

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**TRAZADO Y DISEÑO DE TUBERÍAS DE POLIPROPILENO EN LUGAR  
DE TUBERÍAS DE PVC**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de BACHILLER EN CIENCIAS  
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORES:**

Ynchicsana Bellido, Johan Paul

Suarez Cabellos, Percy Enrique

Santa Cruz Curo, Gustavo André

Choquehuanca Campos, Jorge Luis

Neira Contreras, Ricardo Manuel

**ASESOR:**

Luis Enrique Torres Mendoza

Lima, agosto, 2020

## RESUMEN

El polipropileno es un material con características únicas, ya que su composición hace que sea un plástico muy resistente y que sus aplicaciones sean muy diversas. El sistema de tuberías de polipropileno viene siendo usado desde 2008 y ha revolucionado las bases de la fontanería por lo que es utilizado actualmente en un 60% de las obras de construcción. En este caso se evaluará los beneficios de las tuberías de polipropileno en comparación a las tuberías de PVC mediante un análisis comparativo entre el trazado y diseño para ambos sistemas. Por un lado, se contrastará las condiciones del trazado y diseño de los dos sistemas de tuberías. Por otro lado, se comprará cálculo de pérdidas de presión que se generan en ambos sistemas.

La metodología se ampara en los pilares de una investigación cuantitativa. Se realizará el trazado y diseño utilizando las consideraciones para cada tipo de tuberías en el caso del pabellón de aulas de informática de un colegio en el distrito de La Molina. Los resultados que se obtuvieron muestran que existe un beneficio de utilizar menores accesorios con las tuberías de polipropileno, sin embargo, en el este dato no ha influido en el cálculo de caída de presión, ya que sí se considera el coeficiente de rugosidad. Por otra parte, las dimensiones de los diámetros con polipropileno en este sistema fueron mayores que el de PVC, ya que se utiliza unidades de medida como es el métrico. Por lo tanto, se concluye que las condiciones de trazado y dimensionamiento con polipropileno generan mayores facilidades maximizando recursos en comparación de las tuberías de PVC. Asimismo, se presentaron algunas recomendaciones para trabajos futuros para profundizar el tema de la investigación.

## AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y todas las personas que pusieron su confianza en nosotros para llevar de la mejor manera la carrera universitaria. Ha sido un largo camino lleno de enseñanzas que está llegando a su final, pero que tan solo es el inicio de algo más grande y por ello también recordamos a todos los profesores de la universidad. A aquellos profesores que nos educaron en la Ciencia y la Ingeniería y sobretodo nos inculcaron valores y aptitudes humanas.



# ÍNDICE

RESUMEN .....	I
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES .....	1
1.1 Introducción: .....	1
1.2 Justificación: .....	1
1.3 Alcance: .....	2
1.4 Objetivos: .....	3
1.5 Metodología .....	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Introducción .....	5
2.2. Información técnica del polipropileno .....	5
2.2.1 Polipropileno .....	5
2.2.2 Tuberías de polipropileno .....	8
2.3. Características de las tuberías de PP-R .....	9
2.3.1 Propiedades de las tuberías de PP-R .....	11
2.3.2 Comparación con otros materiales .....	12
CAPÍTULO 3. CASO DE ESTUDIO: PABELLÓN DE SALAS DE CÓMPUTO EN EL DISTRITO DE LA MOLINA .....	15
3.1 Introducción .....	15
3.2 Principios para la instalación de tuberías .....	15
3.3 Diseño de las instalaciones sanitarias.....	18
3.3.1 Tuberías de PVC .....	19
3.3.2 Tuberías de polipropileno .....	21
3.4 Análisis comparativo de ambos sistemas .....	23
3.4.1 Análisis del trazado de tuberías.....	23
3.4.2 Análisis del dimensionamiento .....	23
3.4.3 Análisis del cálculo de pérdidas .....	24
3.4.4 Análisis Económico .....	24
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES .....	25
4.1 Conclusiones .....	25
4.2 Recomendaciones.....	26
BIBLIOGRAFÍA .....	27
ANEXOS .....	29

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ventajas y desventajas del Polipropileno (Adaptado de Maddah, 2016) .....	6
Figura 2.2 Aplicaciones de polipropileno representado en volúmenes de ventas mundiales (Boragno et al., 2017) .....	7
Figura 2.3 Fusión de la tubería con el accesorio (Aquatherm, 2015) .....	10
Figura 3.1 Trazado preliminar de instalaciones sanitarias .....	17
Figura 3.2 Sistema de tuberías de PP-R ancladas a losas (Aquatherm, 2015).....	18



## LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Perspectiva histórica de los materiales en las tuberías de polipropileno (Adaptado de Sandstrum et al., 2016). .....	8
Tabla 2-2 Propiedades mecánicas y térmicas del PP-R (Adaptado de REDI, 2013). .....	11
Tabla 2-3 Comparación de propiedades de tuberías de plástico (PP-R, PEX) y metal (acero y cobre) (Adaptado de Zgoul & Habali, 2008). .....	13
Tabla 2-4 Comparación de propiedades de tuberías .....	14
Tabla 3-1 Ejemplo del cálculo del diámetro y pendiente de tubería.....	20
Tabla 3-2 Ejemplo del cálculo de la pérdida de carga para un tramo de tubería de PVC.....	20
Tabla 3-3. Velocidad máxima según el diámetro.....	21



# CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

## 1.1 Introducción:

A través de los años el uso del polipropileno se ha ido propagando de manera constante desde que se introdujo al mercado por primera vez en 1957, debido a que se han demostrado muchas propiedades que tienen distintas aplicaciones (Guidetti et al., 1996). Actualmente está presente en sectores como el automotriz donde se desarrollan parachoques y tableros, el sector de minería, la fabricación de electrodomésticos, mobiliario, entre otros. Este crecimiento se explica en parte por las características de éste material como su capacidad elástica, su vida útil, sus propiedades mecánicas como su resistencia; por otro lado, es un material respetuoso con el medio ambiente y con un costo de producción relativamente bajo. Se puede decir entonces que es muy versátil y por ello se ha ido adaptando al mercado rápidamente.

En cuanto al sistema de agua y alcantarillado, las propiedades del polipropileno descritas anteriormente son muy buenas en el campo de la fontanería, ya que los tubos deben ser resistentes ante la presión de agua y por otro lado su flexibilidad aporta a que los sistemas de conexión sean diseñados con un trazado óptimo. Uno de los tipos de tuberías de polipropileno que se tienen son las de polipropileno co-polímero Random (PP-R) que tiene ciertas ventajas en los sistemas de agua con respecto a otras tuberías como que tiene pérdidas mínimas de agua por su sistema de uniones por soldadura, durabilidad, resistencia y costo.

## 1.2 Justificación:

El polipropileno ha demostrado ser un material de gran utilidad en la fontanería, sin embargo, todavía se puede explorar en la utilidad de este material. Se estima actualmente que la producción

anual de polipropileno actualmente es de 12 millones de toneladas y pese a su crecimiento exponencial sigue considerándose un material relativamente nuevo. En cuanto a los sistemas de tuberías, se tienen mejores resultados con este sistema que con uno convencional diseñado con tuberías de PVC.

El principal problema que existe detrás de esta investigación es que, a pesar de la expansión del polipropileno, en Perú su uso es muy limitado en el sentido que muchas personas no conocen este sistema y su utilidad, además de que no existe una normativa específica para el uso de este sistema. Probablemente, esta falta de uso se deba a que es un material bastante nuevo y porque las principales industrias de fontanería siguen comercializando a mayor escala las tuberías de PVC. Entonces se necesita mayor número de investigaciones al respecto que puedan desarrollar las bases teóricas para el uso de este sistema adaptado a un contexto local y también que comprueben la mayor rentabilidad de este material para que se comercialice a mayor escala su producción.

### **1.3 Alcance:**

Esta investigación pretende generar una comparación entre dos sistemas de agua, por lo que se deben tener las siguientes consideraciones:

- El análisis comparativo solamente abarcará el ámbito técnico y económico de los sistemas, a pesar de que se pueden generar otros tipos de análisis en cuanto a las propiedades químicas, térmicas o ambientales que se presentarán para las tuberías de polipropileno.
- El sistema de tuberías de polipropileno no tiene una normativa específica en Perú, por lo que el diseño y consideraciones técnicas están basadas en las normas ISO 15874 y DIN 8077, en cuanto a los materiales de diseño estos siguen tales normativas y se considerará las existencias en el contexto local.
- El marco conceptual es presentado en términos genéricos para las tuberías de polipropileno y para la parte aplicativa se considerará solamente el sistema de tuberías de PP-R.

#### **1.4 Objetivos:**

Esta investigación tiene como objetivo generar un análisis comparativo técnico y económico entre un sistema de tuberías diseñadas con polipropileno y otro diseñado de manera convencional con PVC y aplicarlo a un caso de estudio.

Objetivos específicos:

- Desarrollar la base teórica para la caracterización del polipropileno y presentar las características del sistema de tuberías de agua basado en este material.
- Presentar datos teóricos comparativos sobre las especificaciones técnicas, el trazado y el diseño de las tuberías de PVC y las tuberías de polipropileno.
- Mostrar un caso de aplicación en Lima donde los datos comparativos muestren de manera teórica las diferencias para el trazado y diseño donde con ambos sistemas de tuberías.
- Comparar el cálculo de pérdidas de presión que se generan en ambos sistemas, determinar qué sistema es más adecuado y bajo qué circunstancias se pueden aplicar los diseños presentados en el estudio.

#### **1.5 Metodología**

La metodología se desarrolla en cuatro etapas, las dos primeras presentan el marco teórico de la investigación y las dos últimas son la aplicación a un caso de estudio.

