

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ASPECTOS TÉCNICOS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE
INSTALACIONES DE AGUA UTILIZANDO TUBERÍAS DE
POLIPROPILENO EN VEZ DE PVC**

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

AUTORES:

Segura Rodríguez, Xiomar Jefferson

Cárdenas Rivera, Diego Luis

Tubilla Espinoza, Víctor Hugo

Roncal Hernández, Edgard Haroldo

Chinchay Ríos, Christian Juniors

ASESOR:

Luis Enrique Torres Mendoza

Lima, Diciembre, 2020

RESUMEN

En la actualidad, el constante crecimiento de proyectos de construcción es resultado del constante aumento en la población a nivel mundial. En la ejecución de estos proyectos se utiliza gran variedad de materiales con la finalidad de que la edificación sea viable y pueda cumplir las funciones para las cuales se construye. Dentro de todos los materiales involucrados en la etapa de la construcción de proyectos, las tuberías de instalaciones sanitarias son parte importante para que la edificación porque suponen la distribución de agua a todos los ambientes en los que se requiera. Estas tuberías sanitarias pueden ser de distintos tipos de materiales, su elección radica en un análisis previo, en el que se debe optar por un tipo de material de tubería que cumpla con los objetivos de las instalaciones sanitarias.

En este trabajo de investigación, que trata acerca de un proyecto de construcción de un pabellón escolar en el distrito de Puente Piedra, Lima, se plantea evaluar la aplicación de las tuberías de polipropileno (PPR) en las instalaciones sanitarias del proyecto mencionado previamente. Este motivo de investigación surge porque, en el sector construcción a nivel nacional, prevalece el uso de tuberías de policloruro de vinilo (PVC) para las instalaciones de distribución de agua.

Para poder cumplir con el objetivo propuesto se plantea desarrollar una guía de diseño de instalaciones de PPR, en reemplazo de PVC. Además se propone que se realice un análisis comparativo entre ambos tipos de materiales para tuberías, en diferentes aspectos, para esto se debe investigar previamente en libros, artículos de investigación, normas, tesis, etc. Con toda la información obtenida y el diseño que se desarrolla para tuberías de PVC y PPR, se debe concluir qué tipo de material resulta más aceptable y dentro de qué aspecto, por ejemplo, económico, técnico, constructivo, etc.

Como conclusión principal queda establecido que se debe considerar, preferiblemente, el uso de tuberías de PPR en los futuros proyectos de construcción ya que resulta más ventajosa en comparación del PVC, en la mayoría de aspectos comparados. De la misma forma, se plantean algunas recomendaciones para todos los lectores interesados en este tema de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Se extienden los agradecimientos hacia nuestras familias y a todas las personas que nos brindaron su apoyo incondicional durante toda esta etapa universitaria. También un agradecimiento especial a todos nuestros profesores que nos estuvieron guiando y aportando con sus conocimientos para poder ser mejores alumnos y buenos profesionales en esta rama de la ingeniería.

Este año, 2020, no fue el más ideal para la gran mayoría pero supimos afrontarlo de la mejor forma, superando los obstáculos de esta adversidad. Finalmente, este trabajo va dedicado a todas las personas de nuestro entorno cercano y de la ingeniería civil que fallecieron a causa del virus Covid-19 y las que se vieron afectadas negativamente por esta pandemia.



ÍNDICE

Resumen	i
Agradecimientos	ii
Lista de Figuras	v
Lista de Tablas	vi
1. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Alcance	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Metodología	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Tuberías de Policloruro de vinilo (PVC)	5
2.1.1. ¿Qué es el PVC?	5
2.1.2. Propiedades y características físicas	6
2.1.3. Importancia en el sector de la construcción a nivel nacional	7
2.1.4. Toxicidad e impacto ambiental del PVC	7
2.2. Tuberías de Polipropileno (PPR)	8
2.2.1. Breve reseña histórica del polipropileno	8
2.2.2. El polipropileno	8
2.2.3. Tipos de polipropileno	9
2.2.4. Características de las tuberías del polipropileno	10
2.2.5. Tuberías de polipropileno en el sector de la construcción a nivel nacional	12
3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	14
3.1. Trazo de un ambiente del pabellón de aulas del colegio con tuberías PPR	14

3.2. Diseño de un ambiente del pabellón de aulas del colegio con tuberías PPR.....	18
3.3. Discusión general.....	25
3.3.1. Análisis comparativo de especificaciones técnicas e instalación de tuberías.....	26
3.3.2. Análisis comparativo del trazado y diseño de tuberías.....	27
3.3.3. Análisis comparativo económico.....	28
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
4.1. Conclusiones.....	29
4.2. Recomendaciones.....	30
5. BIBLIOGRAFÍA	31
6. ANEXOS	33



