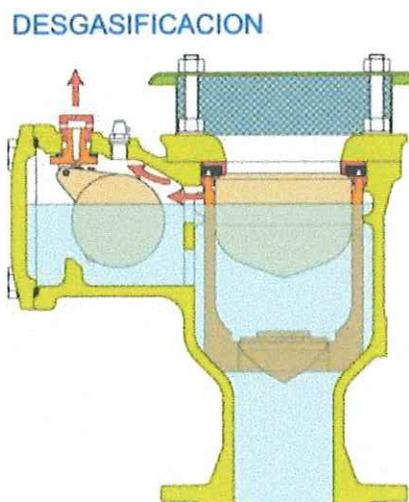
En caso de vaciado o rotura de la tubería, el flotador abre instantáneamente por el descenso de nivel de agua, permitiendo el ingreso de aire evitando la depresión

### DESGASIFICACION

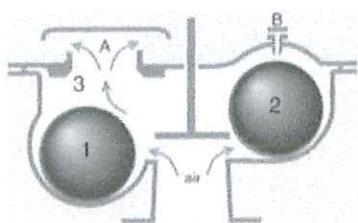
Durante la operación de la tubería, el aire disuelto en el agua se acumula sobre el flotador pequeño (punto más alto de la válvula).

El nivel del agua dentro de la válvula desciende por la alta presión y el orificio pequeño es abierto, evacuando lentamente la bolsa de aire presente en la válvula.

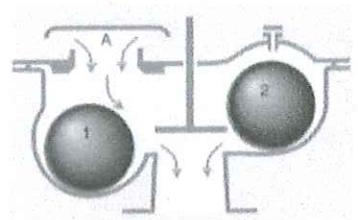
El flotador grande se mantiene en posición, por efecto del nivel de agua.



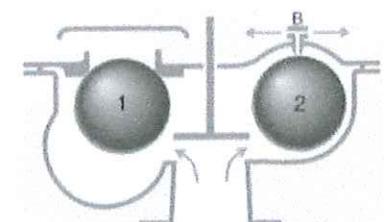
### FUNCIONAMIENTO DEL TRIPLE PRÓPOSITO.



PASO 1. Eliminación de aire en el llenado a una velocidad de 1 m/s sin crear una sobrepresión superior a 0,1 bar



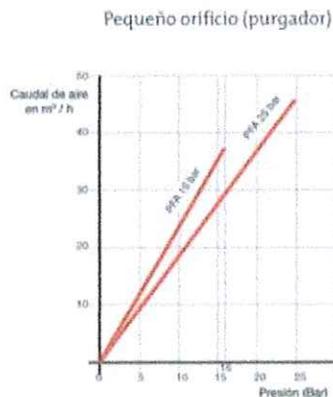
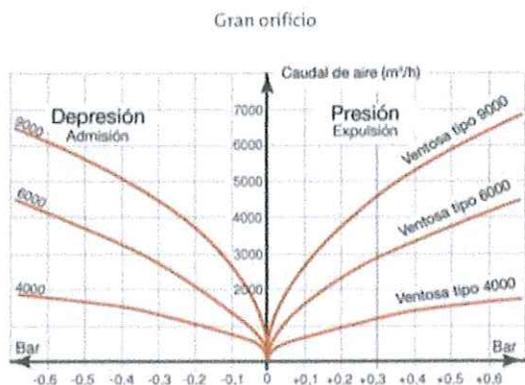
PASO 2. Admisión de aire en el vaciado o rotura franca sin crear depresión superior a 0,3 bar.



PASO 3. Purga de aire en Funcionamiento

### CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios de diseño corresponden a la presión de trabajo y el tamaño de los orificios de admisión y purga de aire.



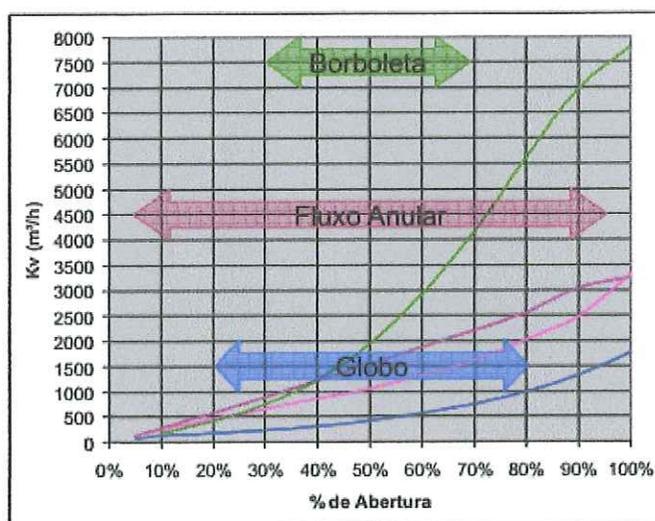
Tipo	PFA	DN
4000	16	60
	16	65
	25	60
	25	65
6000	16	80
	25	80
9000	16	100
	25	100
	25	150

## 5. VÁLVULA DE FLUJO ANULAR



Figura 7. Válvula de Flujo Anular PAM.

Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.



Es un dispositivo que tiene la capacidad de modular el flujo de agua y la presión diferencial elevada. Aunque la alta presión de entrada y gran diferencia de ejercicio de presión, la válvula de flujo anular es capaz de hacer una maniobra lineal en grado de parcialización relevante. La posibilidad de ser

accionada por dispositivos eléctricos permite que la válvula sea utilizada en combinación con un sistema de control para realizar múltiples funciones.

La válvula de flujo anular controla el flujo de agua a través del movimiento axial de un obturador operado por un mecanismo de biela y manivela. El flujo de entrada se canaliza a un pasaje de sección circular (anular) que disminuye gradualmente y luego aumenta desde la entrada al asiento de sellado.

El perfil interno de la válvula está diseñado para optimizar el perfil hidrodinámico para tener bajas pérdidas de carga con la válvula completamente abierta y minimizar los fenómenos de cavitación en caso de grandes diferencias entre las presiones de entrada y de salida de la válvula. En este caso, la válvula puede ser equipada con un cilindro especial de acero inoxidable para disipación de cargas hidráulicas.

## Tema de discusión

### Metodología BIM

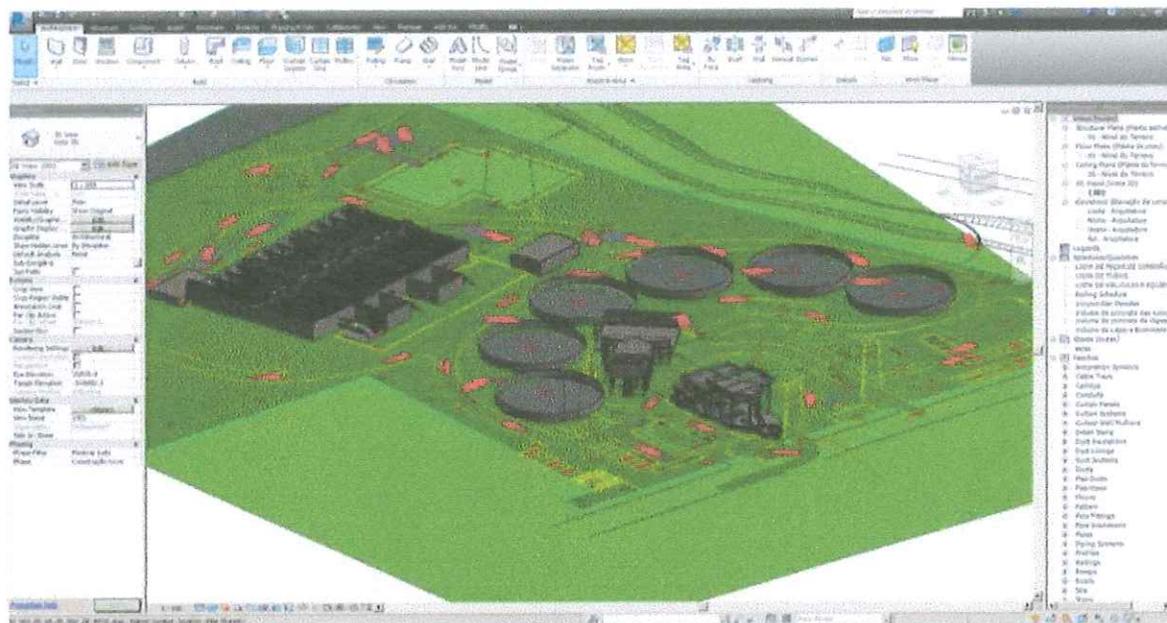


Figura 1. Visualización real de un Modelo BIM para Planta de Tratamiento.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017

En cuanto a tendencias asociadas al modelado de la información sobre la construcción, la metodología BIM permite aplicar un conjunto de tecnologías, procesos y políticas que permiten a las diversas partes interesadas, proyectar, construir, operar y mantener, de forma colaborativa e integrada, una edificación o conjunto de edificaciones.

Conceptualmente la Plataforma BIM envuelve siete dimensiones en proyecto:

**3D Modelado**, vistas virtuales, Animaciones, Conceptualización y Visualización Digital

**4D Planeamiento**, Control de Costos, Flujo de Caja, Logística de Obra, Cronogramas.

**5D Estimaciones**, Modelación y Estimación de costos en tiempo real para valoraciones y revisiones comerciales de los proveedores y contratistas.

**6D Sostenibilidad**, Modelaciones de eficiencia energética, elementos sostenibles, cumplimiento de certificaciones ambientales.

**7D Gestión de la Edificación**, Estrategias del ciclo de vida del proyecto, documentación As Built, Manuales operativos, Gestión de desgaste de unidades.



Figura 2. Posibilidades y Dimensiones de Plataforma BIM.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017

La metodología BIM se desarrolla en el software REVIT y permite crear un modelo tridimensional, georreferenciado y exacto, el cual tiene la posibilidad de integrar todos los sistemas de ingeniería de un proyecto, tales como elementos estructurales, eléctricos, mecánicos, arquitectónicos, naturales, operativos, energéticos, etc.