##### **Marco conceptual de la investigación:**

El marco conceptual presenta la descripción del polipropileno y sus aplicaciones en los sistemas de tuberías de agua, por ello, se presentará información técnica del material, sus propiedades y aplicaciones. Adicionalmente, se construirá un estado del arte de las recientes investigaciones sobre el polipropileno y específicamente las tuberías de agua de polipropileno.

## **Sistema de tuberías de polipropileno**

Esta etapa consiste en presentar la información técnica para el sistema de tuberías de polipropileno y luego comparar los datos técnicos mostrados con el sistema convencional de tuberías de PVC. El análisis de la información técnica en cuanto a las tuberías de polipropileno abarca tres componentes: el marco normativo que define su uso, las especificaciones técnicas (con un enfoque hacia las tuberías de polipropileno co-polímero Random) y el procedimiento que se sigue para generar un trazado y diseño de éstas tuberías.

### **Diseño de un sistema de tuberías de polipropileno:**

Luego de haber definido toda la base teórica se presentará un caso de aplicación en Lima, en el cual se diseñará el sistema de agua usando ambos métodos, el tradicional con tuberías de PVC y el método más reciente de tuberías PP-R.

### **Análisis comparativo práctico:**

Con todos los datos obtenidos de los diseños para ambos sistemas se presentarán las características técnicas y económicas para cada sistema y con ello se hará una comparación para determinar cuáles son los beneficios de cada sistema de agua. Tal y como se desarrolle en la segunda etapa, el uso de polipropileno debe superar ampliamente al sistema tradicional, entonces con el caso de aplicación se puede poner en cifras las mejoras que se tendrían con este material.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Introducción**

Los plásticos son materiales que se caracterizan por ser maleables y se categorizan en cuatro grupos: termoplásticos, elastómeros, termoestables y compuestos poliméricos. Dentro del grupo de los termoplásticos se diferencian los materiales de composición amorfa como el policloruro de vinilo (PVC) y composición semi-cristalina como el polipropileno (PP) (Maddah, 2016). El desarrollo del polipropileno viene después del polietileno, el cual se introdujo al mercado en 1941 y posterior a este evento se generó un incremento exponencial en su producción debido a las propiedades que se fueron descubriendo de este tipo de materiales. El polietileno lineal comparte muchas características con el polipropileno tanto en el ámbito técnico como en el comercial (Kresser, 1960). Se considera a este como un antecesor en la producción del polipropileno ya que la tecnología desarrollada para el polietileno lineal, tal como los catalizadores Ziegler fue aplicada a la producción de polipropileno. En cuanto al material, el polipropileno isostático se introduce en el mundo científico en 1954 con mucha expectativa por las características que posteriormente se validarían y gracias al descubrimiento del profesor Natta se produjo un desarrollo investigativo considerable en cuanto a la polimerización (Kresser, 1960).

### **2.2. Información técnica del polipropileno**

#### **2.2.1 Polipropileno**

El polipropileno (PP) es un material termoplástico producido por la polimerización de las moléculas de polímero muy largas. Existen diferentes formas de unir monómeros, está el PP isostático que es la forma más comercializada y el producto es un sólido semicristalino con

buenas propiedades físicas, mecánicas y térmicas. La otra forma es el PP atáctico que es un subproducto de mucho menor calidad (Kissel et al., 2003). El polipropileno es semicristalino ya que tiene fases cristalizadas y amorfas dentro de su composición, entonces, se puede también clasificar considerando la cantidad relativa de cada fase y esto se puede manejar de acuerdo a características estructurales y estereoquímicas de las cadenas de polímeros y la manera en las que las resinas se transforman en el producto. Según Kissel et al. (2003) se puede considerar tres tipos de polipropileno, el polipropileno homopolímero (PP-H) el cual solo tiene monómeros de propileno en su forma semicristalina, el polipropileno copolímero random (PP-R) que contiene etileno como un comonomero en las cadenas de polipropileno en un porcentaje del 1 al 8% y el copolímero de impacto (PP-I) que representa una combinación entre ambos y que, además la fase de PP-R tiene un contenido del 45 al 65% de etileno.

En cuanto a las propiedades del polipropileno, se lo considera como un material semirrígido, translúcido, además es un material resistente tanto frente a los agentes químicos como a los cambios térmicos y a la fatiga. El polipropileno tiene un alto grado de ablandamiento, alta resistencia al estrés al ser sometido a flexión, absorción de agua muy bajas, resistencia eléctrica alta y es un material amigable con el medio ambiente (Maddah, 2016).

Ventajas del PP		Desventajas del PP
Homopolímero	Copolímero	Degradación por rayos UV
Buena capacidad de proceso	Buena capacidad de proceso	Inflamable, con grados de retraso disponible
Buena resistencia de impacto	Alta resistencia de impacto	Atacado por solventes clorados y aromáticos
Buena rigidez	Rigidez alta	Dificultad al doblar
Contacto con comida, aceptable	Contacto con comida, no recomendable	Varios metales aceleran la degradación por oxidación
		Pobre resistencia de impacto en temperaturas bajas

Figura 2.1 Ventajas y desventajas del Polipropileno (Adaptado de Maddah, 2016)

En cuanto al ámbito de la ingeniería las propiedades más relevantes para un diseño son propiedades mecánicas que en este caso vienen a ser la rigidez, la resistencia y la resistencia de impacto. La rigidez se evalúa a través del módulo de flexión y la resistencia de impacto mediante distintas pruebas referidas al impacto como la prueba de impacto Izod a temperatura ambiente y

por debajo de esta temperatura, con esto se evalúa el material para un estado moldeado. La resistencia se mide a través de la deformación en el punto de fluencia del objeto (Kissel et al., 2003). Entonces debido a las buenas propiedades térmicas y mecánicas del polipropileno, este material ha experimentado un crecimiento exponencial en su producción y consumo durante las últimas décadas (Pasquini, 2006). Desde que se empezó a comercializar el polipropileno tuvo una buena acogida, esto se debía a la versatilidad de usos que tiene este material, tanto que lo encontramos en diferentes industrias como alimentos, cosméticos, medicina, mueblería, etc. Según Carraher (2003), el PP pasó de tener una producción de 1900 millones de libras en el 1975 a producción de 15,460 millones de libras para el año 2000 y de esta manera se ha mantenido como el segundo plástico de mayor producción después del polietileno.

En cuanto al uso del polipropileno se puede decir que tiene un mercado global de 50 millones de toneladas por año y este se está expandiendo aceleradamente por lo que se requieren materiales con altos rendimientos. Las aplicaciones de este material son amplias y en la Figura 2.2 se muestran las principales, se observa que el moldeo por inyección es el área principal, mientras que las tuberías representan aproximadamente el 3% del volumen total de polipropileno en todo el mundo (Boragno et al., 2017).

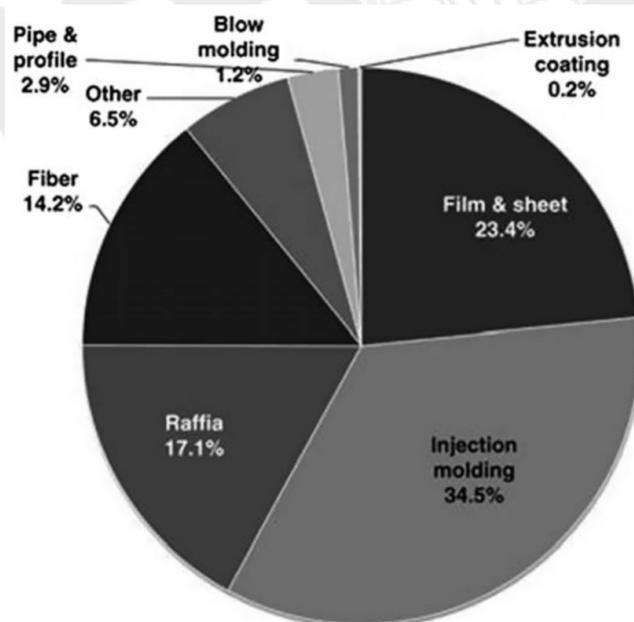


Figura 2.2 Aplicaciones de polipropileno representado en volúmenes de ventas mundiales (Boragno et al., 2017)

### 2.2.2 Tuberías de polipropileno

La aplicación del polipropileno se ha venido desarrollando en el campo de la fontanería, casi desde su creación. Kresser (1960) en su tiempo ya pronosticaba que las tuberías de polipropileno tendrían un amplio desarrollo para las instalaciones sanitarias de uso doméstico y esto dependería del desarrollo de nuevas técnicas y métodos de instalación, además de las normativas. Kresser (1960) también señala que las tuberías de plástico no tenían tanta popularidad, ya que las regulaciones en el ámbito hacían difícil el impulso de ese material, además de que las pruebas anteriormente hechas con materiales plásticos no habían dado buenos resultados por la baja calidad del material.

Las tuberías de polipropileno se empezaron a usar a partir de 1961 con la producción de polipropileno homopolímero. Esta tubería era rígida y con buenas propiedades relacionadas a la resistencia química y térmica, sin embargo, sufría de rajaduras a bajas temperaturas. Para 1965, se mejoraron las propiedades a baja temperatura con el uso de polímeros con peso molecular más elevado y con ello se aseguró la conveniencia de este material en tuberías (Colbert, 1979). Posteriormente se desarrollarían otros tipos de tuberías con propiedades mejoradas, tal como se muestra la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Perspectiva histórica de los materiales en las tuberías de polipropileno (Adaptado de Sandstrum et al., 2016).

