

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS EN EL DISEÑO DE
INSTALACIONES DE AGUA FRÍA USANDO EL SISTEMA DE
TUBERÍAS DE POLIPROPILENO EN LUGAR DEL SISTEMA DE
TUBERÍAS CONVENCIONAL (PVC) PARA LAS INSTALACIONES
SANITARIAS DEL PROYECTO “CENTRO EDUCATIVO
SECUNDARIO”**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de
BACHILLERA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORAS:

Silvia Ivone Junco Galarza
Joely Elizabeth Zagastizabal Montes

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de
BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES:

Stanley Gregory Macuri Mauricio
Anderson Rolando Chávez Callupe
Julio Miguel Lucero Ramos

ASESOR:

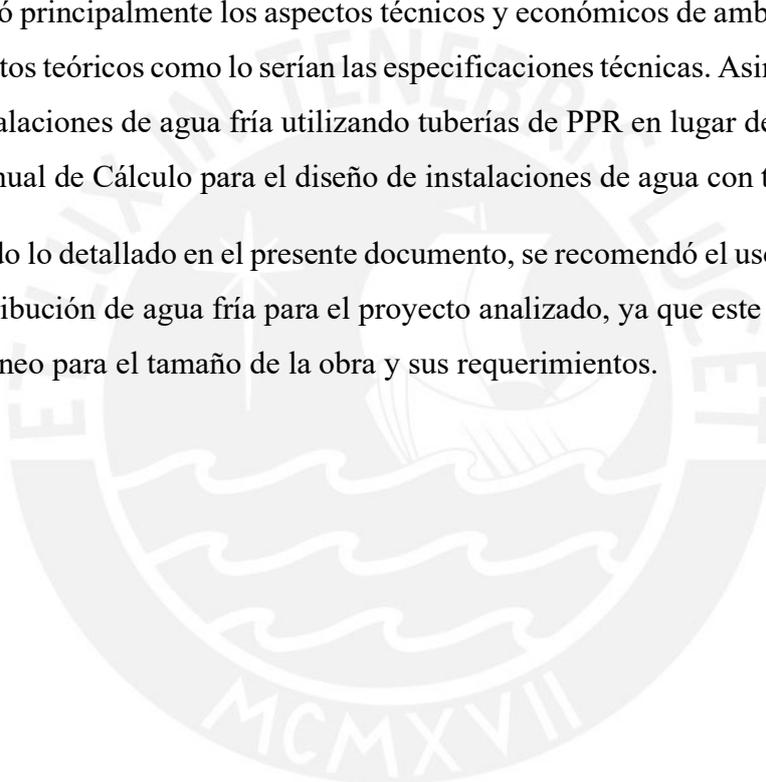
Luis Enrique Torres Mendoza

Lima, Diciembre, 2020

RESUMEN

El polipropileno copolímero Random es un material relativamente nuevo empleado en instalaciones sanitarias. El cual ha demostrado ser de gran utilidad en los sistemas de agua fría y caliente en edificios con mayores requerimientos de altura y presiones, en contraste a los sistemas con tuberías de PVC. Por ello, en la presente investigación se realizó una comparación entre los dos sistemas de agua (PPR y PVC) para su aplicación en el proyecto “Colegio Particular Secundario”, ubicado en el distrito de Puente Piedra, en la ciudad de Lima. En este sentido, se evaluó principalmente los aspectos técnicos y económicos de ambos materiales y se analizaron los datos teóricos como lo serían las especificaciones técnicas. Asimismo, se elaboró el diseño de instalaciones de agua fría utilizando tuberías de PPR en lugar de tuberías de PVC y se creó un Manual de Cálculo para el diseño de instalaciones de agua con tuberías de PPR.

Luego, según todo lo detallado en el presente documento, se recomendó el uso de tuberías PVC en la red de distribución de agua fría para el proyecto analizado, ya que este resultó ser el más económico e idóneo para el tamaño de la obra y sus requerimientos.



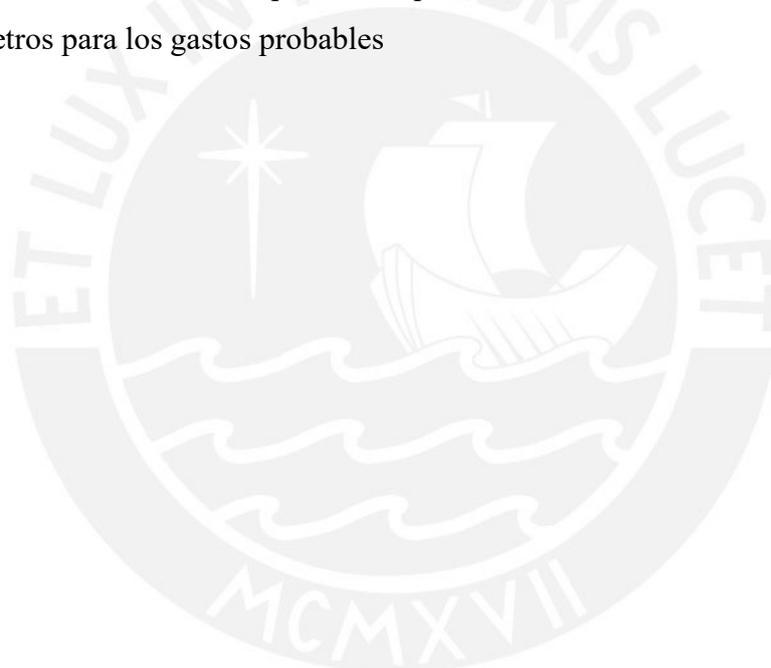
ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.	v
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Alcance.....	2
1.4. Objetivos.	3
1.5. Metodología.....	3
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	5
2.1. Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC).....	5
2.1.1. Información general de las tuberías de PVC.....	5
2.1.2. Aspectos técnicos de las tuberías de PVC.....	5
2.1.3. Aspectos económicos de las instalaciones de agua con tuberías de PVC.....	8
2.2. Tubería de Polipropileno Copolímero Random (PPR).....	8
2.2.1. Aspectos técnicos de las tuberías de PPR o Tuberías de polipropileno Tipo 3.....	8
2.2.2. Aspectos técnicos de las instalaciones de agua con tuberías de PPR.....	10
2.2.3. Aspectos económicos de las instalaciones de agua con tuberías de PPR.....	12
2.3. Análisis comparativo de las instalaciones de agua fría usando los sistemas de PPR y PVC.....	12
2.3.1. Aspectos técnicos.....	12
2.3.2. Aspectos económicos.....	14

3. DISEÑO E INSTALACIÓN DE AGUA FRÍA UTILIZANDO TUBERÍAS DE PPR....	16
3.1. Trazado de tuberías de PPR.....	16
3.2. Diseño de instalación de agua fría utilizando tuberías de PPR.....	18
3.3. Manual de cálculo para la instalación de agua fría con tuberías de PPR.....	24
3.3.1. Trazado de tuberías de agua fría de PPR.....	24
3.3.2. Diseño de tuberías de agua fría de PPR.....	25
3.3.3. Aspectos generales de la bomba y tanque hidroneumático.....	26
3.4. Discusión en base al diseño e instalación de agua fría utilizando tuberías de PPR.....	27
3.4.1. Comparación de características técnicas.....	27
3.4.2. Comparación de características económicas.....	28
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	29
4.1. Conclusiones.....	29
4.2. Recomendaciones.....	30
5. BIBLIOGRAFÍA.....	32
6. ANEXOS.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diámetros nominales de las tuberías de PVC	6
Tabla 2. Accesorios PVC con sus respectivos diámetros nominales	7
Tabla 3. Diámetros nominales de las tuberías de PPR	11
Tabla 4. Tabla resumen de diámetros de diseño de la ruta crítica	19
Tabla 5. Pérdida de carga por unidad de longitud en el tramo crítico	19
Tabla 6. Cálculos intermedios para la pérdida en la ruta crítica	20
Tabla 7. Pérdida en la ruta crítica	21
Tabla 8. Valores para el cálculo	23
Tabla 9. Cálculo de “valores” totales para el tanque hidroneumático	23
Tabla 10. Diámetros para los gastos probables	26



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura molecular del policloruro de vinilo	5
Figura 2. Procedimiento para la instalación de tuberías y accesorios de PVC	8
Figura 3. Clasificación de tuberías PPR según sus condiciones de servicio	9
Figura 4. Unión por termofusión de tubo y accesorio	11
Figura 5. Unión Tee reducción en el sistema PPR	14
Figura 6. Unión Tee con salida lateral más reducción en el sistema PVC	15
Figura 7. Red de agua fría primer piso (exterior)	17
Figura 8. Red de agua fría primer piso (interior)	17
Figura 9. Red de agua fría segundo piso	17
Figura 10. Red de agua fría azotea	18
Figura 11. Gastos probables para aplicación del método de Hunter	18
Figura 12. Coeficientes de proporción	20
Figura 13. Tabla de rendimiento de bomba	22
Figura 14. Tabla de selección de la marca Hidrostral	24

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En el Perú, el uso de nuevas tecnologías o nuevos materiales en el sector construcción es aún carente e insuficiente para varios proyectos. Así, la industria de la construcción muestra una pobre productividad, posiblemente provocada por la fragmentación entre la tecnología y la construcción de infraestructura (Barbosa, 2017). Sin embargo, el desarrollo de nuevos proyectos de mayor complejidad y envergadura fuerza al sector a optar por tecnologías más eficientes y rentables, tanto en la construcción como en el mantenimiento y reparación de las obras. Este crecimiento afecta al proyecto en todos los ámbitos, entre los cuales destacan el uso de materiales, equipamiento y softwares computacionales.