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Forma molecular del policloruro de vinilo (PVC).....	5
Figura 2: Estructura molecular del polipropileno (PPR)	9
Figura 3: Presiones de trabajo admisibles. Fuente: ECOMEX PERÚ TRADE, 2020.....	12
Figura 4: Líneas de tuberías para el sector construcción. Fuente: Polifusión, 2020.....	13
Figura 5: Vista en planta del primer nivel del pabellón del plano de arquitectura. Fuente: Propia.....	14
Figura 6: Vista en planta del primer piso (En círculo rojo el ambiente del servicio higiénico), del plano estructural. Fuente: Propia.....	15
Figura 7. Ubicación de la cisterna en los exteriores de la edificación, detrás de los ejes 4 y 5. Fuente: Propia.....	16
Figura 8. Trazo de la red de tubería de agua fría del primer piso. Fuente: Propia.....	16
Figura 9: Red de distribución de agua fría con tuberías de propileno del baño del primer nivel. Fuente: Propia.....	17
Figura 10: Unidades de gasto para el cálculo de tuberías de distribución de agua fría (aparatos de uso público). Fuente: IS.010.....	18
Figura 11: Gastos probables para la aplicación del método de Hunter. Fuente: IS.010.....	19
Figura 12: Ficha técnica de tuberías de polipropileno (parte 1 de 3). Fuente: Polifusión, 2020.....	22
Figura 13: Ficha técnica de tuberías de polipropileno (parte 2 de 3). Fuente: Polifusión, 2020.....	23
Figura 14: Ficha técnica de tuberías de polipropileno (parte 3 de 3). Fuente: Polifusión, 2020.....	23
Figura 15: Diagrama de pérdida de carga. Fuente: Polifusión, 2020.....	24

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de diseño de la ruta crítica con tuberías de PPR. Fuente: Propia.....	20
Tabla 2: Diseño y pérdidas de la ruta crítica con tuberías de PPR. Fuente: Propia.....	21
Tabla 3: Pérdidas, caudales y velocidades de la ruta crítica con tuberías de PPR. Fuente: Propia.....	25
Tabla 4: Diseño y pérdidas de la ruta crítica con tuberías de PVC. Fuente: Propia.....	33
Tabla 5: Diseño y pérdidas de la ruta crítica con tuberías de PPR. Fuente: Propia.....	33
Tabla 6: Pérdida de carga con tuberías de PPR, para la ruta crítica. Fuente: Propia.....	34



1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

Actualmente, los proyectos de construcción civil se componen de un complejo sistema multidisciplinario, cuyo objetivo final es llevar a cabo, eficientemente, determinada edificación. De tal forma, se han ido implementando nuevos procesos, filosofías y materiales constructivos para dicho propósito. Sin embargo, en Perú, el problema que inhibe la innovación en el sector es, principalmente, no percibir la innovación como un elemento que mejore la competitividad para las empresas constructoras, según Maceli (2017). Por lo que, se puede decir, que aún se presenta un enfoque tradicional, en donde se prefiere lo ya establecido por sobre lo nuevo (lo innovador), considerando falsas percepciones respecto a costos y durabilidad. En ese sentido, investigaciones como la presente, sirve para que empresas públicas y privadas valoren los avances en innovación, ya sea en técnicas o materiales (como es el caso). En donde dudas como la calidad, sobrecostos y pérdidas puedan ser estudiadas y comprendidas a mayor profundidad, lo que generará una apertura hacia estas nuevas tecnologías que tanta falta le hacen al sector de construcción civil en nuestro país.

En específico, para el caso de las tuberías de polipropileno (PPR), existe una mayor apertura en el sector. Pues muchos proyectos de construcción (edificios multifamiliares, colegios, etc.) han ido adoptando, cada vez más, estas tuberías por sobre las de PVC. Se estima que más del 50% de proyectos utiliza, y aprecia de mejor manera, las tuberías PPR. Sin embargo, y considerando las mejoras que puede ofrecer este material por sobre el PVC, se espera que este estudio ayude a aumentar el porcentaje mencionado, y en general, a su percepción en el sector.