Tipo PP	Año (1)	Estructura (2)	Densidad típica (3)	Índice de derretimiento MFR (3)	Temperatura de transición vítrea Tg (3)	Resistencia mínima MRS (3)	Fuerza hidrostática CRS (3)
PP-H	1963	Homopolímero	905kg/m <sup>3</sup>	MFR, 0,3g/10min	≈4°C	MRS 10	N/a
PP-B	1972	Copolímero en bloque	905kg/m <sup>3</sup>	MFR, 0,3g/10min	≈0°C and -50°C	MRS 8	N/a
PP-R	1980	Copolímero Random, α esferulita	905kg/m <sup>3</sup>	MFR, 0,3g/10min	≈-2°C	MRS 10	CRS 3,15
PP-RCT	2002	Copolímero Random, β nucleación	905kg/m <sup>3</sup>	MFR, 0,25g/10min	≈-2°C	MRS 11,2	CRS 5

- Año aproximado de introducción al mercado
- Estructura molecular típica
- Valores representativos típicos

El Polipropileno Homopóimero (PP-H) es la forma más simple de sintetizar el PP, este tipo de configuración tiene alta isotacticidad y, por tanto, alta cristalinidad lo que le confiere buena resistencia, resistencia al calor y rigidez relativamente alta. La temperatura de transición vítrea es de 4 °C y debajo de esta temperatura el material se vuelve frágil (Sandstrum et al., 2016). Las moléculas de etileno en la cadena de polipropileno se pueden copolimerizar al tener forma de bloque, Este proceso genera el tipo de tubería de polipropileno copolímero en bloque (PP-B). El PP-B tiene como características que tiene mayor resistencia de impacto, especialmente a temperaturas bajas, aunque las propiedades como resistencia y rigidez disminuyen para pruebas en temperaturas altas.

Las tuberías de polipropileno-copolímero Random (PP-R) se produce mediante un balance entre la copolimerización del propano y del etano, El resultado es un balance de las propiedades como resistencia a la temperatura, resistencia al impacto, rigidez, entre otras propiedades físicas o de rendimiento. El PP-R es usualmente el material elegido en cuanto a tuberías de agua fría y agua caliente por el equilibrio de resistencia hidrostática a largo plazo, resistencia a la temperatura y resistencia al impacto (Sandstrum et al., 2016).

Durante las dos últimas décadas se ha generado otro desarrollo importante con las tuberías de polipropileno Random de estructura cristalina y resistencia en temperatura (PP-RCT, por sus siglas en inglés) que son predecesoras de las tuberías PP-R. Las tuberías PP-RCT se producen mediante la formación de cristales  $\beta$  a través de una nucleación, en la cual se generan estructuras hexagonales.

### **2.3.Características de las tuberías de PP-R**

El copolímero Random de polipropileno (PPR) es un termoplástico producido a través de la copolimerización del propileno y pequeñas cantidades de etileno. El comonomero de etileno tiene la función de interrumpir la cristalización de la cadena principal de propileno que genera

irregularidades que disminuye su cristalinidad, rigidez, punto de fusión y temperatura de transición vítrea (Yu et al., 2014). Como se mencionó anteriormente es uno de los materiales más usados en la industria de la fontanería y su aplicación se ha fusionado desde el sistema convencional de transporte de agua fría y caliente hasta el sistema de aire acondicionado y otras aplicaciones industriales y médicas. Adicionalmente, se tiene una gran variedad de accesorios que pueden soldarse para crear sistemas que reducen al mínimo la probabilidad de fugas internas, por otro lado, se tiene un balance tal que en temperaturas muy altas o bajas se mantienen muchas propiedades en el sistema de tuberías PPR (Ouardi et al., 2018).

Las Tuberías de PP-R son producidas de una manera similar a la mayoría de termoplásticos, en resumen, se derrite el material, se le da forma y luego se congela. En general el proceso de fabricación de tuberías de plástico es la extrusión y los accesorios se producen por inyección en moldes. Con respecto a las uniones de tuberías de polipropileno, estas se realizan con un sistema denominado fusión por calor. La unión está dada mediante el calentamiento de una tubería y su unión a otra o a un accesorio, ver Figura 2.3, esta unión genera una transición uniforme entre los componentes de ambos elementos de tal manera que no se reduzca la resistencia de los materiales y se genere menor pérdida de carga. Entre los procesos de unión más aplicados están la termofusión y la electrofusión.



Figura 2.3 Fusión de la tubería con el accesorio (Aquatherm, 2015)

### 2.3.1 Propiedades de las tuberías de PP-R

Las tuberías de PP-R se caracterizan por sus excelentes propiedades como su elasticidad, rigidez, estrés de tracción y resistencia a la compresión tal y como muestra la Tabla 2.2. Las propiedades que destacan más de este material son la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a una gran variedad de líquidos y gases que pueden pasar a través de la tubería (REDI, 2013). En cuanto a las aplicaciones con fines de calentamiento, resistencia a la corrosión y facilidad de trabajo el polipropileno, específicamente el PP-R, es un material superior en relación a los materiales tradicionales como el acero y el cobre (Zgoul & Habali, 2008).

Zgoul y Habali (2008) demuestran que el PP-R es uno de los tipos de tubería con mayor capacidad térmica ya que se comportan de manera satisfactoria cuando son sometidos a tensiones térmicas durante largos períodos de tiempo, también llamado el efecto de envejecimiento. En ese sentido, se tiene pruebas a temperaturas muy altas y muy bajas para determinar el envejecimiento y bajo cualquier escenario se tiene un tiempo de vida útil mayor a 50 años. Además, poseen conductividades térmicas y eléctricas bajas con puntos de fusión más bajos que el acero. Por lo tanto, exhiben mayor conservación y seguridad energética.

Tabla 2-2 Propiedades mecánicas y térmicas del PP-R (Adaptado de REDI, 2013).

Propiedad	Valor típico	Unidad	Método de prueba
Peso específico	905	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1133
Índice de fluidez 230°C/2,16kg 190°C/5kg	≤0,5 ≤0.8	g/10 min. g/10 min.	ISO 1133
Módulo de flexión (2mm/min)	800	MPa	ISO 178
Módulo de elasticidad a la tracción (1mm/min)	900	MPa	ISO 527
Estrés de tracción en rendimiento (50 mm / min)	25	MPa	ISO 527
Tensión de tracción en rendimiento (50 mm / min)	13.5	%	ISO 527
Resistencia al impacto (Charpy) 23 °C 0 °C (-)20 °C	Sin quiebre Sin quiebre 40	kJ / m <sup>2</sup> kJ / m <sup>2</sup> kJ / m <sup>2</sup>	ISO 179 / 1eU

Continúa Tabla 2-2.

Propiedad	Valor típico	Unidad	Método de prueba
Resistencia al impacto mellada (Charpy)			ISO 179 / 1Ea
23 °C	20	kJ / m <sup>2</sup>	
0 °C	3.5	kJ / m <sup>2</sup>	
(-)20 °C	2	kJ / m <sup>2</sup>	
Coefficiente de térmica lineal Expansión	1.5 * 10 <sup>-4</sup>	1/K	DIN 53752
Coefficiente de térmica Conductividad	0.24	W / m.K	DIN 52612
Calor específico	2	J / g.K	Calorímetro

### 2.3.2 Comparación con otros materiales

Las tuberías de cobre se usan cada vez con menos frecuencia, principalmente porque tiene un precio alto y se desgastan rápidamente por la velocidad del agua. Estas tuberías tienen otras dificultades como la corrosión del metal, peso elevado, entre otros. Según Casanova 2005, tanto las tuberías de PP-R y las de cobre presentan virtudes y se adecuan muy bien a las instalaciones sanitarias, pero lo más importante es considerar los beneficios que aportaría cualquier tubería dependiendo de un proyecto específico, además el mayor desafío está relacionado a la instalación de estas tuberías.

Con respecto a las tuberías de polietileno reticulado (PEX), Zgoul realiza un análisis comparativo entre tuberías de PP-R, PEX, acero y cobre. En este estudio determina que las tuberías de plástico son más adecuadas que las tuberías de metal como tubería que transporta agua caliente y el PP-R es más adecuado que el PEX como tubería térmica. La tabla muestra una comparación de las propiedades de las tuberías con un enfoque en el sistema de agua caliente. Por otro lado, la mayor diferencia entre las tuberías de PP-R y tuberías PEX son las uniones, ya que el polipropileno tiene una unión de los accesorios y tubos por un proceso de termofusión, mientras que las tuberías PEX presentan uniones mecánicas las cuales son mucho más propensas a generar fugas con el paso del tiempo.

Tabla 2-3 Comparación de propiedades de tuberías de plástico (PP-R, PEX) y metal (acero y cobre) (Adaptado de Zgoul & Habali, 2008).

Propiedad	PP-R	PEX	Acero	Cobre
Servicio de vida (años)	hasta 50	hasta 50	hasta 15	hasta 20
Densidad (kg / m <sup>3</sup> )	895	930	7850	8900
Trabajabilidad	Fácil	Fácil	Difícil	Difícil
Mantenimiento	Fácil	Fácil	Difícil	Difícil
Resistencia a la corrosión	sin corrosión	sin corrosión	alta corrosión	
Punto de fusión (° C)	144.7	128.3		
Resistencia a la abrasión	4*Amet	4*Amet	Amet	Amet
Perfil de velocidad de fluido	baja pérdida de fricción			
Resistencia a las heladas (probabilidad de explosión)	No revienta	No revienta	Revienta	revienta
Coefficiente térmico lineal a 20°C(10 <sup>-4</sup> /°C)	1.5	1.4- 2	0.10- 0.18	0.166- 0.176
Calor específico a 20°C(kJ/kg.°C)	2	2.3	0.44	0.385
Conductividad térmica a 20°C(W/m.°C)	0.24	0.41	45- 60	300- 400
Costos	Muy barato	barato	Caro	muy caro
Conductividad eléctrica	muy baja	muy baja	Alta	alta

Ambientalmente se considera que las tuberías de PP-R son elementos eco amigables por la nula toxicidad del material. Zhao et al. (2016) realizaron un estudio para comparar tuberías los impactos medioambientales relacionados a los recursos de materiales de construcción y consumo de energía de tuberías de PP-R, PEX y policloruro de vinilo (PVC) mediante un análisis de ciclo de vida. En este estudio se determina que los gases de efecto invernadero y el efecto de acidificación son efectos ambientales más relevantes, además que el material menos dañino ambientalmente es el PEX, seguido del PP-R y finalmente el PVC, aunque la mayor parte de esa degradación depende del proceso de producción de resina primaria.