Particularmente, en la especialidad de instalaciones sanitarias de un proyecto, se debe evaluar el tipo de material que se emplea en las tuberías y accesorios de los sistemas de agua y desagüe, ya que existen materiales con mejores características y ventajas que los usados tradicionalmente. Entre los materiales de tuberías que se investigan y se usan con mayor frecuencia tenemos al polipropileno copolímero Random (PPR) que resulta ser de interés relevante, pues es un material con características muy versátiles que han sido adaptadas rápidamente en el mercado de otros sectores, tales como el sector automotriz y minero. Estas tuberías presentan un gran cambio en las uniones, ya que se unen por un proceso denominado termo-fusión haciendo mucho más fácil y rápida su instalación. Además, sus propiedades físicas y mecánicas la hacen un sustituto idóneo a materiales convencionales como el Policloruro de Vinilo (PVC).

En el presente trabajo de investigación se realizará una comparación entre los aspectos técnicos y económicos en el diseño de instalaciones de agua usando el sistema de tuberías de polipropileno copolímero Random (PPR) en lugar del sistema de tuberías convencional (PVC) para las instalaciones sanitarias del proyecto “Centro Educativo Secundario”. Asimismo, se elaborará un manual de cálculo para el sistema de tuberías de polipropileno copolímero Random.

1.2. Justificación

El polipropileno es un material que ha demostrado ser de gran utilidad en los sistemas de agua y desagüe en edificios con mayores requerimientos de altura y presiones, en comparación a los sistemas con tuberías de PVC. Ello se debe a que el material presenta mejores propiedades de flexibilidad, resistencia al impacto, resistencia a la temperatura, entre otros. Además, su instalación al no requerir de pegamentos y líquidos de limpieza es mucho más fácil y rápida. Asimismo, las tuberías de PPR están fabricadas con materiales amigables con el medio ambiente ya que son reciclables. Por estos motivos, su uso está creciendo progresivamente en la industria sanitaria.

Sin embargo, la implementación de dicho nuevo material en las instalaciones sanitarias aún es limitado. Esto se debe a que en el Perú existe desconocimiento de las características y ventajas de las tuberías PPR. Además, aún no existe una normativa específica de su uso en los sistemas de agua fría, caliente o desagüe. A ello se suma que la mayoría de las industrias del mercado comercializan a mayor escala las tuberías de PVC.

En este sentido, su estudio y análisis promoverá su uso en nuestro contexto local y ello comprobará la mayor rentabilidad y beneficios sociales y ambientales de dicho material, para que así este se comercialice a mayor escala.

1.3. Alcance

En la presente investigación se contemplan dos temas que tienen a la implementación de las tuberías de polipropileno copolímero Random (PPR) como foco principal:

En primer lugar, realizar una comparación entre dos sistemas de agua (PPR y PVC) y mediante ello, poder analizar y contrastar los resultados obtenidos mediante ambos sistemas, que permite llegar a concluir que tipo de sistema es el más adecuado para cada contexto. Esto solamente en base a criterios económicos y técnicos que se deben tomar en cuenta para el mencionado análisis. Asimismo, cabe aclarar que, si bien el sistema de tuberías de polipropileno no cuenta con una normativa particular en el Perú, se emplea la norma ISO 15874 para referenciarse en cuestión de diseño y consideraciones técnicas, ello aplicado en el contexto local.

En segundo lugar, desarrollar las condiciones de trazo y diseño de tuberías de polipropileno copolímero Random necesarias para aplicarse en un proyecto de edificación en el medio peruano, considerando los parámetros indispensables referentes a un sistema de agua fría en el

área de instalaciones sanitarias. Asimismo, se menciona que se realizará el trazo y diseño de dicho sistema de tuberías para el proyecto “Centro Educativo Secundario” ubicado en el distrito de Puente Piedra, en la ciudad de Lima; donde todo ello servirá de base para la elaboración y redacción de un Manual de Cálculo que se centrará en el diseño de las mencionadas tuberías de PPR.

1.4. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar los aspectos técnicos y económicos en el diseño de instalaciones de agua utilizando tuberías de polipropileno copolímero Random en lugar de tuberías de PVC para su aplicación en el proyecto “Colegio Particular Secundario”.

Objetivos específicos:

- Analizar los datos teóricos comparativos sobre las especificaciones técnicas y económicas para el diseño de las tuberías de PPR y las de PVC.
- Desarrollar el diseño de instalaciones de agua fría utilizando tuberías de propileno PPR en lugar de tuberías de PVC, en un caso de aplicación de un proyecto de construcción.
- Elaborar un Manual de Cálculo para el diseño de instalaciones de agua con tuberías de polipropileno copolímero Random.

1.5. Metodología

La metodología del presente trabajo de investigación se desarrolla, primordialmente, en tres etapas: la primera contempla la revisión de la literatura de la actual investigación, centrándose en ambos sistemas por analizar y contrastar; mientras que las dos últimas se centran en la aplicación en un proyecto de construcción, con la respectiva realización del Manual de Cálculo para el sistema de tuberías de polipropileno copolímero Random. A continuación se detallan cada una de las tres etapas concernientes a la metodología:

- Marco conceptual de la investigación:

Se presenta la descripción de ambos materiales: polipropileno copolímero Random (PPR) y policloruro de vinilo (PVC) en sistemas de agua y desagüe.

- ***Sistema de tuberías de polipropileno copolímero Random (PPR):***

Esta etapa consiste en el análisis de la información técnica y demás características propias del sistema de tuberías de polipropileno.

- ***Sistema de tuberías de policloruro de vinilo (PVC):***

Esta etapa consiste en el análisis de la información técnica y demás características propias del sistema de tuberías de policloruro de vinilo.

Además, posteriormente, se realizará una comparación objetiva entre los datos de los del sistema de tuberías de PPR y PVC.

- **Diseño de sistema de tuberías de polipropileno y redacción del manual de cálculo:**

Después de tener la base teórica esclarecida, se presentará un caso de aplicación en un proyecto de construcción (donde ya se cuenta con el trazo y diseño tradicional del sistema de tuberías de PVC), en el cual se presentará el diseño de tuberías de PPR; de donde también se desarrollará de forma concisa un Manual que contemple todo el trazo y diseño que se efectuará en dicho proyecto de construcción y que servirá de guía para proyectos de similares características.

- **Análisis comparativo técnico y económico:**

En base a todos los resultados obtenidos para ambos sistemas, se examinará los aspectos técnicos y económicos para cada sistema y se podrá realizar una comparación sucinta sobre en qué contextos terminan siendo más beneficiosos cada sistema de agua. Asimismo, verificar si realmente el sistema de tuberías de PPR termina siendo mucho más favorable que el sistema tradicional de PVC o si, por el contrario, ese novedoso sistema no presenta tantas ventajas notorias, entonces decidir qué sistema prevalecerá en el caso de aplicación propuesto.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC)

2.1.1. Información general de las tuberías de PVC

El cloruro de polivinilo o policloruro de vinilo es un material termoplástico, es decir, es un polímero sintético de adición formado por largas cadenas individuales (monómeros), obtenidos mediante la polimerización del cloruro de vinilo monómero por medio del proceso de polimerización en cadena o conocido como “chain-growth polymerization”. Al abrir los enlaces dobles de la estructura molecular del monómero, estos reaccionan rápidamente entre sí encadenándose mutuamente y formando un nuevo material (Beltrán 22, 2016).

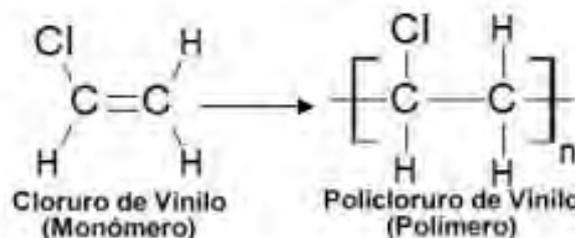


Figura 1. Estructura molecular del policloruro de vinilo.

Fuente: Beltrán

Entre las tuberías de PVC que se pueden instalar con este material se encuentran las siguientes: tuberías de agua potable, tuberías de desagüe, tuberías de riego, entre otros.

En el Perú, el PVC es, prácticamente, el material indiscutible y convencional para todo lo concerniente a instalaciones sanitarias debido a que su costo es asequible, su tiempo de durabilidad es de 50 años (según la norma NTP ISO 1452), presenta gran versatilidad, tiene una fácil instalación, su resistencia a la corrosión es muy buena y no es un material conductor de corriente eléctrica.

2.1.2. Aspectos técnicos de las tuberías de PVC

El material cuenta con distintas propiedades mecánicas, térmicas, físicas y químicas que se presentan a continuación:

Característica mecánica

Resistencia al impacto: Las tuberías de PVC presentan una considerable resistencia mecánica al impacto, ya que tiene una buena rigidez a bajas temperaturas.

Característica térmica

Manejabilidad: El material PVC para tuberías se comercializa de manera rígida, pero se puede generar su pérdida de rigidez al aumentar la temperatura entre 104 °C y 205 °C, la cual es una ventaja para la maniobrabilidad de los elementos, puesto que en la construcción será necesario el acondicionamiento de estos materiales de acuerdo con las necesidades del edificio.

Característica física

Versátil: Gracias al uso de aditivos tales como plastificantes, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible teniendo así una gran variedad de aplicaciones y usos.

Característica química

Aislamiento eléctrico: Estas instalaciones sanitarias al igual que las eléctricas pasan por las losas de las edificaciones, lo que puede condicionar la seguridad de los habitantes de esta edificación. Por esa razón, el aislamiento eléctrico en las tuberías de conducción de agua es de suma importancia para salvaguardar las valiosas vidas. Cabe mencionar que este aislamiento se debe a que este material cuenta con una constante dieléctrica.

Durabilidad: Estas tuberías son diseñadas con un tiempo de vida útil de 50 años, según la norma NTP ISO 1452. La causa de que estos tubos de PVC sean resistentes se debe a la inclusión del cloro en la cadena de carbono, lo que genera una baja tasa de probabilidad de oxidación por el oxígeno atmosférico.