En este sentido, el presente trabajo de investigación, muestra el desarrollo de instalaciones sanitarias de agua fría en un baño del proyecto “CONSTRUCCIÓN DEL PRIMER PABELLÓN DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA EN EL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA, LIMA – LIMA”, utilizando tuberías de polipropileno copolímero random (PPR) para comparar parámetros técnicos y económicos de este material respecto al sistema convencional de tuberías de PVC. De

esta manera, se podrán exhibir sus ventajas y ayudará a ingenieros y empresas constructoras, a conocer estas para una mayor difusión en futuros proyectos de construcción civil.

1.2. Justificación

El constante crecimiento en la demanda de edificaciones, cada vez más grandes y más complejas, suponen el reto de proveer materiales de construcción de una calidad acorde a dichos requerimientos. En ese sentido, las tuberías y accesorios requeridos en las distintas especialidades de construcción (IISS, IEE, CCTV, IIGG, IIMM, etc.) deben poseer características cada vez más demandantes de duración y calidad. Mismas características que las tuberías más convencionales existentes en los mercados actuales han empezado a no satisfacer del todo.

Las tuberías PVC, las más convencionales en uso y difusión, han empezado a presentar problemas recurrentes en las etapas constructivas y operativas de las mismas. Entre estos destacan inconvenientes de ruptura y fisura ante una deficiente resistencia a la presión e impactos, fugas en las uniones, alta complejidad para repararlas, errores en las pruebas hidráulicas, y muchos otros que han sido detectados en su uso. Si bien, estas tuberías y sus accesorios suponen una alternativa mucho más económica respecto a otras, a la larga, se puede apreciar que el PVC podría presentar graves problemas que elevarían dichos costos, además de destinar tiempo extra en dichas reparaciones. En ese sentido, considerando estos factores, la necesidad de nuevos materiales resulta imperante en dicho contexto. Materiales que puedan ofrecer una mayor durabilidad, confiabilidad y que, a la larga, sean muchos más rentables en los proyectos de edificación en los que sean utilizados.

De esta manera, el presente trabajo de investigación ha de presentar un análisis comparativo entre los sistemas de tuberías PVC y las tuberías de polipropileno (PPR). Siendo el PPR, un material relativamente nuevo y poco usado en el sector de la construcción en el Perú, contrariamente a las variadas ventajas que ofrece en su uso al mejorar notablemente el diseño de las redes de tuberías mediante un mejor desempeño y mejores rendimientos en mano de obra. Las tuberías de polipropileno brindan mejores cualidades en lo que respecta a flexibilidad; resistencia a la presión, impacto y temperatura; etc.

Todo esto será menester de desarrollar en el presente trabajo, el cual contará con una parte netamente teórica (explicando todas estas características) y otra práctica, en donde se realizará el diseño de tuberías de un ambiente determinado con ambas tuberías y se comparan sus resultados, no solo en rendimiento, eficacia y durabilidad sino también en el aspecto económico, que supone una característica importantísima al momento de elegir los materiales de construcción. En ese sentido, el presente trabajo de investigación, tiene como fin último el promover el uso de las tuberías de polipropileno (PPR) por todos los beneficios que tiene por ofrecer.

1.3. Alcance

Este proyecto de investigación abarca el desarrollo de una pequeña guía en la que se brindan las pautas y consideraciones importantes para el desarrollo del diseño de instalaciones de agua potable con tuberías de polipropileno como parte de un expediente técnico para un proyecto de construcción de un pabellón de aulas en el distrito de Puente Piedra del departamento de Lima.

Además, se considera realizar el trazo y diseño con tuberías de PPR en un ejemplo de edificación y comparar con el diseño que se realizó utilizando tuberías de PVC. Con los análisis y evaluaciones que se puedan obtener de ambos diseños se podrán describir las conclusiones y recomendaciones que se obtendrán a partir del análisis general descrito.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar la aplicación de las tuberías de polipropileno dentro de las instalaciones de agua potable del proyecto “CONSTRUCCIÓN DEL PRIMER PABELLÓN DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA EN EL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA, LIMA – LIMA”.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Desarrollar un análisis comparativo entre las tuberías de PVC y las de PPR en el uso de instalaciones de agua potable.
- ✓ Desarrollar una pequeña guía de diseño para el uso de tuberías de PPR en instalaciones de red de agua fría.
- ✓ Aplicar la guía en el proyecto de construcción desarrollado en el curso.
- ✓ Evaluar los resultados del diseño con tuberías de PPR.