### Comparación entre las tuberías de PP-R y PVC

Fabian & Sandoval (2013) realiza un análisis del sistema convencional de tuberías de PVC y las tuberías de PP-R 100 en instalaciones sanitarias con el fin de comparar ambos sistemas técnica y

económicamente, detallando las características de cada sistema en cuanto a los materiales y la instalación principalmente. Según el objetivo de este análisis se comprobaría la viabilidad de las tuberías de polipropileno como remplazo al sistema convencional de PVC en un proyecto de construcción, con el análisis hidráulico se concluye que ambos sistemas tienen una pérdida de carga muy similar, para el PP-R es más sensible la pérdida de carga porque depende mucho de la válvula. Por otro lado, las facilidades constructivas del PP-R sobrepasan a las de PVC por su mayor resistencia, flexibilidad y durabilidad. En el análisis económico se concluye que el PP-R puede llegar a generar un ahorro del 30 al 40% en el material, pero se debe tener precaución con la instalación de este.

Tabla 2-4 Comparación de propiedades de tuberías

PP	PVC
Resistencia a temperatura entre -20 °C y 95°C, además, mantiene sus propiedades de resistencia al estar expuesta a cambios importantes de temperatura.	Resistencia a temperatura entre 0 °C y 70°C, sus propiedades de resistencia se reducen drásticamente al estar expuesta a cambios importantes de temperatura.
Densidad baja respecto a otros materiales (0.91 gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad intermedia respecto a otros materiales (1.4 gr/cm <sup>3</sup> )
Sistema de unión mediante soldadura entre capas de material, este es un proceso más técnico que necesita experiencia y herramientas como las máquinas termofusoras. El tiempo de enfriamiento de las tuberías es menor a los cinco minutos.	Sistema de unión mediante el enroscado de accesorios o mediante pegamentos, este es un proceso simple pero que puede generar mayores pérdidas por filtración de agua. El proceso de secado del pegamento tarda un poco más de 1/4 de hora.
Es un material que no es tóxico y es amigable con el medioambiente, aunque su producción más elaborada genera mayor impacto	Es un material de uso común, es menos amigable que el polipropileno pero su proceso de elaboración es más sencillo.
El ciclo de vida útil de este tipo de material excede a los 50 años	En este tipo de tubería supera también los 50 años de vida útil, sin embargo resulta menor que la tubería PP.
Su instalación es más eficiente y segura ya que el PP tiene comportamiento mecánico muy bueno y puede resistir golpes y fatiga durante la instalación.	Es una tubería rígida y por tanto es frágil ya que puede romperse durante el vaciado o presentar problemas de fatiga.

## **CAPÍTULO 3. Caso de estudio: Pabellón de salas de cómputo en el distrito de La Molina**

### **3.1 Introducción**

Este capítulo tiene como finalidad explicar los procesos que se llevan a cabo para escoger, diagramar y diseñar instalaciones sanitarias de la mejor manera. Las instalaciones sanitarias cumplen un rol importante dentro de una construcción y esto es llevar suministros de agua para su uso o como sistema de emergencia ante incendios, además de la deposición de aguas servidas. Para el correcto diseño de estas instalaciones se toman decisiones para que el caso específico vaya acorde a las condiciones del proyecto en cuanto a demanda de agua, tipo de edificación, economía, usos, por mencionar algunos. Jimeno Blasco (1995) dice que las instalaciones sanitarias de un edificio requieren un diseño cuidadoso y estudiado a fin de dar un sistema de agua adecuado en cantidad y calidad, proteger la salud de las personas y eliminar las aguas servidas.

En este capítulo se presentará de manera general el diseño de un pabellón de informática con un sistema convencional de PVC y las consideraciones básicas de la norma peruana IS 0.10 y la adecuación a un sistema de polipropileno en ese contexto para evaluar los beneficios del PP-R.

### **3.2 Principios para la instalación de tuberías**

El proyecto empieza por la recepción de planos arquitectónicos que contengan trazos y cortes de la edificación, luego de revisar y familiarizarse con los planos se debe presentar un bosquejo inicial, el cual se irá validando de acuerdo al diseño de las demás especialidades. Los trazos se presentarán en planos, de acuerdo a las escalas indicadas en la norma. Con respecto al trazado, de

acuerdo al estándar se tendrán las siguientes consideraciones:

- Se tiene que limpiar el plano arquitectura antes de empezar a dibujar y corroborar la ubicación de accesorios u otros elementos relevantes para las instalaciones sanitarias.
- Las tuberías de agua deben tener un margen a los muros de 50 cm como mínimo recomendable, deben ir paralelos a estos y no tener líneas embutidas en muros o que interfieran con elementos estructurales de importancia como placas, columnas o vigas.
- Toda línea de agua trazada debe tener puntos de llegada y de salida, además se debe tener cuidado para generar un acceso de agua a todos los aparatos sanitarios.
- Las salidas de agua fría en los aparatos se encuentran a la derecha (solo en los inodoros van a la izquierda) y la salida de agua caliente se ubica a la izquierda del aparato.
- Las válvulas de control se colocan a 30 cm por encima del piso, además estas deben ir en un lugar accesible y por lo recomendable deben estar cerca de los accesos. Siempre se debe considerar una válvula de control general para todo el sistema.
- En los grupos de aparatos sanitarios de un solo ambiente, también llamados baterías, se considerará una sola llave de control horizontal y si se tiene un aparato aislado, se tendrá una válvula vertical.
- Las líneas e agua fría empiezan en el alimentador y las líneas de agua caliente en la terma.

En cuanto al trazado de las tuberías de PVC en la Figura 3.1 se muestra un modelo de cómo se formuló el trazado de la tubería para el primer piso de los baños del pabellón.

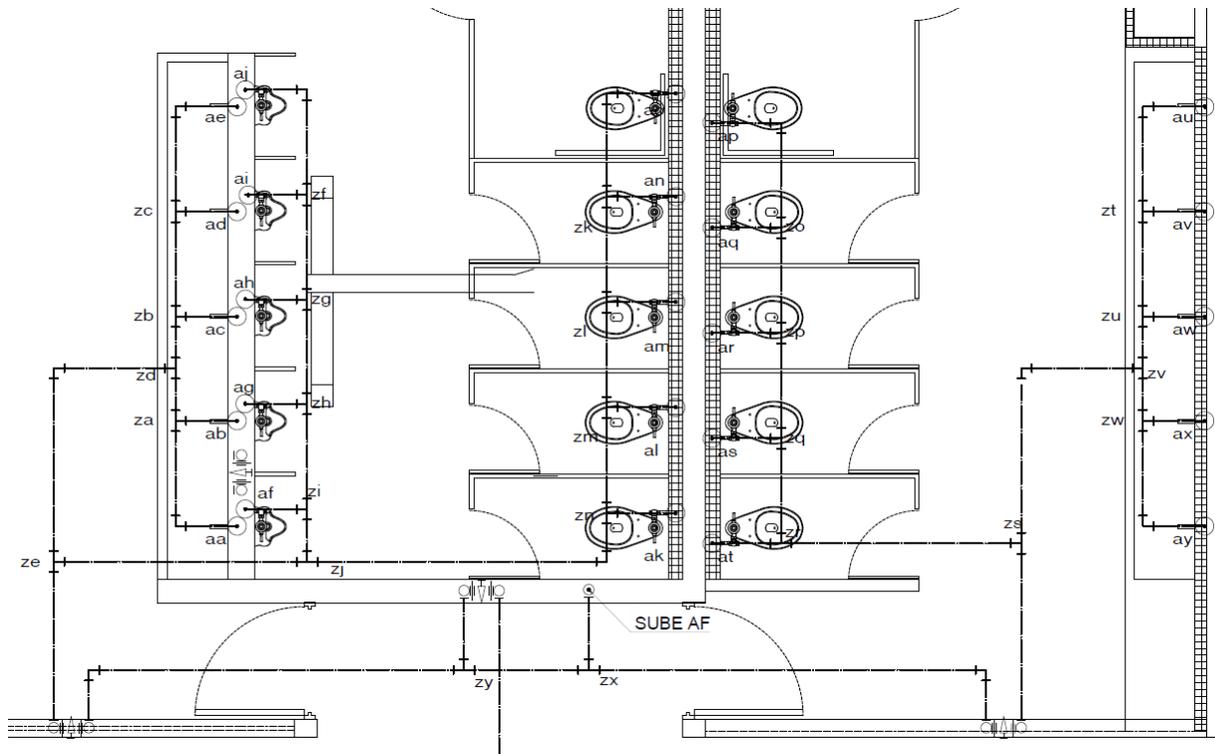


Figura 3.1 Trazado preliminar de instalaciones sanitarias

Recientemente, el uso del modelamiento tridimensional de las instalaciones sanitarias se hace más frecuente por su utilidad, Parisher y Rhea (2012) mencionan que esta tecnología ahora está disponible para cualquier persona con de manejo de programas en CAD y esto representa un avance ya que antes esta tecnología estaba limitada a computadoras potentes y programas avanzados. A pesar de que el modelamiento 3D demanda más trabajo se usa con mayor frecuencia por las exigencias del proyecto. Al usar un modelo 3D, las personas que diseña pueden apreciar la instalación desde cualquier dirección y comprender rápidamente la geometría de su construcción. Entre las ventajas de los modelos 3D se puede hablar de la verificación de interferencias con otras especialidades, se ha podido automatizar muchos procesos del trazado como los dibujos y los isométricos, además los modelos asistidos por computadora suelen ser más precisos.