Cualquier modificación en el modelo, permite un reajuste completo sobre todos los elementos del proyecto, lo cual facilita la corrección integral de planos constructivos de forma inmediata.

La edificación aquí representa en realidad cualquier cosa, desde un Puente hasta un complejo conjunto de edificaciones como un Aeropuerto.

Dado que esta plataforma está diseñada para todo el ciclo del proyecto, la versatilidad de estos modelos ha permitido inclusive coordinar el remplazado de bombillos y calcular la periodicidad de la pintura de la obra.

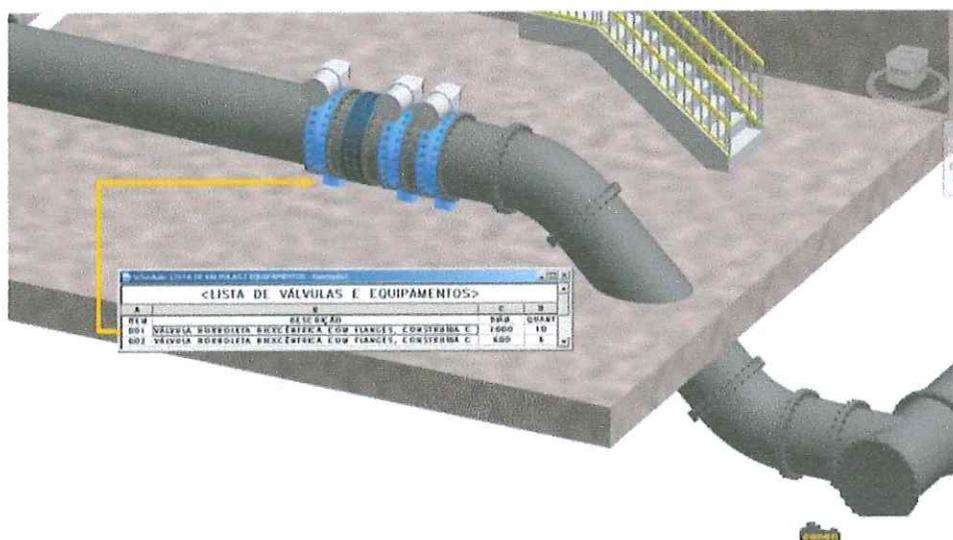


Figura 3. Visualización y Tabulación de Accesorios en Tuberías en Sistema BIM  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017

## Visitas realizadas

### Tema de discusión

#### Proceso de producción de tuberías de hierro dúctil

Durante la visita técnica realizada a la planta de producción de tuberías de hierro dúctil de la empresa PAM ubicada en Barra Mansa (Brasil) se hizo un recorrido por la fábrica para conocer todo el proceso de manufactura de las tuberías, además de los controles y ensayos de calidad que se realizan para garantizar el cumplimiento de normas internacionales.

En la siguiente Figura, se muestra el flujo del proceso de producción con las principales estaciones de trabajo.