Diámetros nominales

Tabla 1. Diámetros nominales de las tuberías de PVC

DIÁMETROS NOMINALES										
mm	21	26	33	42	48	60	73	88	114	168
pulg	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	3"	4"	6"

Accesorios

Tabla 2. Accesorios PVC con sus respectivos diámetros nominales

Diámetros nominales (pulg)	Uniones	Codos 90°	Adaptadores macho	Codos 45°	Adaptadores hembra	Tees	Tees reducidas	Válvulas universales	Uniones universales	Tapones	Entrada de tanque	Salida de tanque
1/2"	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	
3/4"	X	X	X	X	X	X		X	X	X		
1"	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X
1 1/4"	X	X	X	X	X	X			X	X		
1 1/2"	X	X	X	X	X	X		X	X	X		
2"	X	X	X	X	X	X		X	X	X		
2 1/2"	X	X	X	X	X	X				X		
3"	X	X	X	X	X	X				X		
4"	X	X	X	X	X	X				X		
6"	X	X		X	X	X				X		
1/2" x 3/4"					X		X					
1/2" x 3/8"					X							
1" x 1/2"							X					
1" x 3/4"							X					

Unión de elementos

Unión flexible- Sistema Rieber

Conocida también como Junta Elástica Integrada (JEI) proporciona a la red de agua la permeabilidad necesaria para evitar la fuga de agua debido a la alta presión o sub-presión (vacío), las cuales son condiciones a la que está usualmente expuesta una tubería. Este sistema cuenta con una campana en el borde exterior de la tubería y en su interior un anillo de goma preesforzada que garantiza la hermeticidad en la unión.

El procedimiento para la unión de los elementos y accesorios, según el catálogo de Infraestructura Tigre (extraído de la NTP ISO 1452), inicia con la limpieza interior de la

campana y el borde exterior de la tubería o pieza al cual irá unida, este último debe tener una marca de la profundidad al cual irá insertado. Este no debe extenderse hasta el fondo de la campana, ya que trabaja como junta de dilatación. Luego, se verifica que la espiga tenga un chaflán de 15°, se inserta el anillo flexible al interior de la campana y se aplica una capa de lubricante para PVC de, aproximadamente, 1 mm en el interior de la campana y en el exterior de la espiga. Finalmente, se inserta de manera recta el extremo biselado en la campana o accesorio realizando presión en dirección de colocación. Se debe tener en cuenta durante el montaje que la campana debe estar en sentido contrario del flujo.

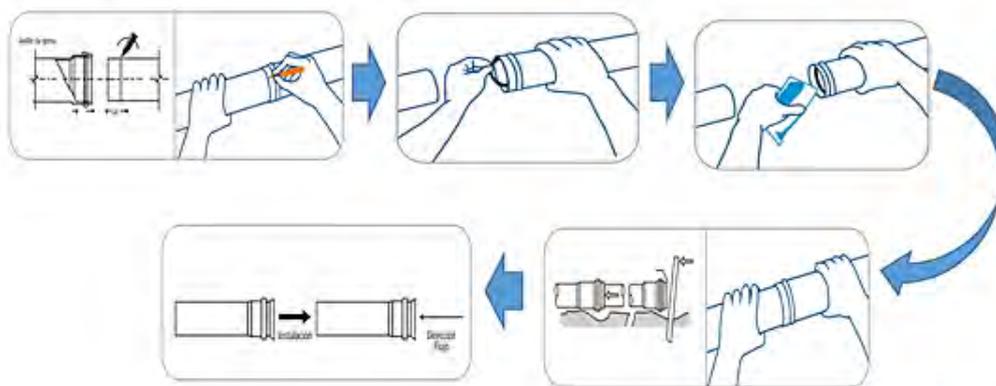


Figura 2. Procedimiento para la instalación de tuberías y accesorios de PVC.

Fuente: Adaptado del Catálogo de Infraestructura Unión Flexible y Unión Rieber (JEI)

2.1.3. Aspectos económicos de las instalaciones de agua con tuberías de PVC

El gasto económico en la instalación de tuberías de agua se ve reflejado tanto en el costo por implementación y mantenimiento. Por un lado, de acuerdo con las propiedades del propio material, como la manejabilidad, la fase de la implementación puede reducir costos en la mano de obra como en el tiempo de ejecución. Por otro lado, el mantenimiento depende de propiedades como son la durabilidad (menor oxidación), la corrosión de la tubería y entre otros. A partir de estas dos fases es que se obtuvo la valoración económica que tiene las tuberías de PVC.

2.2. Tubería de Polipropileno Copolímero Random (PPR)

2.2.1. Aspectos técnicos de las tuberías de PPR o Tuberías de polipropileno Tipo 3

El polipropileno es un polímero formado por cadenas monoméricas de propileno, de alto peso molecular, lo que le confiere excelentes propiedades mecánicas que lo hacen idóneo para instalaciones tanto de agua caliente como de agua fría. El sistema de tuberías PPR es aplicable

en diferentes ámbitos tales como: redes de agua potable, industria de alimentos y químicos, industria minera, agricultura y redes de aire comprimido.

En el ámbito de las instalaciones sanitarias, este sistema se caracteriza por resistir flujos con presiones y velocidades altas. Además, es resistente a las vibraciones ocasionadas por los sismos, la abrasión y la corrosión debido a agentes internos y externos. Entre sus propiedades químicas, el polipropileno copolímero Random tiene una baja conductividad térmica que permite mantener la temperatura del líquido y una gran soldabilidad (necesarias para las conexiones por termofusión). Por otro lado, no afecta el color del agua ni emana olor ni sabor, permitiendo sea usado en instalaciones de agua para consumo humano.

Características generales

Las superficies internas y externas de las tuberías PPR son lisas y no presentan corrugaciones o cavidades, evitando así la formulación de sarros y la incrustación de partículas. Asimismo, pueden presentar ligeras variaciones de color en el transcurso de su vida útil.

La clasificación que presenta la Norma ISO 15874-1 de acuerdo a su aplicación de uso se basa en la presión de diseño p_D . Por ejemplo la clase 5 resiste una presión máxima de 145 lb/pulg² y es aplicable en instalaciones de agua fría, montantes o alimentadores de agua (Fabián Janampa & Sandoval Vilcapoma, 2013)

p_D	Application			
	Class 1	Class 2	Class 4	Class 5
bar	$S_{calc,max}$ -values ^a			
4	6,9	5,3	6,9	4,7
6	5,0	3,5	5,5	3,2
8	3,8	2,6	4,1	2,4
10	3,0	2,1	3,3	1,9

^a The values are rounded to the first place of decimals.

Figura 3. Clasificación de tuberías PPR según sus condiciones de servicio (ISO, 2013)

Fuente: ISO 15874-1 Plastics piping systems for hot and cold water installations Polypropylene (PP) - Part1. *BSI Standards Publication*.

Además, cualquier sistema de tuberías PPR para agua fría deben satisfacer la conducción de agua a 20°C por un periodo mínimo de 50 y resistir una presión de diseño (p_D) de 1 MPa según lo especifica la Norma ISO 15874-1 (2013).

2.2.2. Aspectos técnicos de las instalaciones de agua con tuberías de PPR

Entre las propiedades que los sistemas de tubería PP-R presentan se encuentran las siguientes:

Característica mecánica

Las tuberías y accesorios de polipropileno tienen una alta resistencia al impacto esto debido al módulo de elasticidad de la materia prima usada ($E= 850 \text{ MPa}$) el cual permite un alargamiento máximo de 13%. Dada la plasticidad del material, es capaz de absorber gran parte del aumento de volumen en casos de congelación. A su vez, pruebas biaxiales realizadas en tuberías PPR (Morath et al., 2006) sometidos a temperatura 140°C demostraron tener una alta resistencia a la tracción 25 MPa lo que se refleja en la muy baja fragilidad y en el extremadamente largo tiempo de falla a temperaturas elevadas y tensiones.

Por otro lado, gracias a la baja celeridad del material (velocidad de propagación de la onda), la tubería PPR tiene un magnífico efecto amortiguador frente a la transmisión de ruidos por el paso de fluidos.

Característica térmica

Zgoul y Habali (2013) demuestran que las tuberías de PPR se comportan satisfactoriamente cuando se someten a tensiones térmicas durante mucho tiempo. Además, poseen conductividades térmicas y eléctricas bajas, por lo que presentan una mayor conservación de energía y seguridad que las tuberías de acero.

Característica física

Los tubos de polipropileno tienen una baja densidad $\rho = 898 \text{ kg/m}$ lo que permite una mayor trabajabilidad debido a su ligereza.

Característica química

Las tuberías de polipropileno no se oxidan dada su resistencia química a la mayoría de los productos químicos y todo tipo de agua. Soportan la conducción de agua y otras sustancias químicas con valores de PH entre 1 y 14 (resistiendo, de esta manera, la corrosión química y bacteriana). Tiene alta resistencia a la corrosión tanto de ácidos como de álcalis, lo cual garantiza un buen comportamiento en ambientes salinos como las zonas cercanas al mar.

Si bien el presente documento es para apreciar el comportamiento del material en tuberías de instalaciones sanitarias, es importante mencionar que las grandes características de este tipo de tuberías permiten que además de sus aplicaciones básicas, sean utilizadas en un sinnúmero de distintos modos.

Diámetros nominales

Tabla 3. Diámetros nominales de las tuberías de PPR

DIÁMETROS NOMINALES									
mm	20	25	32	40	50	63	75	90	110
pulg	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	3"	4"

Accesorios

Se detallarán los accesorios en el ANEXO 1.

Unión de elementos

La unión de tubos de polipropileno y sus accesorios se realiza mediante termofusión, ver Figura 4; es decir, las superficies de las partes son calentadas a temperatura de fusión y por medio de presión manual o hidráulica se unen ambos elementos. Esta unión permite tener un sistema de tuberías continuo, de unión permanente sin alterar su resistencia, además se producen menores pérdidas de carga en comparación al sistema convencional.