Todas las indicaciones mencionadas anteriormente son aplicables tanto para las tuberías de PVC como las tuberías de PP-R, ya que son especificaciones generales, pero existen algunas diferencias para el trazado de tuberías de PP-R que pueden ser más visibles en un modelo 3D y estas son:

Las tuberías de PP-R son mucho más resistentes por lo que pueden ir colocadas fuera de la construcción estructural, es decir, a la vista y pegada a los muros y losas. Además, por sus accesorios adicionales se puede tener un trazado sistemático con mayor cantidad de tuberías y esto es una gran ventaja para instalaciones grandes y complejas. (Véase Fig.).

El sistema de tuberías PP-R tiene algunos accesorios sanitarios diferentes a los de PVC, por ejemplo, accesorios de conexión múltiple, bloques distribuidores, derivaciones y tees y codos con reducciones incluidas. Otros accesorios adicionales son los soportes fijos y deslizantes que se necesitan en la tubería.

Con respecto al sistema de agua caliente, se tienen mecanismos de contracción y expansión donde se generan cambios de dirección de la tubería para controlar efectos en la tubería.

Existe la posibilidad de tener sistemas de tuberías colgantes, adosadas a los muros y losas lo cual puede generar un gran beneficio en términos de tiempo, ya que la parte constructiva de la estructura no se vería tan condicionada por la instalación del sistema sanitario.



Figura 3.2 Sistema de tuberías de PP-R ancladas a losas (Aquatherm, 2015).

### 3.3 Diseño de las instalaciones sanitarias

Se propuso realizar el diseño de las instalaciones sanitarias de un pabellón para salas de cómputo de una edificación con fines de educación secundaria ubicado en el distrito de La Molina. Esta edificación tiene dos niveles que cuentan con un baño para hombres y uno para mujeres por nivel. Se escogió un sistema de alimentación indirecto por bombeo a través de una cisterna y un equipo de bombeo. El sistema solamente contempla instalaciones de agua fría. De acuerdo a la norma IS

0.10 “Instalaciones Sanitarias” se presentan los cálculos pertinentes para los elementos que componen el sistema de agua para un sistema convencional de PVC y luego un diseño con tuberías de polipropileno.

En primer lugar, se obtuvo una demanda total diaria de agua fría de 3500 litros al día según las consideraciones de la norma (capítulo 2, artículo 6 (i)), con la demanda se tiene una dotación del 125% que viene a ser: 4.375 m<sup>3</sup>/día, con este volumen se diseña la cisterna.

### **3.3.1 Tuberías de PVC**

Después de definir el trazado de las instalaciones y el diseño del sistema de alimentación se calcularán los diámetros de las tuberías. La norma IS 0.10 especifica que los diámetros de las tuberías de distribución se calculan con el método Hunter (Método de Gastos Probables), aunque se puede aplicar cualquier otro método racional para el cálculo de las tuberías de distribución, además de que se debe dar sustento a la elección y aplicación del método.

En este caso se aplicó la teoría de probabilidades desarrollada por Hunter para determinar el gasto. Esta teoría considera que los aparatos sanitarios pueden ser considerados como eventos probabilísticos, entonces se define a las unidades de gasto (UG) como la cantidad de agua consumida por aparato sanitario. Entonces en primer lugar se asignan letras a cada cambio de tubería y se asignan las UG a cada aparato según el Anexo 1 y 2 de la norma de IS 0.10. Luego se calcula las unidades de gasto para cada tubería y con la tabla del Anexo 3 de la norma IS 0.10 se determina un caudal para cada tramo de tubería. Con el caudal estimado para cada parte de la tubería se calculará el diámetro de la tubería. Adicionalmente se calculará la pendiente de la tubería, este cálculo parte del principio de la fórmula de Hazen-Williams que se usa para determinar la velocidad del agua en tuberías que tienen la particularidad de estar cerradas y funcionar a presión.

A continuación (Tabla 3.1) se presenta como ejemplo una parte del cálculo de diámetros para las tuberías de PVC y su pendiente. El cálculo completo de las tuberías está disponible en el Anexo 1.

Tabla 3-1 Ejemplo del cálculo del diámetro y pendiente de tubería

Tramo	Longitud	UG	Q(l/s)	ømin	ømáx	ødiseño	S (Pendiente)
as'-zq'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
at'-zr'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
zo'-zp'	0.89	16	1.22	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1691
zp'-zq'	0.89	24	1.42	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0922
zq'-zr'	0.89	32	1.59	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1136
zr'-zs'	2.05	40	1.74	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1342

Posteriormente se calcula la pérdida de agua por fricción en columna de agua, esto servirá para asegurar que todos los aparatos tengan un suministro de agua, es decir, que se tenga una presión suficiente tal que el agua llegue al aparato más desfavorable considerando las pérdidas de presión que se generan en la tubería y los accesorios. Este método fue desarrollado para calcular pérdidas en tuberías de metal por lo que se debe establecer “longitudes equivalentes” que generen valores aplicables a las tablas de pérdidas de fricción de fierro galvanizado. El coeficiente C de Hasen Williams es de 140 para PVC por lo que el factor es de 0.537 para que se compare al coeficiente de 100 del fierro.

Con los accesorios usados y el tramo al elemento más desfavorable se podrá calcular la pérdida de carga de agua. La pérdida de agua es equivalente a la pendiente calculada anteriormente por la longitud total del tramo, esta longitud total se refiere a la sumatoria de la longitud equivalente de cada accesorio y la longitud de tubería. En la T se muestra un ejemplo una parte del cálculo de pérdidas de carga para las tuberías de PVC, el cálculo completo de las tuberías está disponible en el anexo.

Tabla 3-2 Ejemplo del cálculo de la pérdida de carga para un tramo de tubería de PVC.

<b>Longitud</b>	<b>5.71</b>	<b>2.27 m de tubería</b>	<b>3.066</b>
<b>UG</b>	73	3 codo 90° 2"	6.450
<b>Q</b>	2.27	1 válvulas de compuerta +2 UU	1.550
<b>Diámetro</b>	2"	1 tee derivada 2"	3.050
<b>S</b>	0.0541	1 reducción a 2"	0.350
		<b>Hf (mca)</b>	<b>0.783</b>

Finalmente se determinó que la pérdida de carga del sistema de tubería para el elemento más desfavorable era de 4.28 metros de columna de agua. Con este cálculo se podrá elegir el tanque hidroneumático a usar, ya que la potencia y volumen del tanque hidroneumático se calcula mediante la altura crítica en columna de agua:

$$Pot = 3.67 \text{ lps} \times 7.98\text{m} \times (1/0.80) \times 9.81\text{ms}^2 = 383.07 \text{ Watts} = 0.482 \text{ HP}$$

Entonces se tiene que el tanque tendrá 0.5 HP y haciendo un cálculo de presiones tenemos un volumen de 148.6 galones, por ello se escogió el tanque: 1M-1B-CH-20-BIC-0.5-T.

### 3.3.2 Tuberías de polipropileno

El dimensionamiento para cualquier sistema de tuberías de Polipropileno Random consta de dos componentes básicos como el diseño de flujo de fluido y diseño de integridad de presión. El diseño de flujo de fluido determina el diámetro mínimo aceptable de la tubería y el diseño de integridad de presión determina el espesor mínimo de tubería requerida.

Para el dimensionamiento con el sistema de tuberías de Polipropileno Random, se utilizan dos procedimientos: diseño de flujo de fluido y diseño de integridad de presión. Para el primero, se determina con el diámetro mínimo aceptable de la tubería y para el segundo, con el espesor mínimo de tubería requerida.

Para aplicaciones normales de servicio de líquidos, una velocidad mínima en tuberías es 0.6m/s, y la velocidad máxima con la siguiente tabla.

Tabla 3-3. Velocidad máxima según el diámetro

Diámetro (plg)	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Φ int. (mm)	Vel. Máxima (m/s)
1/2"	20	1.90	16.20	1.90
3/4"	25	2.30	20.40	2.20
1"	32	2.90	26.20	2.48
1 1/4"	40	3.70	32.60	2.85
1 1/2"	50	4.60	40.80	3.00
2"	63	5.80	51.40	3.00
2 1/2"	75	6.80	61.40	3.00

Con estos datos, se va a dimensionar los diámetros de tuberías en la red de distribución interna de agua fría verificando que en todos los tramos no supere la velocidad máxima según a su diámetro. Se va a considerar tubería con presión nominal 10 (PN10), ya que es el diseño para una red de agua fría. Estos datos y el plano del trazo de las tuberías de agua fría se van a ubicar en la sección de los Anexos 3.

Por otro lado, se tiene que hallar las caídas de presión en toda la red de tuberías, ya que se tiene que garantizar que el abastecimiento constante del fluido. La pérdida de presión se debe a la fricción entre la pared de la tubería y el fluido, pérdidas menores debido a obstrucciones, cambio de dirección, etc. Asimismo, La se agrega al cambio de elevación para determinar los requisitos de la bomba a esta pérdida.