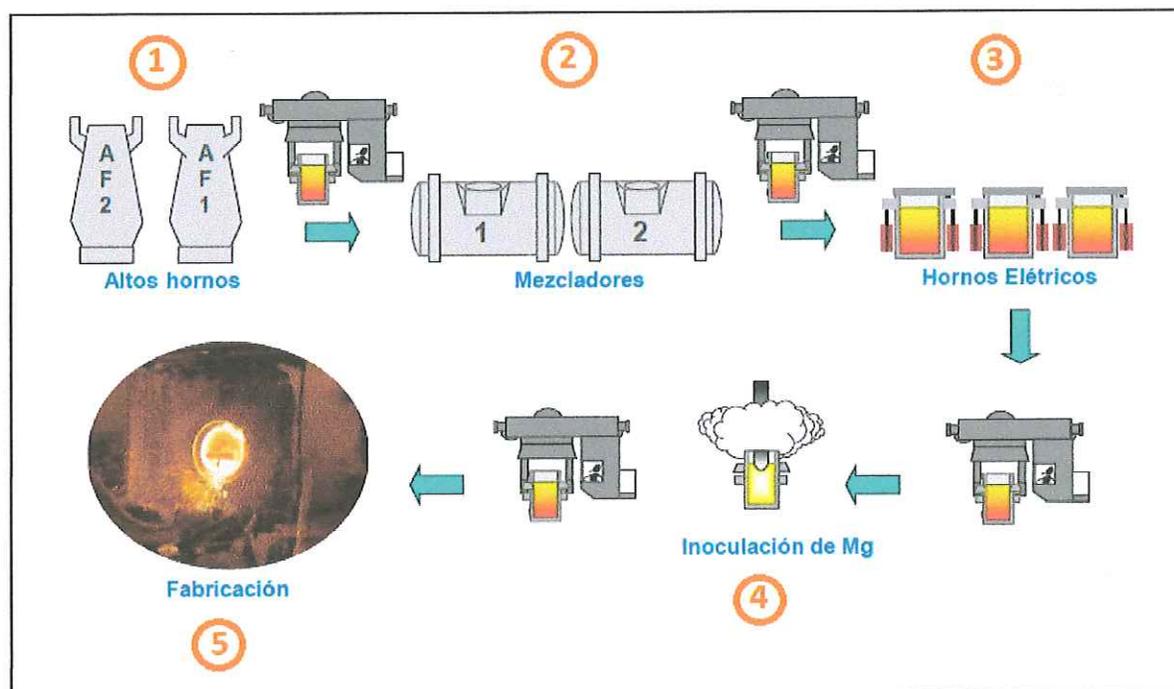


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de producción de tuberías de hierro dúctil.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

#### 1. Fundición en altos hornos

En esta etapa se hace la fundición se logra mediante reducción del mineral de hierro en un alto horno que trabaja a temperaturas mayores a los 1000° C. En la siguiente Figura, se muestra las principales actividades de esta etapa del proceso.



Figura 8. Proceso de fundición para producción de tuberías de hierro dúctil.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

En cada colada, la materia prima que se almacena a gran escala en los patios de la fábrica y que proviene de Minas Gerais en Brasil, es seleccionada y sometida a diferentes ensayos de laboratorio para asegurar un metal base de buena calidad y pureza. Básicamente, en esta fase hacen análisis para conocer la composición del

metal base (conocido como hierro gris) comprobando que los diferentes elementos que conforman la aleación se encuentren en una proporción adecuada y en caso contrario proceder a hacer correcciones. En la siguiente tabla se muestran valores de referencia de una composición química adecuada del material. Un elemento indeseado es el Azufre, ya que proporciones elevadas puede tornar frágil al material.

Análisis mediana del metal - %						
C	Si	Mn	P	S	Fe	Otros
3,91	2,30	0,26	0,11	0,082	93,15	0,20

Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

## 2. Mezcladores

El metal fundido se traslada hasta mezcladores para homogenizar el material, eliminando grumos y zonas de endurecimiento prematuro.

## 3. Hornos eléctricos

En estos hornos, la temperatura de la colada se ajusta hasta un punto óptimo para trabajar con ella. En esta etapa se puede hacer correcciones en la composición química adicionando chatarra o ferroaleaciones específicas. Además, en este punto se puede incorporar tubos rechazados por control de calidad, de manera tal que todos los materiales se reutilicen y se disminuya el desperdicio.

## 4. Inoculación con magnesio

Hasta el momento, el metal base o hierro gris se considera frágil. Esto se debe a que el grafito molecularmente está presente en forma lamina, así cuando los esfuerzos se concentran en ciertos puntos, algunas de estas láminas pueden generar grietas.

Para modificar esta condición desfavorable, se le agrega magnesio a la colada caliente, generándose una reacción química exotérmica que precipita las partículas del grafito hacia una forma esférica o nodular, de esta forma se reduce la formación de grietas y aumentando la ductilidad. En la siguiente Figura se puede apreciar la diferencia entre el grafito laminar (parte superior) y el grafito esferoidal (parte inferior)