Figura 4. Unión por termofusión de tubo y accesorio

Fuente: Sistema de tuberías de polipropileno (PP-R) Aquatherm, 2015

2.2.3. Aspectos económicos de las instalaciones de agua con tuberías de PPR

En el Perú el costo de tuberías y accesorios en los sistemas de tuberías PPR no resulta ser muy atractivo en comparación del sistema convencional, ya que los precios en el mercado son mucho más elevados; sin embargo, de acuerdo con el uso y envergadura de la edificación, puede resultar más conveniente el uso del sistema PPR debido, principalmente, a los gastos de instalación, algunos de los cuales se detallan a continuación:

- El método de unión entre accesorios es más económico, puesto que no se requiere del uso de pegamentos; asimismo, si bien es necesario usar la máquina de termofusión, en periodos largos, esta resulta ser más económica.
- Además, existe un ahorro en la mano de obra u horas hombre, dependiendo de la envergadura del proyecto, ya que el trabajo tiene mayor facilidad en comparación con los métodos tradicionales.
- Los costos generados por el impacto ambiental son menores, puesto que la tubería de PPR es más amigable con el medio ambiente.

En síntesis, todos estos factores determinarán si el sistema de termofusión es mucho más económico que el sistema de tuberías convencional.

2.3. Análisis comparativo de las instalaciones de agua fría usando los sistemas de PPR y PVC

2.3.1. Aspectos técnicos

- Tuberías y conexiones

PPR

Las tuberías y conexiones deben ser de PPR 100 Tipo 3 Serie 5.0 y Clase 10 (clase de presión) los accesorios también son del tipo 3, Serie 2.5 y Clase 20. La temperatura de termofusión necesaria entre un tubo y una conexión es 260 °C (Fabián Janampa & Sandoval Vilcapoma, 2013).

- Empotrado de tuberías

PPR

Las tuberías de agua fría y caliente deben estar separadas una distancia igual al diámetro de la tubería entre sus generatrices más próximas. Además se recomienda colocar una cucharada de mortero de secado rápido cada 40 o 50 cm. en tramos horizontales y verticales y en los cambios de dirección de la tubería como codos y tees para mejorar la instalación de la tubería dentro de los muros y asegurar un buen empotramiento de la misma (Grupo ROTOPLAS M.R., 2007)

PVC

Según la norma IS.010, artículo 7, inciso i, las tuberías de agua fría y caliente deben estar separadas a una distancia mínima de 0.15 m entre sus generatrices.

- Prueba hidráulica

PPR

Para la prueba hidráulica de presión y estanqueidad de los tubos PPR se debe ejecutar a una presión de 1.5 veces la presión de trabajo para tuberías con un máximo de 100 m de distancia. En caso la distancia sobrepase los 100 m se debe subdividir en sectores menores con un máximo de 100 metros (TIGRE S.A., 2018).

PVC

Antes de poner en servicio el sistema de agua, esta debe pasar por una prueba e inspección de estanqueidad. Para ello, se debe inyectar agua con ayuda de una bomba manual o balde hidráulico en la tubería de inspección hasta llegar a una presión de 7 kg/cm². Esta presión se debe mantener constante por un tiempo de 15 minutos. Esta operación debe realizarse luego del tiempo de fraguado del cemento disolvente para PVC (1 hora o según lo que indique el fabricante).

- Reparaciones

PPR

De acuerdo al diámetro del tubo y tipo de avería el procedimiento de reparación y las herramientas a usar pueden variar; sin embargo, el manejo de estas y la ejecución no son

complicados sino que se debe seguir los pasos descritos en el manual del producto. Por otro lado, el tiempo de reparación puede durar entre 5-10 minutos (no incluye la eliminación de material hasta llegar al tubo dañado) (Grupo ROTOPLAS M.R., 2007).

PVC

Dependerá de la magnitud del daño al que ha sido expuesta la tubería. Si la rotura es de 5 cm de longitud como máximo, la reparación consistirá en cortar el tramo de la tubería afectada y reemplazarla con una unión de PVC (sistema flexible) o con algún otro material como fierro fundido o fibro cemento que se adapte a la zona afectada (Nicoll, 2006). En caso la rotura sea mayor, es conveniente la sustitución completa de la tubería afectada.

2.3.2. Aspectos económicos

- Ahorro en instalación

PPR

-Se pueden utilizar tramos de tubería de hasta 3 cm

-Las válvulas de control de polipropileno no necesitan uniones universales o niples galvanizados.

-Se pueden prescindir de otros accesorios como es el caso de las tees con salidas reducidas como se muestra en las siguientes imágenes. La figura 5 muestra una unión tee reducción para unir tubos PPR de diferente diámetro mediante termofusión. Mientras que en el sistema PVC (figura 6) se emplean dos accesorios para unir dos elementos con diferente diámetro.



Figura 5. Unión Tee reducción en el sistema PPR

Fuente: TIGRE S.A., 2018



Figura 6. Unión Tee con salida lateral más reducción en el sistema PVC
Fuente: Fabián Janampa & Sandoval Vilcapoma, 2013

- Unión de elementos

PPR

Para la unión entre un tubo y una conexión no se requiere el uso de pegamentos, soldadura, soplete ni roscas sino un termofusor con potencia nominal de 800 Watts.

PVC

Para la unión de tuberías de PVC (sistema convencional) se emplea básicamente pegamento (cemento solvente para PVC). Para los sistemas de unión flexible es necesario el uso de un anillo de goma preesforzada para asegurar la estanqueidad del sistema ante posibles subpresiones.

- Insumos utilizados

PPR

Para el cambio de un tramo de la tubería es necesario el uso de un termofusor y un cople; para el segundo caso termofusor taladro, broca de 8 mm, dado de reparación (solo si se tiene un orificio), tapón de reparación, cutter y lápiz.

PVC

Para la instalación y/o reparación de tuberías de PVC es necesario de equipos manuales básicos como sierra de metal, para los cortes; papel de lija, para la eliminación de bordes durante el biselado; brocha, para la aplicación del cemento solvente; y teflón, para la unión de accesorios.

- Mano de obra

PPR

Usando el sistema PPR se tiene menor gasto en reparaciones. Además, la manejabilidad y el sencillo proceso de trabajo dan como resultado ahorros en tiempo y costo de instalación. Por cada instalación de PVC se hacen 2 instalaciones de PPR (Grupo ROTOPLAS M.R., 2007)

PVC

La tubería de PVC es de fácil instalación, ya que solo contempla la unión entre estas mediante el cemento solvente para PVC. Esta actividad requiere de un personal con mano de obra calificada con menor remuneración que el personal que realizará la instalación de tuberías de PPR.

3. DISEÑO E INSTALACIÓN DE AGUA FRÍA UTILIZANDO TUBERÍAS DE PPR

En el siguiente punto se desarrollará el trazo y diseño de las tuberías PPR para las instalaciones sanitarias de red de agua fría de un pabellón de una institución educativa privada ubicada en el distrito de Puente Piedra, provincia de Lima. Asimismo, se propondrá un manual de cálculo de tuberías de polipropileno para dicha instalación y se analizará su viabilidad económica.

3.1. Trazado de tuberías de PPR

El trazo de la red de agua fría con tuberías de polipropileno, al igual que con tuberías de PVC, se realizó desde la cisterna hasta cada aparato sanitario. El número de aparatos sanitarios se determinaron de acuerdo a la capacidad de los residentes y a los parámetros indicados en la Norma A.040, en el Artículo 20.7. Asimismo, se identificó los elementos estructurales como vigas y columnas para evitar su cruce e incompatibilidades. Finalmente, se verificó que toda la red de tubería se encuentre en las losas y tabiques o muros no portantes.

Como se muestra en la figura 7 la red de agua fría comienza en la cisterna, continua por el cuarto de bombas e ingresa a la edificación en dos puntos ubicados en el eje A y el eje 7. En ambos casos sube por muros no portantes. El montante de agua fría del eje A distribuye el recurso a los baños de profesoras y profesores, mientras que el montante del eje 7 para los baños de alumnas y alumnos.



Figura 7. Red de agua fría primer piso (exterior).

Fuente: Propia

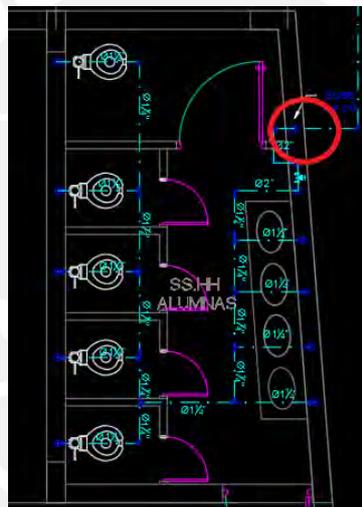


Figura 8. Red de agua fría primer piso (interior).

Fuente: Propia

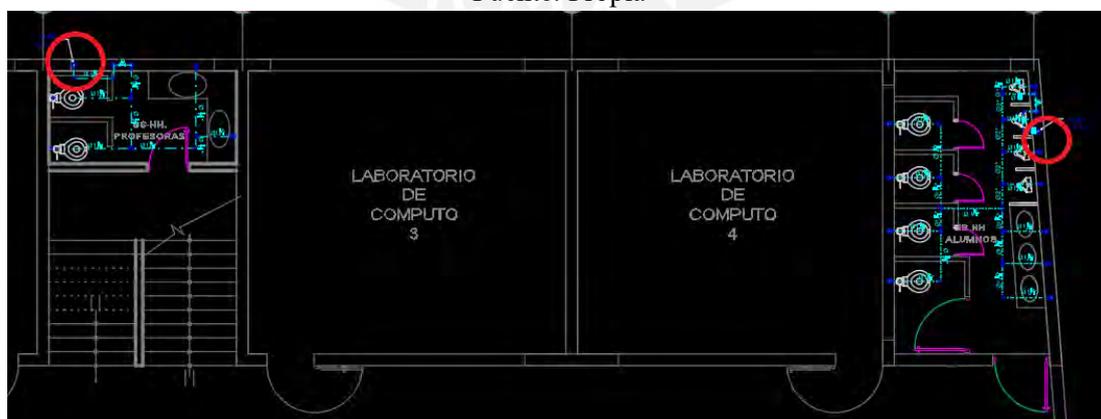


Figura 9. Red de agua fría segundo piso.