Las pérdidas de carga resultantes de varios caudales de agua en tuberías de plástico pueden calcularse mediante la fórmula de Hazen-Williams.

$$\Delta H = 10.643 \times Q^{1.85} \times C^{-1.85} \times \Phi^{-4.87}$$

Donde;

$\Delta H$  = Pérdida de carga (m/m)

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$C$  = Coeficiente 150

$\Phi$  = Diámetro interno del tubo (m)

Para los accesorios, la pérdida se calcula en función de la siguiente formula utilizando los coeficientes de rugosidad según la norma DIN 1988 Parte 3.

$$\Delta H = \frac{\sum \zeta \times V^2 \times D}{2}$$

Donde;

$\Delta H$  = Pérdida de carga (mca)

$\zeta$  = Coeficiente de accesorio

$V$  = Velocidad (m/s)

$D$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

Entonces, con las formulas mencionadas anteriormente se procede a calcular las pérdidas de carga que se produce en la ruta crítica del caso de estudio. Primero, se va a calcular la pérdida en cada tramo de la tubería utilizando la fórmula de Hazen-Williams. Luego, se va a calcular la pérdida de presión a causa de los accesorios que se encuentren en la ruta crítica. Finalmente se

suma todos los valores obteniendo el valor total de pérdida de presión. En la sección de los Anexos 4, se encuentra la tabla con los cálculos realizados.

Por otro lado, se debe calcular la pérdida por temperatura cuando la temperatura del fluido es mayor a la temperatura ambiente o viceversa. Para el caso de estudio, solo se tiene con la red de distribución de agua fría, por lo que se asume que la temperatura ambiente es igual a la del fluido.

### **3.4 Análisis comparativo de ambos sistemas**

#### **3.4.1 Análisis del trazado de tuberías**

Para el trazo del sistema de PVC, se puede resaltar que se va a necesitar mayores equipos como son las reducciones. En el mercado actual, solo existen accesorios como codos y tees con un mismo diámetro. Sin embargo, para las tuberías de Polipropileno Copolímero Random existen accesorios que incluyen reducción, es decir, la compra de accesorios se va a reducir de gran manera.

#### **3.4.2 Análisis del dimensionamiento**

En cuanto al dimensionamiento de PVC, se ha utilizado los parámetros de la Norma ISO.10, en el cual se utiliza los gastos probables de los aparatos sanitarios con el método de Hunter. En cambio, para dimensionar el sistema de agua fría con tuberías de polipropileno se utilizó los caudales en cada tramo y se verificó que no superen la velocidad máxima indicada en la norma.

Por otro lado, los diámetros en tuberías de polipropileno del tipo PN10 presentan una mayor dimensión que el de PVC, ya que el espesor de esta clase de tubería es la mínima en el mercado actual. Se ha elegido este tipo de tubería, ya que se utiliza para el abastecimiento de redes de agua fría. En el caso que se tenga una red de agua caliente, se tendría que usar el tipo PN16, reduciendo el diámetro interno y aumentando el espesor la pared del tubo.

Referente a la pendiente de los tramos de tuberías, no existe alguna restricción en las tuberías de Polipropileno Copolímero Random ni en las de PVC, ya que este sistema trabaja a presión por lo que se requiere hallar las caídas producidas por la fricción de los dos tipos de tuberías.

### **3.4.3 Análisis del cálculo de pérdidas**

Para el análisis de cálculo de pérdidas, los dos sistemas utilizan la fórmula de Hazen-Williams, pero la diferencia es que para el de PVC se utiliza un coeficiente C de 140. En cambio, el coeficiente C del polipropileno es de 150 disminuyendo así la pérdida en el tramo de tubería. Por otro lado, los coeficientes de pérdida en los accesorios de polipropileno son mayores por lo que aumentaran la caída de presión final de la ruta crítica.

Otro aspecto a considerar en este cálculo para tuberías de polipropileno es que sí se considera el coeficiente de rugosidad de las reducciones. Este valor se va a sumar al coeficiente de otros accesorios ya sea de codos o tees, a pesar de que no se coloque otro accesorio adicional, no implica que la pérdida va a ser menor.

El cálculo de caída de presión con PVC resultó de 4.279 mca (metros de columna de agua) y para el de polipropileno salió 4.483 mca. Esto quiere decir que va a existir una mayor rugosidad en las tuberías de PVC que en el polipropileno. El cambio se sitúa en 4.7% por lo que su influencia es menor. Este cálculo va a servir para elegir el tanque hidroneumático a usar, ya que la potencia y volumen del tanque hidroneumático se calcula mediante la altura crítica en columna de agua

### **3.4.4 Análisis Económico**

Se realizó un cálculo aproximado de los costos para ambos sistemas y por la incertidumbre no se puede afirmar para éste estudio que un sistema es más económico que el otro. El sistema con tuberías de polipropileno resultó ser 11% más costoso que el sistema de tuberías de PVC, esto se debe a los gastos adicionales de mano de obra especializada, máquinas de soldadura y el material que tiene un costo considerable por el tema del transporte. En un proyecto de mayor envergadura, resultará más eficiente y económico usar el sistema de tuberías de PP-R, ya que los tiempos de instalación, mejoras en el trazado y el diseño prevalecerán.

## **CAPÍTULO 4. Conclusiones**

### **4.1 Conclusiones**

En el presente trabajo de investigación se analizó las condiciones de trazado y diseño de una red de distribución de agua fría usando tuberías de PVC y tuberías de Polipropileno Copolímero Random. Según los resultados del capítulo anterior, existen condiciones en el diseño y trazado que van a generar mayores facilidades como minimizar recursos y no generando mayor mano de obra en la construcción.

El primer objetivo del estudio fue analizar las condiciones del trazado de los dos sistemas de tuberías. De este modo, se observó que no existen dificultades relevantes al momento de realizar el trazado ya que se diseñaron con tuberías empotradas en piso. Sin embargo, en el diseño con tuberías de polipropileno se puede descartar la inclusión de reducciones, ya que para este tipo de material existen accesorios con reducciones incorporadas.

El segundo objetivo fue de distinguir las condiciones del dimensionamiento de los dos sistemas de tuberías. De esta manera, se ha observado que se utilizan condiciones diferentes como el método de Hunter y la verificación por velocidad máxima para las tuberías de PVC y Polipropileno respectivamente. Asimismo, se ha notado que se utilizan diámetros en unidades diferentes como pulgadas y milímetros.

El tercer objetivo fue de comparar el cálculo de pérdidas de presión que se generan en ambos sistemas. Los dos sistemas utilizan el método de Hazen-Williams para hallar la caída de presión,

pero las pérdidas con tubería de polipropileno son mayores, ya que la rugosidad del material influye en este aspecto. Con respecto a las diferencias entre las pérdidas del material, lo que más influyó fue el coeficiente de pérdida de las tuberías, en ese sentido, las tuberías de PVC son 14% más eficientes por ser relativamente más lisas que las tuberías de PP-R, por otro lado, la ineficiencia de los accesorios en las tuberías de PVC le aumentó pérdidas considerables por lo que se puede decir que ambos sistemas son bastante parecidos y con una ligera ventaja para el PVC.

#### **4.2 Recomendaciones**

Para poder entender mejor los beneficios que trae el uso de tuberías de polipropileno, se recomienda realizar una evaluación técnica y económica entre estos dos sistemas expuestos, ya que este texto está dirigido más al diseño.

Debido a que el uso de tuberías de polipropileno requiere de materiales de difícil manejo, como lo es el termo fusor que se usa para calentar las uniones, se recomienda que se busque personal capacitado si es que se opta por usar dicho sistema, ya que se requiere del uso obligatorio de equipos de protección personal como guantes, lentes, etc.

Se recomienda que se realicen muchas más evaluaciones técnicas y económicas, ya que se busca que los profesionales relacionados al tema, conozcan otros tipos de sistemas aparte del convencional, y que sepan reconocer cuáles son sus diferencias y en que beneficia el uso de tuberías de polipropileno con respecto a las de PVC, con el fin de que este sistema se pueda usar en el país.

# BIBLIOGRAFÍA

- Aquatherm. (2015). *SISTEMA DE TUBERÍAS DE POLIPROPILENO (PP-R) aquatherm green pipe*.
- Boragno, L., Braun, H., Hartl, A. M., & Lang, R. W. (2017). Polypropylene for Pressure Pipes—From Polymer Design to Long-Term Performance. In *Deformation and Fracture Behaviour of Polymer Materials* (pp. 189–201). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41879-7>
- Carraher, C. E. (2003). Seymour/Carraher's Polymer Chemistry: Sixth Edition. In *Undergraduate Chemistry Series* (6th ed.). CRC Press.
- Colbert, J. A. (1979). *Polypropylene Pipes - Properties and Choice* (pp. 1–6). Plastic Pipes.
- Fabian, C., & Sandoval, O. (2013). *Análisis Comparativo Técnico-Económico entre el Sistema Convencional (Tuberías PVC) y el Sistema De Termo fusión (Tuberías De Polipropileno) en Instalaciones Interiores de Agua Potable para Edificaciones en la Región de Lima*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Guidetti, G. P., Rigosi, G. L., & Marzola, R. (1996). The use of polypropylene in pipeline coatings. *Progress in Organic Coatings*, 27(1–4), 79–85. [https://doi.org/10.1016/0300-9440\(95\)00523-4](https://doi.org/10.1016/0300-9440(95)00523-4)
- Jimeno Blasco, E. (1995). *Instalaciones Sanitarias en Edificaciones*. Capítulo de Ingeniería Sanitaria, Consejo Departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú.
- Kissel, W. J., Han, J. H., & Meyer, J. A. (2003). Polypropylene: Structure, Properties, Manufacturing Process and Applications. In *Handbook of Polypropylene and Polypropylene composites*. Marcel Dekker, INC.
- Kresser, T. O. J. (1960). Polypropylene. In *Reinhold Plastics Applications Series* (Chapman &, Vol. 1, Issue). Reinhold Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Maddah, H. A. (2016). Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. *American Journal of Polymer Science*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.5923/j.ajps.20160601.01>
- Ouardi, A., Majid, F., Mouhib, N., & Elghorba, M. (2018). Residual life prediction of defected Polypropylene Random copolymer pipes (PPR). *Frattura Ed Integrita Strutturale*, 12(43), 97–105. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.43.07>
- Parisher, R. A., & Rhea, R. A. (2012). Building 3D Piping Models. In R. A. Parisher & R. A. B. T.-P. D. and D. (Third E. Rhea (Eds.), *Pipe Drafting and Design* (3rd ed., pp. 307–340). Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384700-3.00014-1>
- Pasquini, N. (2006). Polypropylene handbook. *Choice Reviews Online*, 43(05), 43-2825-43–2825. <https://doi.org/10.5860/choice.43-2825>
- REDI. (2013). *PP-R Pipe System* (pp. 1–58). REDI.
- Sandstrum, S., Dreckoetter, S., & Schultz, Z. (2016). Polypropylene Pipe : An Evolving Market. *Proceedings of the 18th Plastic Pipes Conference*, 1–13.