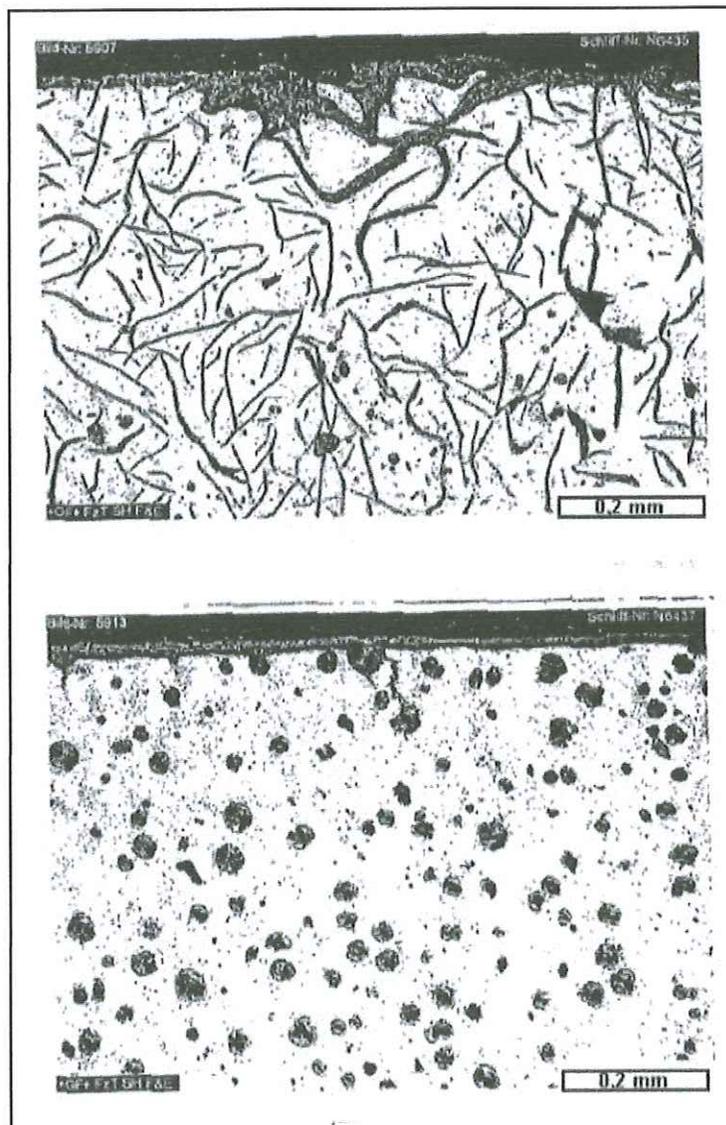


Figura 9. Diferencia entre grafito laminar y grafito nodular

A partir de este momento es que puede considerarse que se tiene un hierro dúctil con buenas propiedades de resistencia a la tracción, al impacto y a la elongación.

Todas estas propiedades químicas y físicas son probadas mediante diferentes ensayos de laboratorio realizados a una muestra tomada de un tubo por cada colada. Entre los principales ensayos que se realizan y que se lograron observar durante la visita se encuentran:

- **Análisis metalográfico:** Se prepara la muestra y se hace un análisis visual en el microscopio para verificar la forma del grafito, si hay presencia de grafito laminar el lote de producción se rechaza y los tubos deben ser refundidos. En la siguiente imagen se resumen las principales tareas llevadas para este ensayo.



Figura 10. Procedimiento para ensayo de metalografía.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

- **Resistencia a la tracción y elongación:** Se moldea una probeta que se coloca en una máquina de universal y somete a tracción hasta llevarla a la falla (ver Figura siguiente). Los valores de carga y deformación axial para llegar hasta este punto son registrados (trazabilidad) y comparados con los valores mínimos establecido en la norma.