Fuente: Propia

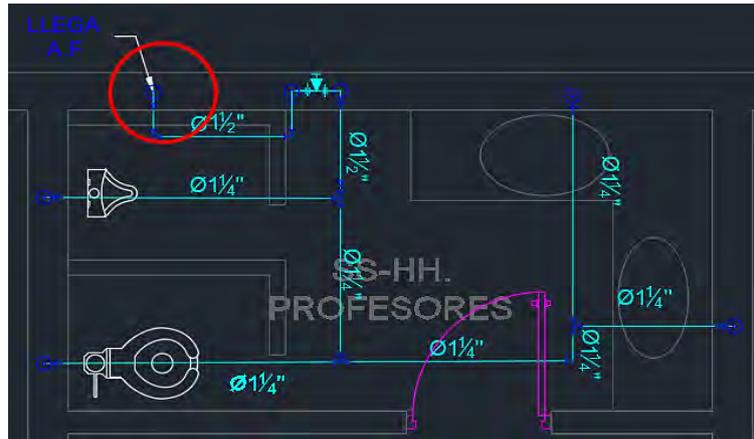


Figura 10. Red de agua fría azotea.
Fuente: Propia

3.2. Diseño de instalación de agua fría utilizando tuberías de PPR

Al igual que en la red de tuberías PVC, se diseña el sistema a partir de la ruta crítica desde el cuarto de bombas hasta el aparato más desfavorable. En este caso, el aparato más desfavorable es el lavatorio del baño de profesores ubicado en el descanso de la escalera entre el piso 2 y la azotea.

Luego, se procedió a definir las unidades de gasto de los aparatos sanitarios según lo indicado en el Anexo 2 de la Norma Técnica I.S.010, ya que se trata de un servicio público. Para los aparatos sanitarios de todo el proyecto se utilizaron lavatorios corrientes (1.5UG), inodoros con válvula semiautomática (8UG) y urinarios con válvula semiautomática (5UG).

Posteriormente, con las UG halladas en cada tramo de la red se calcula el caudal con el método de Hunter descrito en la norma IS.010.

GASTOS PROBABLES PARA APLICACIÓN DE MÉTODO DE HUNTER (lt/s ó lps)											
N° UNIDADES	GASTOS PROBABLE TANQUE	GASTOS PROBABLE VÁLVULA	N° UNIDADES	GASTOS PROBABLE TANQUE	GASTOS PROBABLE VÁLVULA	N° UNIDADES	GASTOS PROBABLE TANQUE	GASTOS PROBABLE VÁLVULA	N° UNIDADES	GASTOS PROBABLE TANQUE	GASTOS PROBABLE VÁLVULA
0.75	0.03	-	30	0.75	1.55	120	1.83	2.72	380	3.83	4.60
1	0.04	-	32	0.79	1.59	130	1.91	2.80	400	3.97	4.72
1.50	0.06	-	34	0.82	1.63	140	1.98	2.85	420	4.12	4.84
2	0.08	-	36	0.85	1.67	150	2.06	2.95	440	4.27	4.96
2.50	0.10	-	38	0.88	1.70	160	2.14	3.04	460	4.42	5.08
3	0.12	-	40	0.91	1.74	170	2.22	3.12	480	4.57	5.20
4	0.18	-	42	0.95	1.78	180	2.29	3.20	500	4.71	5.31
5	0.23	0.91	44	1.00	1.82	190	2.37	3.25	550	5.02	5.57
6	0.25	0.94	46	1.03	1.84	200	2.45	3.36	600	5.34	5.83
7	0.28	0.97	48	1.09	1.92	210	2.53	3.44	650	5.85	6.09
8	0.29	1.00	50	1.13	1.97	220	2.60	3.51	700	5.95	6.35
9	0.32	1.05	55	1.19	2.04	230	2.65	3.58	750	6.20	6.61
10	0.34	1.06	60	1.25	2.11	240	2.75	3.65	800	6.60	6.84
12	0.38	1.12	65	1.31	2.17	250	2.84	3.71	850	6.91	7.11
14	0.42	1.17	70	1.36	2.23	260	2.91	3.79	900	7.22	7.36
16	0.46	1.22	75	1.41	2.29	270	2.99	3.87	950	7.53	7.61
18	0.50	1.27	80	1.45	2.35	280	3.07	3.94	1000	7.84	7.85
20	0.54	1.33	85	1.50	2.40	290	3.15	4.04			
22	0.58	1.37	90	1.56	2.45	300	3.32	4.12			
24	0.61	1.42	95	1.62	2.50	320	3.37	4.24			
26	0.67	1.45	100	1.67	2.55	340	3.52	4.35			
28	0.71	1.51	110	1.75	2.60	360	3.67	4.46			

Método de Roy B. Hunter: Está basado en la teoría de probabilidades al cálculo de gastos en los sistemas de plomería

Figura 11. Gastos probables para aplicación del método de Hunter (lt/s ó lps).
Fuente: IS.010

En resumen, para la ruta crítica se tiene las siguientes unidades de gatos y caudales:

Tabla 4. Tabla resumen de diámetros de diseño de la ruta crítica.

Fuente: propia

Tramo	Longitud (m)	U.G.	q (lt/s)	Ø mínimo	Ø máximo	Ø diseño
a-b	3,76	110	2,6	2"	3"	2-1/2"
b-c	23,38	35	1,65	1-1/4"	2"	1-1/2"
c-d	4,67	16	1,22	1"	1-1/2"	1-1/2"
d-e	1,01	11	1,09	1"	1-1/2"	1-1/4"
e-f	1,76	3	0,91	1"	1-1/2"	1-1/4"
f-g	2,53	1.5	0,91	1"	1-1/2"	1-1/4"

Es importante mencionar, que como se mencionó en el capítulo anterior las tuberías de Polipropileno Copolímero Random tienen menores pérdidas en comparación a las tuberías PVC, por lo que en el cálculo de pérdidas el coeficiente de rugosidad del tubo varía. En el caso del polipropileno, este es igual a 150. Además, se utiliza la misma ecuación que en el diseño de tuberías de PVC, es decir la ecuación de Hazen y Williams.

$$Q = 0.2787 * C * S^{0.54} * D^{1.63}$$

Donde:

- Q: Caudal (m³/s)
- C: Coeficiente de rugosidad del tubo.
- D: Diámetro de la tubería (m)
- S: Pérdida de carga por unidad de longitud (m/m)

Tabla 5. Pérdida de carga por unidad de longitud en el tramo crítico.

Fuente: Propia

Tramo	U.G.	q (lts)	S
a-b	110	2,6	0,00008
b-c	35	1,65	0,00017
c-d	16	1,22	0,00009
d-e	11	1,09	0,00013
e-f	3	0,91	0,00010
f-g	1.5	0,91	0,00010

Para el cálculo de las pérdidas en los accesorios se usará la siguiente expresión. Además,

los coeficientes de proporcionalidad se tomarán de acuerdo al manual de diseño de la empresa Polifusion, como se muestra en la figura 12.

$$J_s = \sum K * Z$$

Donde:

- Js: Pérdidas en accesorio (m.c.a.)
- K: Coeficiente de proporcionalidad
- $Z = v^2/2g$

Tabla 6. Cálculos intermedios para la pérdida en la ruta crítica.
Fuente: Propia

Tramo	q (lts)	Ø diseño (m)	V (m/s)	Z
a-b	2,6	0,0635	0,8210	0,0344
b-c	1,65	0,0381	1,4472	0,1068
c-d	1,22	0,0381	1,0701	0,0584
d-e	1,09	0,03175	1,3767	0,0966
e-f	0,91	0,03175	1,1494	0,0673
f-g	0,91	0,03175	1,1494	0,0673

FITTING	DIAGRAMA	FLUJO	"K"
			0,25
		Reducción de 1 Diámetro de 2 Diámetro de 3 Diámetro de 4 Diámetro	0,40 0,5 0,6 0,7
			2,1 3,7
			0,25 1,20
			0,80 1,80 3,00
			0,50
			1,20

Figura 12. Coeficientes de proporción.
Fuente: Polifusión S.A.

Tabla 7. Pérdida en la ruta crítica.

Fuente: Propia

Tramo	Condiciones		Elementos	Js (C=150)
a-b	Longitud (m):	3,76	tub. 3.76m de PPR	0,0003
	Z	68	1 válvula compuerta y 2 llaves universales 2-1/2"	0,027
	Q (l/s):	2,6	1 codo 90° 2-1/2"	0,081
	Diámetro (pulg.):	2-1/2"	1 tee derivada 2-1/2"	0,012
	S:	0,00007	Suma	0,121
b-c	Longitud (m):	23,38	tub. 23.38m de PPR	0,003
	Z	35	1 reducción de 2-1/2" a 1-1/2"	0,048
	Q (l/s):	1,65	1 codo 90° 1-1/2" que sube	0,014
	Diámetro (pulg.):	1-1/2"	1 tee recta 1-1/2"	0,025
	S:	0,0001	Suma	0,090
c-d	Longitud (m):	4,67	tub. 4.67m de PPR	0,0004
	Z	16	1 válvula compuerta y 2 llaves universales 1-1/2"	0,027
	Q (l/s):	1,22	3 codo 90° 1-1/2"	0,043
	Diámetro (pulg.):	1-1/2"	1 tee recta 1-1/2"	0,025
	S:	0,0001	Suma	0,095
d-e	Longitud (m):	1,01	tub. 1.01m de PPR	0,0001
	Z	11	1 tee derivada 1-1/4"	0,050
	Q (l/s):	1,09	1 reducción de 1-1/2" a 1-1/4"	0,096
	Diámetro (pulg.):	1-1/4"		
	S:	0,00011	Suma	0,146
e-f	Longitud (m):	1,76	tub. 1.76m de PPR	0,00014
	Z	3	1 tee derivada 1-1/4"	0,050
	Q (l/s):	0,91		
	Diámetro (pulg.):	1-1/4"		
	S:	0,0001	Suma	0,050
f-g	Longitud (m):	2,53	tub. 2.53m de PPR	0,00020
	Z	1.5	1 codo 90° 1-1/4"	0,028
	Q (l/s):	0,91	1 válvula compuerta 1-1/2"	0,300
	Diámetro (pulg.):	1-1/4"		
	S:	0,0001	Suma	0,328
			TOTAL	0,830

Para escoger la bomba y tanque hidroneumático se realizará los siguientes cálculos:

Primero, para hallar la presión es necesario saber el aparato más desfavorable (lavatorio del baño de profesores), que se encuentra en la azotea a una altura de 7.8 m sobre el nivel de salida del tanque hidroneumático, se emplea la siguiente relación:

$$H = 7.8 + 0.830 + 2.00$$

$$H = 10.63 \text{ m. c. a.}$$

Entonces, se procederá a calcular la potencia necesaria de la bomba, asumiendo una eficiencia del 70%.

$$Pot = 10.63 * 2.6 / (75 * 0.7) = 0.53 \text{ HP}$$

Ahora, se calculará la presión mínima y máxima con la que trabajará el sistema, según:

$$P_{min} = 10.63 * 1.42 = 15.09 \text{ psi}$$

Se tomará un valor de $P_{min} = 30 \text{ psi}$, ya que este es el valor mínimo comercial.