- Yu, L., Wu, T., Chen, T., Yang, F., & Xiang, M. (2014). Polypropylene random copolymer in pipe application: Performance improvement with controlled molecular weight distribution. *Thermochimica Acta*, 578, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.11.009>
- Zgoul, M. H., & Habali, S. M. (2008). An Investigation into Plastic Pipes as Hot Water Transporters in Domestic and Industrial Applications. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2(4), 191–200.
- Zhao, C. Z., Huang, M. C., Liu, Y., & Ma, L. P. (2016). Research on life cycle assessment of plastic pipeline system. *Materials Science Forum*, 847, 366–373. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.847.366>



# ANEXOS

## Anexo 1: Dimensionamiento de tuberías de PVC

PRIMER PISO							
Tramo	Longitud	UG	Q(l/s)	ømin	ømáx	ødiseño	S (Pendiente)
aa-za	2.33	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
ab-za	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
ac-zb	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
zd-zc	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
ae-zc	2.33	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
zc-zb	0.9	3	0.12	1/2"	1/2"	1/2"	0.2008
zb-zd	0.44	5	0.23	1/2"	3/4"	3/4"	0.0929
za-zd	0.44	3	0.12	1/2"	1/2"	1/2"	0.2008
zd-ze	2.69	8	0.29	3/4"	3/4"	3/4"	0.1426
aj-zf	2.63	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
ai-zf	1.73	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
ah-zg	1.73	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
ag-zh	1.73	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
af-zi	1.73	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
zf-zg	0.89	10	1.06	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1304
zg-zh	0.89	15	1.2	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1640
zh-zi	0.89	20	1.33	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0816
zi-zj	0.45	25	1.43	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0934
ao-zk	2.07	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
an-zk	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
am-zl	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
al-zm	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
ak-zn	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
zk-zl	0.9	16	1.22	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1691
zl-zm	0.9	24	1.42	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0922
zm-zn	0.9	32	1.59	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1136
zn-zj	2.99	40	1.74	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1342
ap-zo	2.09	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
aq-zo	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
ar-zp	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
as-zq	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
at-zr	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171

zo-zp	0.89	16	1.22	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1691
zp-zq	0.89	24	1.42	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0922
zq-zr	0.89	32	1.59	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1136
zr-zs	2.05	40	1.74	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1342

ay-zw	2.33	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
ax-zw	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
aw-zu	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
av-zt	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
au-zt	2.33	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
zt-zu	0.9	3	0.12	1/2"	1/2"	1/2"	0.2008
zu-zv	0.44	5	0.23	1/2"	3/4"	3/4"	0.0929
zw-zv	0.44	5	0.23	3/4"	3/4"	3/4"	0.0929
zv-zs	2.54	8	0.29	3/4"	3/4"	3/4"	0.1426

zj-ze	2.17	65	2.17	1-1/4"	3"	2"	0.0497
ze-zy	5.71	73	2.27	1-1/4"	3"	2"	0.0541
zs-zx	6.07	48	1.92	1-1/4"	2-1/2"	2"	0.0397

**SEGUNDO PISO**

Tramo	Longitud	UG	Q(l/s)	ømin	ømáx	ødiseño	S (Pendiente)
aa'-za'	2.33	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
ab'-za'	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
ac'-zb'	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
zd'-zc'	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
ae'-zc'	2.33	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
zc'-zb'	0.9	3	0.12	1/2"	1/2"	1/2"	0.2008
zb'-zd'	0.44	5	0.23	1/2"	3/4"	3/4"	0.0929
za'-zd'	0.44	3	0.12	1/2"	1/2"	1/2"	0.2008
zd'-ze'	2.69	8	0.29	3/4"	3/4"	3/4"	0.1426

aj'-zf'	2.63	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
ai'-zf'	1.73	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
ah'-zg'	1.73	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
ag'-zh'	1.73	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
af'-zi'	1.73	5	0.91	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.0983
zf'-zg'	0.89	10	1.06	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1304
zg'-zh'	0.89	15	1.2	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1640
zh'-zi'	0.89	20	1.33	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0816
zi'-zj'	0.45	25	1.43	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0934

ao'-zk'	2.07	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
---------	------	---	---	----	--------	--------	--------

an'-zk'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
am'-zl'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
al'-zm'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
ak'-zn'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
zk'-zl'	0.9	16	1.22	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1691
zl'-zm'	0.9	24	1.42	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0922
zm'-zn'	0.9	32	1.59	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1136
zn'-zj'	2.99	40	1.74	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1342

ap'-zo'	2.09	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
aq'-zo'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
ar'-zp'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
as'-zq'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
at'-zr'	1.17	8	1	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1171
zo'-zp'	0.89	16	1.22	1"	1-1/2"	1-1/4"	0.1691
zp'-zq'	0.89	24	1.42	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.0922
zq'-zr'	0.89	32	1.59	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1136
zr'-zs'	2.05	40	1.74	1-1/4"	2"	1-1/2"	0.1342

ay'-zw'	2.33	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
ax'-zw'	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
aw'-zu'	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
av'-zt'	1.43	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
au'-zt'	2.33	2	0.08	1/2"	1/2"	1/2"	0.0949
zt'-zu'	0.9	3	0.12	1/2"	1/2"	1/2"	0.2008
zu'-zv'	0.44	5	0.23	1/2"	3/4"	3/4"	0.0929
zw'-zv'	0.44	5	0.23	3/4"	3/4"	3/4"	0.0929
zv'-zs'	2.54	8	0.29	3/4"	3/4"	3/4"	0.1426

zj'-ze'	2.17	65	2.17	1-1/4"	3"	2"	0.0497
ze'-zx'	5.71	73	2.27	1-1/4"	3"	2"	0.0541
zs'-zx'	7.23	48	1.92	1-1/4"	2-1/2"	2"	0.0397

**VALVULA GENERAL AL MEDIDOR**

zx'-zx	2.84	121	2.73	2"	3"	2-1/2"	0.0257
zy-zx	0.98	121	2.73	2"	3"	2-1/2"	0.0257
zx-A	11.93	242	3.67	2"	3"	2-1/2"	0.0444

### Anexo 2: Pérdida de carga con tuberías de PVC

Pérdidas producidas desde la impulsión hasta el aparato crítico					
Tramo	Condiciones		Elementos		Hf (mca)
			Concepto	Le (C=100)	
Succión	S	0.0444	1 Válvula de pie de 2 1/2"	6.910	0.508
			2.30m de tubería de PVC de 2 1/2"	1.235	
			1 codo de 90° de 2 1/2"	2.400	
			2 válvulas compuerta de 2 1/2"	0.900	
Impulsión	S	0.0444	1 Válvula compuerta de 2 1/2"	0.450	0.437
			1 codo de 90° de 2 1/2"	2.400	
			1 Válvula check de 2 1/2"	2.650	
			1.50m de tubería de PVC de 2 1/2"	0.698	
				3.650	
A-zx	Longitud	11.93	11.93 m de tubería + x	6.406	0.853
	UG	242	1 válvulas de compuerta +2 UU	1.950	
	Q	3.67	3 codo 90° 2-1/2"	7.200	
	Diámetro	2-1/2"	1 tee derivada 2-1/2"	3.650	
	S	0.0444			
zx-zx' (Montante)	Longitud	2.84	2.84 m de tubería	1.525	0.195
	UG	121	1 codo 90° 2-1/2"	2.400	
	Q	2.73	1 tee derivada 2-1/2"	3.650	
	Diámetro	2-1/2"			
	S	0.0257			
zx'-ze'	Longitud	5.71	2.27 m de tubería	3.066	0.783
	UG	73	3 codo 90° 2"	6.450	
	Q	2.27	1 válvulas de compuerta +2 UU	1.550	
	Diámetro	2"	1 tee derivada 2"	3.050	
	S	0.0541	1 reducción a 2"	0.350	
ze'-zj'	Longitud	2.17	2.17 m de tubería	1.165	0.088
	UG	65	1 tee 2"	0.600	
	Q	2.17			
	Diámetro	2"			
	S	0.0497			
zj'-zn'	Longitud	2.99	2.99 m de tubería	1.606	0.517
	UG	40	1 codo 90° 1-1/2"	1.500	
	Q	1.74	1 tee 1-1/2"	0.450	
	Diámetro	1-1/2"	1 reducción a 1-1/2"	0.300	
	S	0.1342			

zn'-zm'	Longitud	0.9	0.99 m de tubería	0.483	0.106
	UG	32	1 tee 1-1/2"	0.450	
	Q	1.59			
	Diámetro	1-1/2"			
	S	0.1136			
zm'-zl'	Longitud	0.9	0.99 m de tubería	0.483	0.100
	UG	24	1 tee 1-1/4"	0.350	
	Q	1.42	1 reducción a 1-1/4"	0.250	
	Diámetro	1-1/2"			
	S	0.0922			
zl'-zk'	Longitud	0.9	0.99 m de tubería	0.483	0.141
	UG	16	1 tee 1-1/4"	0.350	
	Q	1.22			
	Diámetro	1-1/4"			
	S	0.1691			
zk'-ao'	Longitud	2.07	2.07 m de tubería	1.112	0.552
	UG	8	3 codo 1-1/4"	3.600	
	Q	1			
	Diámetro	1-1/4"			
	S	0.1171			
				TOTAL	4.279