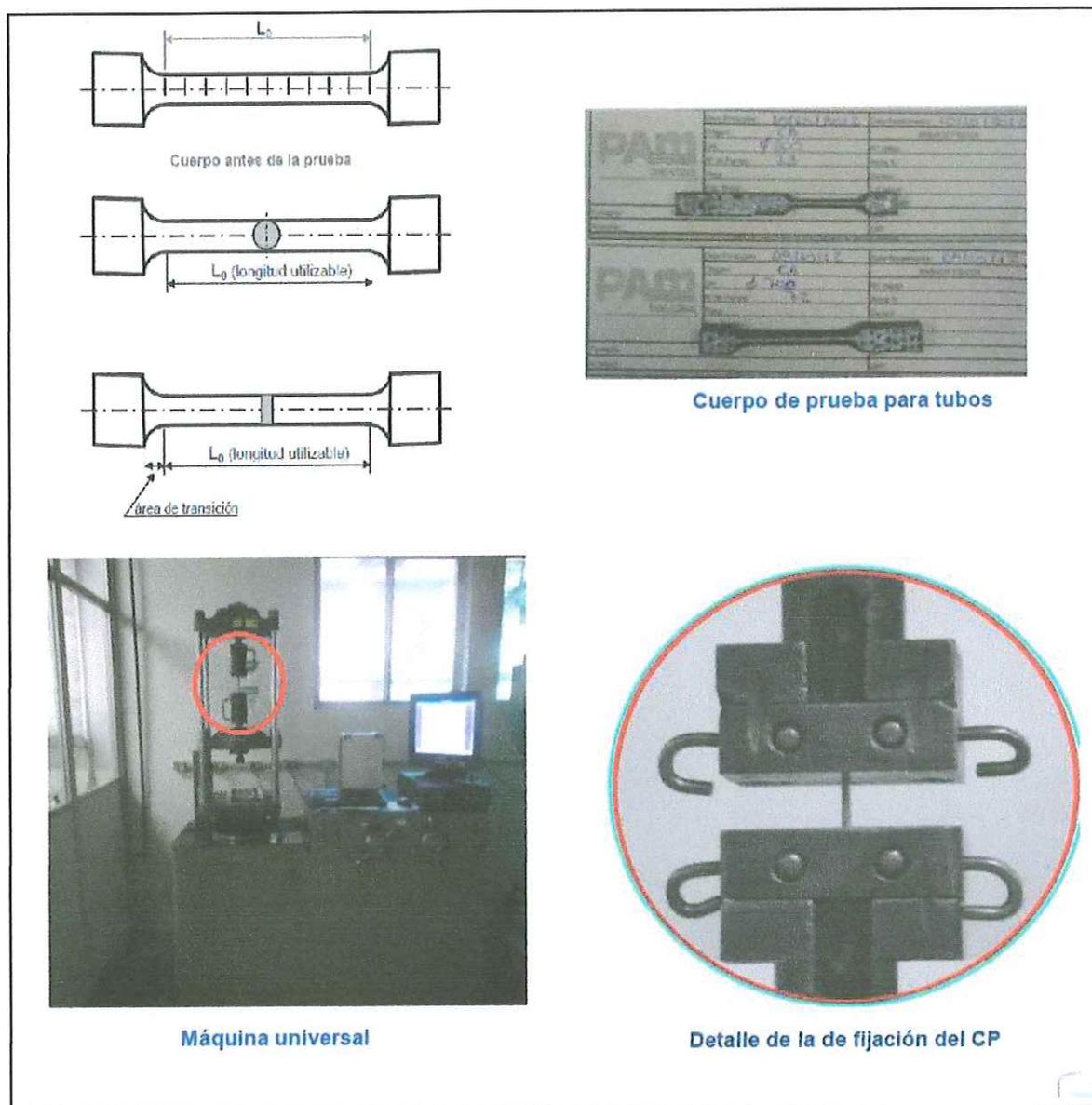


Figura 11. Ensayo para verificación de resistencia a tracción y elongación.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

## 5. Fabricación

Una vez obtenido el hierro dúctil se procede a fabricar los tubos de diámetro y clase de presión de acuerdo al programa de producción establecido por la fábrica. La fabricación se realiza mediante un proceso de centrifugación, donde el material líquido se introduce en un molde cilíndrico que se hace girar a muchas revoluciones por minuto para alcanzar la forma y espesor del tubo.

Después de enfriarse, cada tubo es sometido a una prueba de presión para comprobar su estanqueidad. El procedimiento consiste en tapar ambos extremos del tubo, llenarlo con agua y aumentar la presión hasta un cierto valor que está en función del diámetro y espesor del tubo. La presión debe mantenerse por 10 segundos. El tubo de prueba se considerará aprobado cuando no presenten cualquier tipo de exudado o fuga, o pérdida de presión registrada por el sistema. En la siguiente Figura se muestra la prueba.



Figura 12. Prueba de presión a tubos fabricados.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Seguidamente, se realiza un proceso de inspección visual y dimensional a los tubos aprobados, entre los aspectos revisados se pueden citar:

- Diámetro exterior. Todo tubo centrifugado con punta y campana o punta y brida, debe tener sus puntas inspeccionadas con un circómetro para verificación de conformidad da tolerancia del diámetro exterior. Esta verificación puede realizarse también a través de gabaritos del tipo pasa-no-pasa.”
- Ovalización. Se revisa que los tubos mantengan forma circular y no presenten achatamientos significativos. Se realiza mediante la introducción

de gabaritos dentro del tubo. Si el tubo no pasa en cierto rango, se puede someter a un proceso de desovalización mediante una prensa mecánica.

- Diámetro interior. Verificación del diámetro interior (DI) de la campana de la tubería de fundición dúctil, se lleva a cabo para cumplir con las dimensiones y las tolerancias descritas en la norma brasileña. Esto también garantiza la perfecta conectividad entre los elementos punta y campana y el anillo de goma. Para la prueba se introduce un gabarito que debe quedar justo.
- Espesor de pared. Se realiza mediante diferentes pruebas de ultrasonido y pesaje del tubo para identificar posibles variaciones a lo largo de la pieza.
- Longitud de los dos tubos Los tubos con punta/campana debe ser suministrados con longitudes estándar útiles indicadas en la norma. Por lo tanto, se revisa la cantidad total de tubos de cada lote y para cada diámetro nominal, el porcentaje de tubos más cortos no exceda el 10%"
- Linealidad de los tubos. Las tuberías de hierro dúctil deben ser rectilíneas, siendo la desviación admisible es de 0.125% de su longitud.
- La verificación de este requisito a través de inspección visual (regla metálica) pero, en caso de duda o controversia, se debe medir la desviación para lo cual se hace que la tubería gire sobre dos soportes o a lo largo de su eje, encima de rodillos que, en ambos casos, deben estar separadas por una distancia al menos igual a dos tercios de las correspondientes En esta prueba, se determina el punto de máxima flecha en relación a generatriz teórica y la desviación medida y se compara contra la norma.

En la siguiente Figura, se muestran algunas de las pruebas descritas.