Por otro lado, el

Será igual $P_{máx} = 30 + 20 = 50 \text{ psi}$ y el $P_{prom} = P_{min} + P_{máx} / 2 = 40 \text{ psi} = 28.2 \text{ m. c. A}$

Luego, según la tabla de bombas de la empresa Hidrostal se puede obtener la bomba necesaria para un caudal de 2.6 l/s y que eleve una altura de 28.2 m.c.a.

De esta manera, se selecciona una bomba Hidrostal de modelo 40-125-5HP.

TABLA DE RENDIMIENTO DE BOMBAS ELÉCTRICAS TRIFÁSICAS DE 220 VOLTIO / 60 CICLOS																
Modelos	HP	Diámetro		Peso (Kg.)	CAUDAL (Litro por segundo)											
		Succión	Descarga		0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0	15.0	20.0		
B1 - 2.5	3	1-1/2"	1"	32	44.0	43.0	41.0	37.0	Altura de elevación en metros (según la curva característica)							
B1 - 2.5	3	1-1/2"	1"	33	62.0	57.0	48.0									
32 - 125 - 2.5	3	2"	1-1/2"	35	25.2	25.2	25.0	24.6	23.2	16.4						
40 - 125 - 2.5	3	2-1/2"	1-1/2"	8	18.2	18.2	18.2	18.2	18.0	17.4	15.9	9.2				
32 - 125 - 5	5	2"	1-1/2"	45	41.0	41.0	41.0	41.0	40.0	35.8	24.0					
32 - 160L - 5	5	2"	1-1/2"	52	62.0	61.8	61.2	60.0	54.0							
2/ 32 -200L - 5	5	2"	1-1/2"	55	85.5	83.5	80.0	73.5								
40 - 125 - 5	5	2-1/2"	1-1/2"	51	29.6	29.8	29.8	30.0	30.0	29.4	28.2	14.0				
32 - 160L - 6.6	7	2"	1-1/2"	72	63.0	63.0	62.5	61.8	58.6	47.4						
2/32 - 200L - 6.6	7	2"	1-1/2"	74	98.0	96.0	92.5	85.0								
40 - 125 - 6.6	7	2-1/2"	1-1/2"	71	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	35.0	33.0				
40 - 160 - 6.6	7	2-1/2"	1-1/2"	72	40.5	41.0	41.6	42.0	42.6	42.0	38.6	32.0				
2/32 - 200L - 12	12	2-1/2"	1-1/2"	78	97.5	96.0	95.0	92.5	87.0	60.0						
40 - 160 - 12	12	2-1/2"	1-1/2"	78	57.0	57.4	57.8	68.0	58.4	58.0	56.0	48.4				
50 - 160 - 12	12	3"	2"	81	41.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	40.0	36.0	29.0		

Figura 13. Tabla de rendimiento de bomba.

Fuente: Hidrostal

Posteriormente, se calculará el volumen del tanque hidroneumático, según la ecuación:

$$V = 44 * Q * (P2 + 14.7) / (P2 - P1)$$

$$V = 44 * 2.6 * (50 + 14.7) / (50 - 30) = 370.08 \text{ galones}$$

Además, según la ficha técnica de la marca Hidrostral, se puede calcular el volumen considerando cierta cantidad de valores según los aparatos.

Tabla 8. Valores para el cálculo

CALCULO DEL EQUIPO HIDRONEUMATICO			
Para casas y edificios		Escuelas, oficinas, restaurantes, etc.	
UNIDAD	VALORES	UNIDAD	VALORES
Lavatorio	1	Lavatorio	2
Lavatorio de cocina	2	Lavatorio de cocina	4
Tina	2	Urinario con tanque	3
Ducha	2	Inodoro	5
Inodoro	3	Ducha	4
Baño completo con Inodoro	6		
Medio baño poco usado	3		

En caso que el inodoro sea con válvula, agregar 5 valores más.
El tipo de bomba más chica con la que se puede usar con válvula es el de 1.4 HP.

Tabla 9. Cálculo de “valores” totales para el tanque hidroneumático

Fuente: propia

Aparato	Cantidad	Valores	Subtotal
Lavatorio corriente	12	2	24
Inodoro con válvula semiautomática	11	10	110
Urinario con válvula semiautomática	5	8	40
		TOTAL	174

Finalmente, con las tablas de selección de la marca Hidrostral se puede obtener el equipo necesario.

VALORES	Q [l/s]	NUMERO DE PISOS												TUBERIA QUE SALE DEL EQUIPO
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		20 - 40 PSI	25 - 45	30 - 50	35 - 55	40 - 60	45 - 65	50 - 70	55 - 75	60 - 80	65 - 85 PSI			
20	0.54	1M 1B CH-20 A11 - 0.6 M												3/4"
30	0.68	1M 1B CH-32 A11 - 0.8 M												
40	0.85	1M 1B CH-32 MULTI H-202 - 0.75 M / T												1"
50	1.16													
60	1.25		1M 1B CH-32 MULTI H-203 - 1.0 M / T											
70	1.34													1,1/4"
80	1.45													
100	1.67	1M 1B CH-62 MULTI H-402 - 1.0 M / T												
120	1.83													1,1/2"
150	2													
200	2.25													
240	2.75													
280	3.07	2M 1B CH-62 MULTI H-802 - 2.0 M / T												
320	3.37													2"
400	3.97													
600	5.34	2M 1B CH-119 B1.1/2 x 2 - 3.4 T												
800	6.6													2,1/2"

Figura 14. Tabla de selección de la marca Hidrostral.

Fuente: Hidrostral

Entonces, el equipo elegido para cubrir la necesidad de la edificación de 2 pisos, con un caudal de 2.6 l/s y 174 valores será de la marca Hidrostral, modelo Champion 2M 1B CH-62 MULTI H- 802 - 2.0 M / T.

3.3. Manual de cálculo para la instalación de agua fría con tuberías de PPR

Se redactará de forma sucinta lo referido al trazo y diseño de tuberías de PPR para agua fría con la finalidad de que este sirva de guía para proyectos de similares características. Adicionalmente, se darán unas pautas generales para lo referido a la bomba y tanque hidroneumático, propios de las características de la mayoría de estos proyectos.

3.3.1. Trazado de tuberías de agua fría de PPR

El procedimiento por seguir es el siguiente:

1. Se quitará toda la información de arquitectura que no sea considerablemente relevante para las Instalaciones Sanitarias (IISS).
2. Se trazarán las líneas de agua fría desde el alimentador hasta los aparatos sanitarios, donde los tramos son perpendiculares entre sí y se recomienda que esos tramos estén a

50 cm o más alejados de los muros, por si hubiese alguna fuga que comprometa a esos elementos.

3. Nombrar cada tramo mediante letras, preferiblemente minúsculas. Cabe aclarar que se considera un tramo cuando no haya cambio alguno en las unidades de gasto (U.G.) en los elementos de este.

Asimismo, se presentan consideraciones que complementan al trazado de este tipo de tuberías:

- No se debe trazar línea alguna que se encuentra embutida en los muros, o que cruce o pase bastante cerca de los elementos estructurales, tales como columnas, placas y vigas.
- Se considera una sola llave de control horizontal para las baterías, grupo de aparatos sanitarios que se encuentran en un solo ambiente.
- Si se tuviese un solo aparato en el ambiente, como en el caso de la cocina, se opta por colocar una válvula de control vertical.
- Las válvulas de control se colocan en un lugar accesible y, generalmente, a 30 cm por encima del piso terminado.
- Se recalca la importancia de colocar una válvula de control general.
- En este caso se debe tener en consideración la gradiente de temperatura que circule por las tuberías, puesto que eso generaría contracción o dilatación del Polipropileno; no obstante, como solo se contempla instalar agua fría en este proyecto, la temperatura del agua será constante y no representara un inconveniente adicional.

3.3.2. Diseño de tuberías de agua fría de PPR

Una vez corroborado el correcto trazado de estas tuberías, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se obtienen las U.G. de cada aparato presente en el proyecto.
2. Con dichas U.G. y la distribución de cada tramo, se obtienen los Gastos Probables mediante el método de Hunter, asimismo, si algún valor no se encuentra especificado en esa tabla, se puede interpolar con los valores circundantes.
3. Luego, se procede a calcular los diámetros máximos y mínimos, según los diámetros comerciales disponibles, en este caso para PPR. Tal cual como se puede ejemplificar en la siguiente tabla:

Tabla 10. Diámetros para los gastos probables
Adaptado de la Norma Técnica I.S. 010

Diámetro (pulg)	Vel máxima (m/s)	Q máximo (lps)	Q mínimo (lps)
1/2"	1.90	0.24	0.08
3/4"	2.20	0.63	0.17
1"	2.48	1.26	0.30
1 1/4"	2.85	2.26	0.48
1 1/2"	3.00	-	-

4. Con criterio y considerando una reducción progresiva desde el alimentador hasta los aparatos, se escoge los diámetros de diseño mediante el rango de diámetros.
5. Finalmente, se deberá obtener las pérdidas y las presiones (teniendo especial énfasis en la ruta crítica) y verificar si son aceptables según los reglamentos.