1.5. Metodología

El presente trabajo de investigación empieza con una revisión bibliográfica por parte de los autores para así tener un conocimiento enriquecido del tema a tratar. En base a ello, se desarrolla la primera parte del trabajo que es definir las generalidades, parte en la que se introduce el tema de tuberías de polipropileno y se define el alcance del trabajo y objetivos. Posteriormente, se desarrolla el marco teórico, sección en la que se definen tanto las tuberías de PVC como las de PPR y se resalta lo más importante de ambas para que luego se pueda realizar una comparación y con ello concluir cuál de los dos tipos de tuberías es el más adecuado para un mejor uso en el Perú.

Finalmente, se presenta el desarrollo de una pequeña guía en la que se detallan las pautas a seguir para una correcta implementación de las tuberías de polipropileno en instalaciones de agua potable. Asimismo, se pondrá en práctica la guía desarrollada. El diseño se aplicará al baño de profesoras que se encuentra en el primer entrepiso del proyecto de construcción (pabellón de aulas del colegio) que se viene desarrollando en el curso Proyecto Integrador en Ingeniería Civil. Como punto final, se realiza un comparativo entre el diseño de tuberías de PPR y el diseño de la red de agua fría con tuberías de PVC que se realizó previamente como parte del desarrollo del proyecto. Para ello se evaluarán aspectos como el diseño, rendimiento económico y eficiencia constructiva entre ambos diseños realizados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Tuberías de Policloruro de vinilo (PVC)

El PVC, en nuestro país, es el material que mayor demanda posee en áreas referidas a instalaciones de todo tipo en contextos constructivos. La versatilidad que posee junto con una más que aceptable rentabilidad entre el precio y el tiempo de instalación, lo hace el material monopolizador del mercado.

A fin de cumplir con los objetivos de este trabajo de investigación, se expondrá a continuación la descripción general de este material, brindando información sobre su composición, procesos, propiedades, etc. Esto con el fin de poseer un panorama más amplio bajo el cual comparar los elementos sobre los cuales se desea entrar en materia.

2.1.1. ¿Qué es el PVC?

El policloruro de vinilo (PVC) es el resultado del proceso de polimerización del monómero del cloruro de vinilo (VCM). Cuenta en composición con una relación de aproximadamente 3 a 2 en cloro y etileno respectivamente (57% a 43%). Fue descubierto, hasta dos veces en el siglo 19, primero por Henri Victor Renault (1835) y posteriormente por Eugen Baumann (1872). A continuación, se muestra la estructura molecular del PVC.

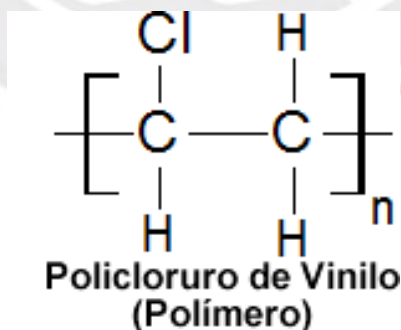


Figura 1: Forma molecular del policloruro de vinilo (PVC). Recuperado de:
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc>

El PVC Posee una gran resistencia al fuego además de ser un muy buen aislador eléctrico. Se caracteriza por ser un material dúctil, con alta tenacidad, gran versatilidad constructiva y capacidad de reciclaje bajo distintos medios. Una gran ventaja del PVC es la posterior obtención de productos ya sean rígidos y flexibles. El proceso de producción puede ser dado hasta por cuatro métodos distintos: suspensión, emulsión, masa y solución. Además del plano constructivo, este polímero posee otros usos industriales, como en fabricación de calzado, envases, etc. Es esa practicidad la que la ha puesto a la cabeza del mercado nacional, enfocando principalmente su uso en la elaboración de tuberías en reemplazo a las fabricadas de hierro (tema de oxidación). Esta elección a nivel de tuberías es avalada porque el PVC posee una larga duración de ciclo de vida útil, teniendo un promedio superior a los 60 años en aplicación.

2.1.2. Propiedades y características físicas

El PVC posee un valor en densidad, según Infante et al. (2020), relativamente bajo (1.32 - 1.42 gr/cm³), lo cual lo hace liviano y fácil de transportar. Es ideal, por las propiedades que se enlistan a continuación, para una aplicación directa en edificación y construcción.