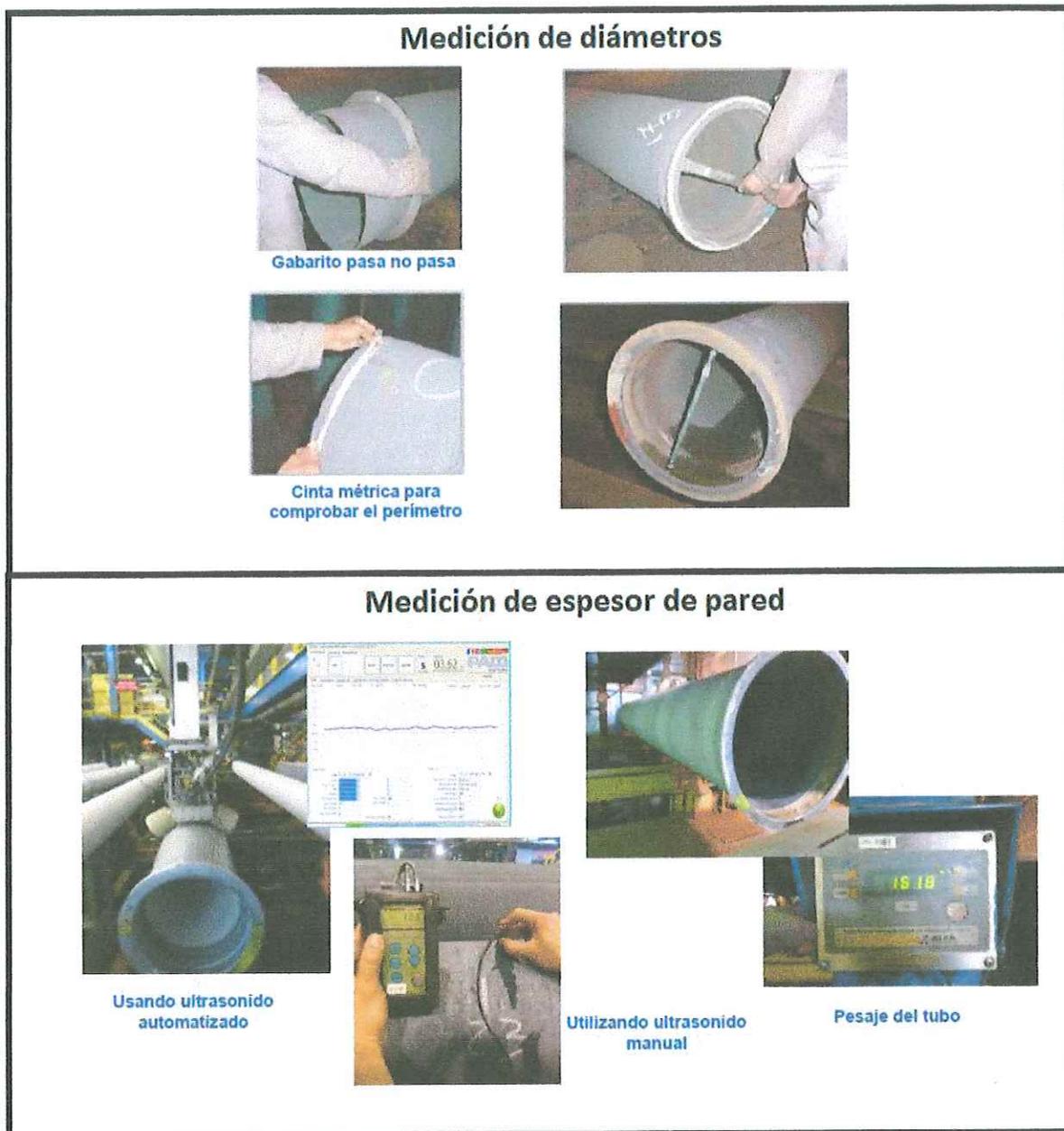


Figura 13. Ensayos dimensionales de control de calidad para tuberías de HD.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Posteriormente, a los tubos que pasan el control de calidad se les aplica un revestimiento interno de mortero-cemento para cumplir los siguientes objetivos:

- Proteger la superficie del metal contra la formación de tubérculos (ensuciar) y a la corrosión

- Reducir la rugosidad interna y, en consecuencia, reducir las pérdidas de carga.

El proceso consiste en introducir una espiga perforada dentro del tubo para inyectar la lechada, mientras se hace girar el tubo para garantizar una distribución uniforme del material de recubrimiento. En la siguiente Figura se aprecia la espiga ingresando a la tubería



Figura 14. Aplicación del revestimiento interno de mortero-cemento.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

El siguiente paso consiste en la aplicación del revestimiento externo de con zinc metálico en toda la extensión del tubo. Esta capa funciona como protección catódica galvánica y función anticorrosión en el producto. Luego, se aplica un revestimiento bituminoso, una barrera química que disminuye la migración de zinc metálico al suelo.

En la siguiente Figura se aprecia el proceso de metalización para aplicar el zinc, así como las pruebas para verificar el espesor de los revestimientos aplicados.