En el último punto, se debe comentar las siguientes aclaraciones adicionales:

- Se emplea la misma expresión que para tuberías de PVC, la expresión de Hazen y Williams, pero con la diferencia que para polipropileno el coeficiente de rugosidad del tubo es $C = 150$.
- Con el valor de S despejado, se puede determinar $J = S \times L$ tubería; el cual representa a las pérdidas longitudinales.
- Luego, para las pérdidas en accesorios, que considerara el J_s (definido en líneas anteriores) que contempla los coeficientes de proporcionalidad propios para polipropileno.
- Entonces, se sumarán las pérdidas tanto longitudinales como por accesorios para cada tramo, y se deberá verificar en la ruta crítica que se cumpla con lo establecido por el reglamento por el que se sigue el diseño.

3.3.3. Aspectos generales de la bomba y tanque hidroneumático

La instalación de la red de agua fría no estaría completa sin determinar la capacidad tanto de la bomba como del tanque hidroneumático, por ello se detalla de forma breve las consideraciones para tener en cuenta para estos 2 aparatos:

Bomba:

Es necesario conocer la altura del aparato más desfavorable del actual proyecto, con respecto a la altura de la salida del tanque hidroneumático, ese valor será añadido al de las pérdidas de la ruta crítica y 2 m.c.a.

$H = \text{altura aparato más desfavorable} + \text{sumatoria pérdidas ruta crítica} + 2$

A continuación se procede a determinar la potencia que necesitaría la bomba, tomando como valor recomendado el 70% de eficiencia.

$\text{Pot} = H \times Q / (75 \times \text{eficiencia})$

Luego se tendrá como presión mínima la determinada anteriormente, en psi; pero siempre considerando que el valor mínimo comercial es de 30 psi; donde para edificaciones no tan altas o con moderados aparatos eléctricos el valor mínimo que se suele usar es el de 30 psi.

Con ello se determinará el $P_{\text{máx}}$ como $P_{\text{mín}} + 20$ y el P_{prom} como $(P_{\text{mín}} + P_{\text{máx}}) / 2$. En base a esa presión promedio y con los modelos disponibles de la empresa proveedora se deberá escoger el tipo de bomba necesario para cumplir con las condiciones del proyecto.

Tanque Hidroneumático:

En base al caudal, la presión mínima y presión máxima se determinará el volumen necesario de la siguiente forma:

$V = 44 * Q * (P_{\text{máx}} + 14.7) / (P_{\text{máx}} - P_{\text{mín}})$

Y con ello, de forma análoga a la de la bomba, se escogerá en base a los modelos disponibles.

3.4. Discusión en base al diseño e instalación de agua fría utilizando tuberías de PPR**3.4.1. Comparación de características técnicas**

En líneas generales, las ventajas del uso de tuberías de PPR para agua fría, frente a las de PVC, serían la resistencia excepcional a las condiciones de trabajo (como presión y temperatura), no sufre de corrosión, no transmite ni olor ni sabor al agua, presenta mayor tiempo de vida útil y las uniones se realizan por termofusión, además de no necesitar de conexiones mecánicas ni materiales de aporte (aquatherm, 2015).

No obstante, si bien este material (PPR) puede presentar numerosas ventajas frente al material clásico (PVC), no es tan relevante si esas ventajas no son totalmente aprovechadas o si no son evidenciables las mejoras durante los primeros años. Puesto que los clientes, si no evidencian lo anterior, no lograrán convencerse totalmente de cambiar de material, si el otro resulta igual de favorable.

3.4.2. Comparación de características económicas

Referente al tiempo, la instalación y colocación de uniones es mucho menor para el caso de tuberías de PPR, pues esas uniones se realizan por termofusión, que en términos generales resulta mucho más rápido que para las tuberías de PVC, lo cual contempla el uso y espera de pegamento. Asimismo, al presentar una instalación y montaje más sencillos, se requerirá de menor mano de obra, por lo que es un ahorro significativo de costo en forma de tiempo y recursos.

Sin embargo, analizando el material mismo y puesto que no presentan casi ninguna referencia respecto al trazado (el metrado por metro lineal resultaría prácticamente el mismo para ambos), es evidente que el PPR presentará mayor costo que el tradicional; y este es uno de los principales factores que influyen en el momento de decidir si se opta por la tubería clásica o si se puede optar por otra alternativa (Infante et al., 2020)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

En síntesis, primero, las redes de instalaciones sanitarias en el Perú, comúnmente, se realizan con tuberías de PVC, puesto que estas presentan grandes ventajas económicas y constructivas para proyectos de pequeña y mediana envergadura. En otras palabras, cuando las presiones no son relevantes en el sistema de agua fría es conveniente el uso de policloruro de vinilo en comparación del polipropileno copolímero Random.

Para el caso del proyecto “Colegio Particular Secundario”, ubicado en el distrito de Puente Piedra, el trazado y el diseño usando los sistemas de PVC Y PPR son similares. Por un lado, el trazo de agua fría es el mismo en ambos sistemas, puesto que la normativa no distingue el tipo de material de la tubería como parámetro. Por otro lado, aunque las pérdidas de las tuberías de PPR son mucho menores que en las tuberías PVC, la elección del tanque hidroneumático y de la bomba es la misma, ya que ambas no superan la presión mínima indicada en la norma (30 psi).

Segundo, la mayor diferencia entre ambos sistemas es la forma de unión entre los accesorios y las tuberías. Por un lado, las tuberías de PPR se unen a través del método de termofusión de manera que se forma una tubería continua. Además de ello, este método presenta otras ventajas como: prescindir de otros accesorios, obtener uniones mucho más fiables y resistir mayores impactos de aplastamiento, perforado y altas temperaturas. Por otra parte, las tuberías PVC se unen con pegamento especial para dicho material o mediante una junta elástica utilizando un aro de goma preesforzado. Por ello, se puede considerar que las uniones de PPR, en comparación con las de PVC, son superiores y más confiables. Cabe mencionar que es necesario analizar si todas esas ventajas resultan aprovechables para el proyecto de estudio o generarían mayores problemas de tiempo y dinero.

Tercero, el precio de las tuberías PPR es mayor que el precio de las tuberías PVC, puesto que en el mercado actual el material no es tan comercializado o común como el policloruro de vinilo. Sin embargo, la instalación por termofusión es más sencilla y requiere de menor personal capacitado por lo que se obtendría un mayor ahorro. Aunque el factor económico es una gran ventaja, ya que el precio de la mano de obra en nuestro sector es significativo, el costo de una red de agua fría de PPR sigue siendo superior al de PVC en edificaciones pequeñas y medianas.

4.2. Recomendaciones

- Por cuestiones ambientales, resultaría favorable escoger las tuberías de PPR sobre las de PVC pues presentan un menor impacto ambiental. Las tuberías de PVC tienen una vida útil menor y deben ser reemplazadas con mayor frecuencia.
- Si se cuenta con el trazado de tuberías de PVC, se recomienda “calcar” dicho trazado para el caso de tuberías de PPR, puesto que por reglamento u otros criterios no presentan diferencia alguna.
- Antes de optar por el sistema de tuberías de PPR, es vital conocer si es posible contratar mano de obra especializada en ellos, pues como se mencionó anteriormente, presenta un sistema de unión diferente al tradicional; todo ello puede condicionar de sobremanera al desarrollo del proceso constructivo.
- Enfocándose en las reparaciones, se recomienda el uso de tuberías de PPR en vez de la de PVC, pues en caso de una posible fuga o daño, la tubería de PVC tendría la desventaja de retirarse todo el tramo, en contraposición, con la de PPR que solo se repara la zona donde se encuentra el daño o fuga, generando así un enorme ahorro que contempla más allá del costo de instalación.
- Si bien, mediante esta investigación, se pudo comparar de forma económica y técnica al sistema de agua fría mediante tuberías de PVC y de PPR, se recomienda hacer evaluaciones que contemplen mayores criterios y permitan brindar mayor gama de opciones para optar por un sistema o por el otro.
- Respecto al análisis para considerar emplear al PPR en un proyecto más complejo, que contenga gradientes de temperatura (por ejemplo) es necesario investigar más a fondo acerca de diversos factores que puedan afectar al propio material de PPR, como su

funcionamiento en obras civiles, ya que con todos los años empleando tuberías de PVC, se conoce de antemano las diversas consideraciones especiales que se deben tener en cuenta con dicho material. No obstante, como el PPR es relativamente nuevo para estos sistemas, cuenta con bastante incertidumbre y desconocimiento.