### Anexo 3: Dimensionamiento de tuberías de polipropileno

PRIMER PISO							
Tramo	Longitud	Q(l/s)	ø ext. (mm)	ø int. (mm)	Vel (m/s)	Vel. Máx (m/s)	
aa-za	2.33	0.08	20	16.2	0.388	1.9	
ab-za	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9	
ac-zb	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9	
zd-zc	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9	
ae-zc	2.33	0.08	20	16.2	0.388	1.9	
zc-zb	0.9	0.12	20	16.2	0.582	1.9	
zb-zd	0.44	0.23	25	20.4	0.704	2.2	
za-zd	0.44	0.12	20	16.2	0.582	1.9	
zd-ze	2.69	0.29	25	20.4	0.887	2.2	
aj-zf	2.63	0.91	40	32.6	1.090	2.85	
ai-zf	1.73	0.91	40	32.6	1.090	2.85	
ah-zg	1.73	0.91	40	32.6	1.090	2.85	
ag-zh	1.73	0.91	40	32.6	1.090	2.85	
af-zi	1.73	0.91	40	32.6	1.090	2.85	
zf-zg	0.89	1.06	40	32.6	1.270	2.85	
zg-zh	0.89	1.2	40	32.6	1.438	2.85	
zh-zi	0.89	1.33	50	40.8	1.017	3	
zi-zj	0.45	1.43	50	40.8	1.094	3	
ao-zk	2.07	1	40	32.6	1.198	2.85	
an-zk	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85	
am-zl	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85	
al-zm	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85	
ak-zn	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85	
zk-zl	0.9	1.22	40	32.6	1.462	2.85	
zl-zm	0.9	1.42	50	40.8	1.086	3	
zm-zn	0.9	1.59	50	40.8	1.216	3	
zn-zj	2.99	1.74	50	40.8	1.331	3	
ap-zo	2.09	1	40	32.6	1.198	2.85	
aq-zo	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85	
ar-zp	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85	
as-zq	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85	
at-zr	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85	
zo-zp	0.89	1.22	40	32.6	1.462	2.85	
zp-zq	0.89	1.42	50	40.8	1.086	3	
zq-zr	0.89	1.59	50	40.8	1.216	3	

zr-zs	2.05	1.74	50	40.8	1.331	3
ay-zw	2.33	0.08	20	16.2	0.388	1.9
ax-zw	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
aw-zu	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
av-zt	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
au-zt	2.33	0.08	20	16.2	0.388	1.9
zt-zu	0.9	0.12	20	16.2	0.582	1.9
zu-zv	0.44	0.23	25	20.4	0.704	2.2
zw-zv	0.44	0.23	25	20.4	0.704	2.2
zv-zs	2.54	0.29	25	20.4	0.887	2.2
zj-ze	2.17	2.17	63	514	0.010	3
ze-zy	5.71	2.27	63	514	0.011	3
zs-zx	6.07	1.92	63	514	0.009	3
<b>SEGUNDO PISO</b>						
Tramo	Longitud	Q(l/s)	ø ext. (mm)	ø int. (mm)	Vel (m/s)	Vel. Máx (m/s)
aa'-za'	2.33	0.08	20	16.2	0.388	1.9
ab'-za'	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
ac'-zb'	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
zd'-zc'	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
ae'-zc'	2.33	0.08	20	16.2	0.388	1.9
zc'-zb'	0.9	0.12	20	16.2	0.582	1.9
zb'-zd'	0.44	0.23	25	20.4	0.704	2.2
za'-zd'	0.44	0.12	20	16.2	0.582	1.9
zd'-ze'	2.69	0.29	25	20.4	0.887	2.2
aj'-zf'	2.63	0.91	40	32.6	1.090	2.85
ai'-zf'	1.73	0.91	40	32.6	1.090	2.85
ah'-zg'	1.73	0.91	40	32.6	1.090	2.85
ag'-zh'	1.73	0.91	40	32.6	1.090	2.85
af'-zi'	1.73	0.91	40	32.6	1.090	2.85
zf'-zg'	0.89	1.06	40	32.6	1.270	2.85
zg'-zh'	0.89	1.2	40	32.6	1.438	2.85
zh'-zi'	0.89	1.33	50	40.8	1.017	3
zi'-zj'	0.45	1.43	50	40.8	1.094	3
ao'-zk'	2.07	1	40	32.6	1.198	2.85
an'-zk'	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85
am'-zl'	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85
al'-zm'	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85
ak'-zn'	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85

zk'-zl'	0.9	1.22	40	32.6	1.462	2.85
zl'-zm'	0.9	1.42	50	40.8	1.086	3
zm'-zn'	0.9	1.59	50	40.8	1.216	3
zn'-zj'	2.99	1.74	50	40.8	1.331	3
ap'-zo'	2.09	1	40	32.6	1.198	2.85
aq'-zo'	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85
ar'-zp'	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85
as'-zq'	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85
at'-zr'	1.17	1	40	32.6	1.198	2.85
zo'-zp'	0.89	1.22	40	32.6	1.462	2.85
zp'-zq'	0.89	1.42	50	40.8	1.086	3
zq'-zr'	0.89	1.59	50	40.8	1.216	3
zr'-zs'	2.05	1.74	50	40.8	1.331	3
ay'-zw'	2.33	0.08	20	16.2	0.388	1.9
ax'-zw'	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
aw'-zu'	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
av'-zt'	1.43	0.08	20	16.2	0.388	1.9
au'-zt'	2.33	0.08	20	16.2	0.388	1.9
zt'-zu'	0.9	0.12	20	16.2	0.582	1.9
zu'-zv'	0.44	0.23	25	20.4	0.704	2.2
zw'-zv'	0.44	0.23	25	20.4	0.704	2.2
zv'-zs'	2.54	0.29	25	20.4	0.887	2.2
zj'-ze'	2.17	2.17	63	514	0.010	3
ze'-zx'	5.71	2.27	63	514	0.011	3
zs'-zx'	7.23	1.92	63	514	0.009	3

### Anexo 4: Pérdida de carga con tuberías de polipropileno

Pérdidas producidas desde la impulsión hasta el aparato crítico							
Tramo	Condiciones	L	Hf (mca)	Accesorios	Coficiente de pérdida	Hf (mca)	$\Sigma Hf$ (mca)
Succión	Longitud (m) $\Phi$ ext. (mm) Q (l/s) $\Phi$ int. (mm) V (m/s)	2.3 75 3.67 61.4 1.239 5	0.0574	1 Válvula de pie 75mm 1 codo de 90° 75mm 2 válvulas compuerta de 75mm	6.91 2.4 0.9	0.7843	0.8417
Impulsión	Longitud (m) $\Phi$ ext. (mm) Q (l/s) $\Phi$ int. (mm) V (m/s)	1.5 75 3.67 61.4 1.239 5	0.0375	1 Válvula compuerta 75mm 1 codo de 90° 75mm 1 Válvula check 75mm	0.45 2.4 2.65	0.4225	0.4600
A-zx	Longitud (m) $\Phi$ ext. (mm) Q (l/s) $\Phi$ int. (mm) V (m/s)	11.93 75 3.11 61.4 1.050 3	0.2194	1 váluvas de compuerta 75mm 3 codo 90° 75mm 1 tee derivada 75mm	1.95 7.2 3.65	0.7061	0.9254
zx-zx' (Montante)	Longitud (m) $\Phi$ ext. (mm) Q (l/s) $\Phi$ int. (mm) V (m/s)	2.84 75 2.73 61.4 0.922 0	0.0410	1 codo 90° 75mm 1 tee derivada 75mm	2.4 3.65	0.2572	0.2982
zx'-ze'	Longitud (m) $\Phi$ ext. (mm) Q (l/s) $\Phi$ int. (mm) V (m/s)	5.71 63 2.27 51.4 1.094 0	0.1394	3 codo 90° 63mm 1 váluvas de compuerta 63mm 1 tee derivada 63mm	6.45 1.55 3.05	0.6612	0.8006

ze'-zj'	Longitud (m) Φ ext. (mm) Q (l/s) Φ int. (mm) V (m/s)	2.17 63 2.17 51.4 1.045 8	0.0487	1 reducción a 63mm 1 tee 63mm	0.35 0.6	0.0519	0.1007
zj'-zn'	Longitud (m) Φ ext. (mm) Q (l/s) Φ int. (mm) V (m/s)	2.99 50 1.74 40.8 1.330 9	0.1374	1 codo 90° 50mm 1 tee 50mm 1 reducción a 50mm	1.5 0.45 0.3	0.1993	0.3367
zn'-zm'	Longitud (m) Φ ext. (mm) Q (l/s) Φ int. (mm) V (m/s)	0.99 50 1.59 40.8 1.216 1	0.0385	1 tee 50mm	0.45	0.0333	0.0718
zm'-zl'	Longitud (m) Φ ext. (mm) Q (l/s) Φ int. (mm) V (m/s)	0.99 40 1.42 32.6 1.701 2	0.0932	1 tee 40mm 1 reducción a 40mm	0.35 0.25	0.0868	0.1800
zl'-zk'	Longitud (m) Φ ext. (mm) Q (l/s) Φ int. (mm) V (m/s)	0.99 40 1.22 32.6 1.461 6	0.0704	1 tee 40mm	0.35	0.0374	0.1077
zk'-ao'	Longitud (m) Φ ext. (mm) Q (l/s) Φ int. (mm) V (m/s)	2.07 40 1 32.6 1.198 0	0.1018	3 codo 40mm	3.6	0.2584	0.3602
						TOTAL	4.483