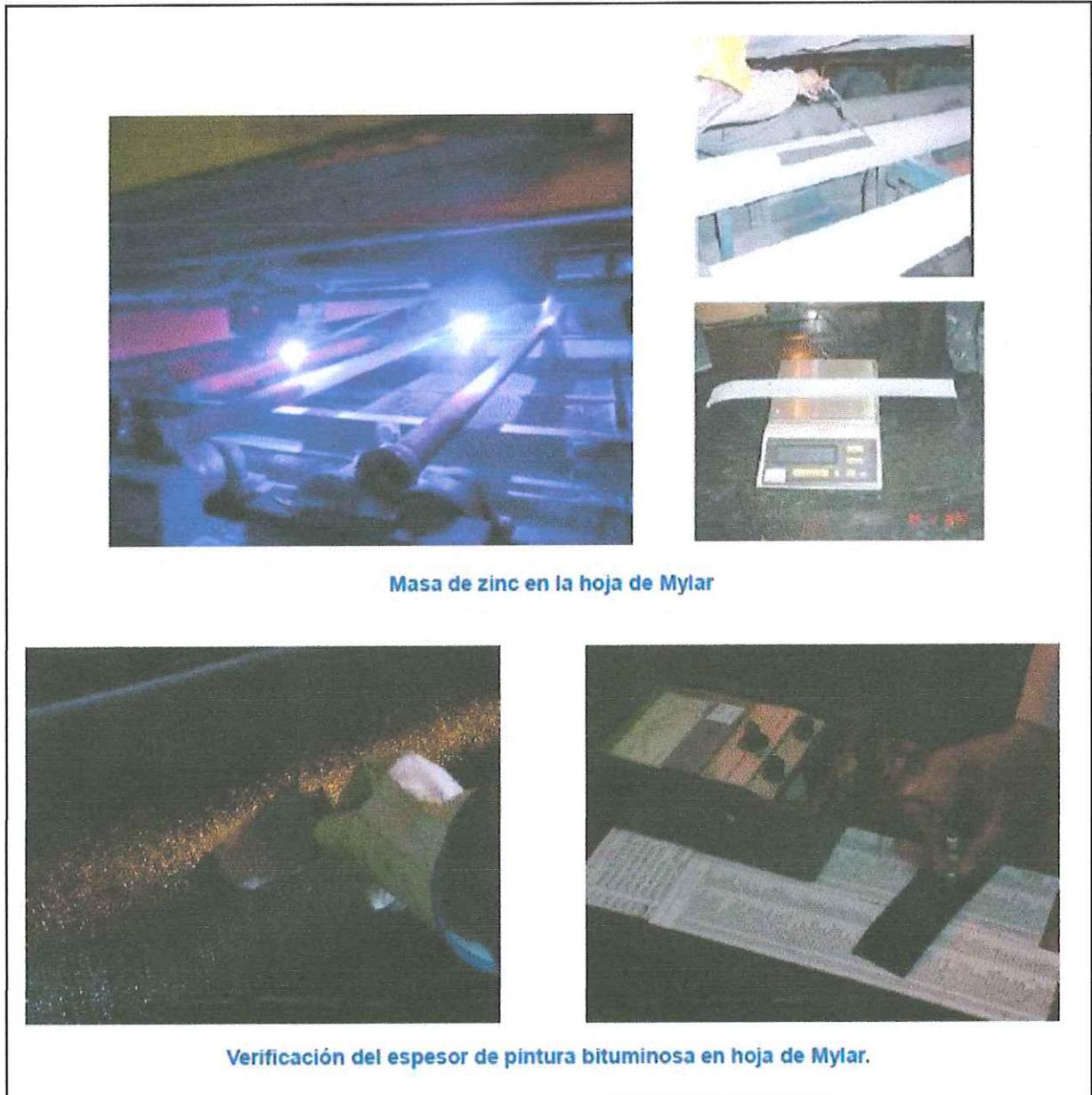


Figura 14. Proceso de aplicación de revestimientos externos.  
Fuente: Material suministrado en la Academia PAM Latinoamérica 2017.

Con esto finaliza el proceso de producción de un tubo estándar de HD. Finalmente, los tubos de producción se almacenan por lotes en los patios de almacenaje ubicados en la fábrica.

## Conclusiones /Recomendaciones

- De acuerdo a las características inherentes (físicas y mecánicas) de la tubería de hierro dúctil esta se ajusta muy bien a las condiciones topográficas, sísmicas, geotécnicas y químicas de los suelos de Costa Rica.
- Se debe realizar una valoración de costos de la instalación de las tuberías de hierro dúctil en comparación con tuberías de otros materiales, pero a la vez sopesar si las características de este material aportan ventajas que justifican su instalación, aunque su coste sea superior.
- Se debe considerar la utilización de tubería acerrojadas como una alternativa para sustituir la utilización de bloques de anclaje en lugares en donde el espacio disponible es limitado y hay dificultades constructivas, esta alternativa se convierte en una solución atractiva para resolver un problema que es común en los sistemas del AyA.
- Debe valorarse con seriedad la utilización de turbogeneradores en algunos proyectos clave, ya que se convierte en una alternativa muy atractiva para resolver el problema de energización de los equipos electromecánicos de los proyectos del AyA, estos pueden reducir costos importantes derivados de la construcción de tendidos eléctricos de media tensión.
- La UEN programación y control debe incorporar en sus diseños software para el análisis de transitorios hidráulicos, con el fin de realizar diseños más seguros y económicos, urge un programa de capacitación en este tema.
- La gama de software para diseño de sistemas hidráulicos ofrecida por las casas comerciales es amplia y de licencia libre, se recomienda su utilización para profesionalizar más y enriquecer los productos finales de diseño de la UEN PyC.

## Anexos

*Se Incluye CD con Software y Documentación relacionada al Taller PAM.*