- Para el almacenamiento de los tubos PPR en la intemperie con temperaturas bajas se recomienda cubrir los tubos para prevenir el riesgo de deterioro.
- Según todo lo detallado en el presente documento, se recomienda el uso de tuberías PVC en la red de distribución de agua fría del proyecto analizado, ya que mediante el trazado y diseño se obtuvieron los mismo resultados; entonces, al presentar el de PVC mayor precio en general, a comparación del PPR, no saldría conveniente emplear dicho sistema, pues se elevaría bastante el costo de la partida correspondiente. Incluso con todas las ventajas que presenta la implementación de tuberías de PPR, sobre las clásicas de PVC, si ello no es cuantificable o evidenciable, simplemente, se escogerá el que resulte más económico.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ABN Pipe Systems (2015). Sistema en PPR-CT RP+ FV para instalaciones hidrosanitarias. Catálogo de producto. https://www.ecomexperu.com/abn_manual.pdf
- Acuña, E. & Villanueva, M. (2019). *Dimensionamiento hidráulico usando el sistema termofusión (pp-r) en instalaciones interiores de agua para una edificación multifamiliar en h.u.p. Paseo del Mar-Nuevo Chimbote* (Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil). Universidad Nacional del Santa, Ancash, Perú.
- Aquatherm (s.f.). Sistema de tuberías de polipropileno (PP-R). Disponible 1 de setiembre de 2020, de http://aquatherm.es/wp-content/uploads/FO_GREEN.pdf
- Barbosa F., Woetzel J., Mischkel J. (2017) *Reinventing Construction: A route to higher productivity*. McKinsey & Company.
- Beltrán, D. (2016). *Ingeniería Básica de un Planta de Producción de policloruro de vinilo (PVC) Granular (Trabajo de fin de grado de Grado de Ingeniería Química.)*. Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- CEN National Members. (2013a). ISO 15874-1 Plastics piping systems for hot and cold water installations — Polypropylene (PP) - Part1. *BSI Standards Publication*.
- CEN National Members. (2013b). ISO 15874-2 Plastics piping systems for hot and cold water installations — Polypropylene (PP) - Part 2. *BSI Standards Publication*, 13.
- Concha, S. (2014). *Diseño del plan de aseguramiento de la calidad del proceso de termofusión de tuberías de polipropileno* (Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico). Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.
- Diez E. & Muñoz W. (2019). *Diseño comparativo técnico-económico entre sistemas de saneamiento con tuberías de PVC y de polietileno – C.P. Pacanguilla – La Libertad* (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, La Libertad, Perú.
- Fabián Janampa, C., & Sandoval Vilcapoma, O. (2013). Análisis comparativo técnico – económico entre el sistema convencional (tuberías PVC) y el sistema de termofusión (tuberías de Polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la región de Lima. En *Universidad Nacional de Ingeniería*. Lima.

- Forno, J. (2010). *Impacto de la utilización de nuevas tecnologías y materiales en los plazos y costos de construcción* (Memoria para optar al título de ingeniero civil). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Infante, K.; Torres, C.; Rojas A.; Vicuña L. & Rivera G. (2020). *Trazado y diseño de tuberías de polipropileno como reemplazo de las tuberías de PVC* (Trabajo de investigación para la obtención de grado académico de bachiller). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Morath, C. C., Ward, I. M., Soliman, M., Voets, P., & Kleppinger, R. (2006). Biaxially oriented polypropylene pipes: Implications for impact and hydrostatic pressure resistance. *Plastics, Rubber and Composites*, 35(10), 447–454. <https://doi.org/10.1179/174328906X149718>
- Nicoll (2006). Manual de instalación de tubos y accesorios de PVC presión. Disponible 1 de septiembre de 2020, de <http://tutupaca.com/overall/app/productos/TUBERIAS%20DE%20PVC%20OK/MANUAL%20DE%20INSTALACION.pdf>
- Polifusión (s.f.). Polifusión R-3: Propiedades del Polipropileno Copolímero Random. Disponible 1 de setiembre de 2020, de <https://polifusion.com/peru/informacion/8-manual-tecnico>
- Repolen (2019). Manual Técnico. Disponible 1 de septiembre de 2020, de <https://reboca.com/wp-content/uploads/manual-tecnico-es.pdf>
- Rosales, H. (2018). *Análisis comparativo del diseño de un sistema de impulsión de agua utilizando tuberías de policloruro de vinilo no plastificado o tuberías de polipropileno copolímero random tipo III para un edificio multifamiliar en la ciudad de Lima - Perú* (Monografía técnica para optar el título profesional de ingeniero mecánico de fluidos). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Shuan, F. (2018). *Evaluación técnica y económica del sistema convencional (tuberías PVC) y el sistema de termofusión (tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la ciudad de Huaraz, Ancash 2016* (Tesis para optar el título profesional de ingeniero sanitario). Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo, Ancash, Perú.

- Tigre (2019). Catálogo de Infraestructura Unión Flexible y Unión Rieber (JEI). Disponible 1 de setiembre de 2020, de https://www.tigre.pe/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/peru/Catalogo_Infraestructura.pdf
- Tigre (2019). Catálogo Técnico. Disponible 1 de setiembre de 2020, de https://www.tigre.pe/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/peru/Catalogo_Polipropileno_Fusion.pdf
- Tuboplus (2016). Catálogo Tuboplus. Disponible 1 de setiembre de 2020, de http://termofluido.com/pdf/BROCHURE_TERMOFLUIDO.pdf
- Villafuerte, K. (2018). Uso de tuberías de policloruro de vinilo en relación a tuberías de polipropileno del agua potable (Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.
- Zgoul, M. H., & Habali, S. M. (2013). An Investigation into Plastic Pipes as Hot Water Transporters in Domestic and Industrial Applications. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2(4), 191–2000.

6. ANEXOS

Anexo 1: Accesorios de polipropileno copolímero Random (catálogo empresas Tigre)

CODO 45°



Código	Diámetro (mm)
22320505	20
22320521	25
22320530	32
22320548	40
22320556	50
22320564	63
22320572	75
22320599	90
22320726	110

CODO 90° CON ROSCA MACHO



Código	Diámetro (mm x pulg)
22321218	20 X 1/2
22321226	25 X 1/2
22321234	25 X 3/4

LLAVE DE PASO MANILLA CROMADA



Código	Diámetro (mm)
300001258	20
300001259	25
300001260	32

CODO 90°

Código	Diámetro (mm)
--------	---------------

22320807	20
22320823	25
22320831	32
22320840	40
22320858	50
22320866	63
22320874	75
22320890	90
22320700	110

CODO REDUCCIÓN 90°

Código	Diámetro (mm)
--------	---------------

22329502	25 x 20
22329529	32 x 25

TEE NORMAL

Código	Diámetro (mm)
--------	---------------

22322508	20
22322524	25
22322532	32
22322540	40
22322559	50
22322567	63
22322575	75
22322591	90
22322800	110

UNIÓN

Código	Diámetro (mm)
--------	---------------

22325000	20
22325027	25
22325035	32
22325043	40
22325051	50
22325060	63
22325078	75
22325094	90
22325205	110

UNION UNIVERSAL DOBLE

Código	Diámetro (mm)
--------	---------------

22325701	20
22325728	25
22325736	32
300001255	40

BUJE DE REDUCCIÓN

Código	Diámetro (mm)
22326520	25 X 20
22326554	32 X 20
22326562	32 X 25
22326724	40 X 25
22326732	40 X 32
300001238	50 X 25
22326830	50 X 32
22326848	50 X 40
300001239	63 X 25
300001240	63 X 32
22326945	63 X 40
22326953	63 X 50
22327054	75 X 50
22327062	75 X 63
300001241	90 X 50
22327267	90 X 63
22327275	90 X 75
300001242	110 X 63
22327291	110 X 75
22327283	110 X 90

TAPA

Código	Diámetro (mm)
22325507	20
22325523	25
22325531	32
22325540	40
22325558	50
22325566	63
22325574	75
22325590	90
22325116	110

TEE REDUCCIÓN

Código	Diámetro (mm)
22324225	25 X 25 X 20
22323032	25 X 20 X 25
22323059	32 X 20 X 32
22323067	32 X 25 X 32
22324233	32 X 32 X 20
22324241	32 X 32 X 25
22323253	40 X 25 X 40
22323261	40 X 32 X 40
22323431	50 X 25 X 50
22323440	50 X 32 X 50
22323458	50 X 40 X 50
300001235	63 X 25 X 63
22323652	63 X 40 X 63
22323660	63 X 50 X 63
300001236	75 X 32 X 75
22323857	75 X 50 X 75
22323865	75 X 63 X 75
22324063	90 X 63 X 90
22324071	90 X 75 X 90
300001237	110 X 63 X 110

CONECTOR MACHO

Código	Diámetro (mm x pulg)
22328000	20 X 1/2
22328018	20 X 3/4
22328026	25 X 1/2
22328034	25 X 3/4
300001243	32 X 1/2
22328069	32 X 3/4
22328077	32 X 1
22328131	40 X 1 1/4
22328247	50 X 1 1/2
22328352	63 X 2
22328468	75 X 2 1/2
22328573	90 X 3
22328581	10 X 4

TAPÓN ROSCADO MACHO

Código	Diámetro (pulg)
300001248	1/2"
300001249	3/4"
300001250	1"

CODO 90° ROSCA HEMBRA

Código	Diámetro (mm x pulg)
22321005	20 X 1/2
22321021	25 X 1/2
22321030	25 X 3/4
22321064	32 X 1
22321056	32 X 1/2
22321048	32 X 3/4

TEE CON ROSCA CENTRAL HEMBRA

Código	Diámetro (mm x pulg)
22324500	20 X 1/2
22324527	25 X 1/2
22324535	25 X 3/4
22324543	32 X 1/2
22324551	32 X 3/4
22324578	32 X 1

TEE CON ROSCA CENTRAL MACHO

Código	Diámetro (mm x pulg)
22324802	20 X 1/2
22324829	25 X 1/2
22324837	25 X 3/4

TUBO HEMBRA

Código	Diámetro (mm x pulg)
22327500	20 X 1/2
22327518	20 X 3/4
22327526	25.5
22327534	25 X 3/4
22327569	32 X 3/4
22327577	32 X 1

CONECTOR HEMBRA

Código	Diámetro (mm x pulg)
22327631	40 X 1 1/4
22327690	50 X 1 1/2
22327755	63 X 2
22327860	75 X 2 1/2
22327976	90 X 3

UNIÓN DOBLE MIXTA

Código	Diámetro (pulg)
22325809	20 X 1/2
22325825	25 X 3/4
22325876	32 X 1

CODO 90° CON ROSCA HEMBRA LARGA

Código	Diámetro (mm)
22321404	20

UNIÓN DOBLE MIXTA

Código	Diámetro (mm x pulg)
22325906	20 X 1/2
22325914	25 X 3/4