- ✓ Alta resistencia a la abrasión.
- ✓ Posee buena trabajabilidad, de manera que puede ser moldeado, aprovechando su flexibilidad.
- ✓ Material estable e inerte. Estable por presentar pocos cambios a nivel estructural molecular y de resistencia mecánica.
- ✓ Resistente al agua. Debido a ello es la primera, y casi única opción, a nivel de instalaciones sanitarias.
- ✓ La ya mencionada resistencia al fuego. Esto debido a la alta presencia en composición de cloro. Este material no se quema con facilidad y cesa de arder una vez retirada la fuente de calor. Es por ello su uso para recubrimientos, ventanales, cielorrasos, etc.
- ✓ Resistencia a productos químicos, grasas y aceites.
- ✓ Alta capacidad de aislamiento, ideal para contextos de instalaciones eléctricas.
- ✓ Gran durabilidad. Un rango de ciclo de vida útil desde los 10 hasta los 100 años.

- ✓ Compatible con distintos aditivos, de manera que pueda variar su color, rigidez o flexibilidad. Y en sintonía con la propiedad de durabilidad, puede ser reforzado de manera que su vida útil se extienda. Pueden ser usados: lubricantes, estabilizadores, plastificantes, adhesivos epóxicos, etc.

2.1.3. Importancia en el sector de la construcción a nivel nacional

El apogeo del uso del PVC data desde épocas de la Segunda Guerra Mundial. Su industrialización y aplicación en distintos sectores, principalmente en la construcción, originó que en el Perú se adoptará y posteriormente normará su correcta aplicación. Las líneas de norma técnica NTP 399.002.2015 y 399.003.2015 son las encargadas de regular la calidad de tuberías PVC en nuestro mercado. Asimismo, definen los procesos necesarios para la fabricación, los ensayos de testeo y dimensiones comerciales, rondando el diámetro de diseño comercial peruano entre ½” y las 12”.

A modo de vistazo general de las dimensiones estándar, en el mercado nacional peruano, una tubería para fines de desagüe de 4” por 3m de longitud, ronda los 24 soles. A partir de esa cifra se pueden escalar los precios dependiendo del diámetro requerido y de la longitud; por supuesto tomando en consideración los valores ofrecidos por las distintas marcas presentes en el país (PAVCO viene a ser la más popular).

2.1.4. Toxicidad e impacto ambiental del PVC

El proceso de fabricación del PVC genera grandes proporciones de material químico contaminante, tales como cloruro de vinilo (CHCl) o ácido clorhídrico. El primero, entró en un debate mundial sobre el nivel de toxicidad que puede generar dentro del organismo humano si es que se inhala por un periodo prolongado. Todas las sustancias contaminantes generadas son agentes directos de problemas renales, hepáticos, diabetes e incluso cáncer a nivel pulmonar, sanguíneo y de sistema nervioso central (cancerígeno de Grupo 1 según IARC).

Dentro del panorama ambiental, también existen problemáticas por los contaminantes que atentan directamente con la calidad del aire o del agua. Es por ello que desde la década del 90 se han dado iniciativas y campañas en contra del uso del PVC. Organizaciones como Greenpeace, con sus

propuestas, han logrado concientizar a diferentes naciones sobre lo perjudicial que puede ser tanto a nivel humano como ambiental la fabricación y aplicación del PVC. La eliminación progresiva de su uso se ha dado en países como Alemania, Suecia o Dinamarca.

Ya que en nuestro país aún existe una tendencia muy marcada a su uso, se detectan constantemente problemas indirectos. Se generan fisuras entre elementos de PVC ocasionando fugas que requieren de procesos de reparación que requieren epóxicos o sustancias que también son nocivas. Es por ello que se ha buscado, y son necesarios, materiales de mejor rendimiento de modo que reemplacen progresivamente al PVC; mitigando las desventajas que genera. En nuestro país el uso de tuberías de polipropileno (PPR) parece ser lo que marcará poco a poco el cambio en aplicaciones constructivas.

2.2. Tuberías de Polipropileno (PPR)

2.2.1. Breve reseña histórica del polipropileno

El polipropileno se inventó a principios de la segunda mitad del siglo XX. Fue en 1951 en la que J. Paul Hogan y Robert Banks sintetizaron por primera vez el polipropileno. Años más tarde, en 1954, el italiano G. Natta, tomando como referencia los trabajos elaborados por K. Ziegler en Alemania, logró producir polipropileno de estructura muy regular denominado isostático. Posteriormente, en 1957 comenzó a comercializarse comenzando por Europa y Norteamérica.

Actualmente, el polipropileno es uno de los materiales más utilizados y poco a poco se va ubicando por delante del PVC en el uso de tuberías, gracias a las múltiples bondades que posee.

2.2.2. El polipropileno

El polipropileno, también conocido por sus siglas PP, es un polímero termoplástico, resistente y cristalino obtenido de la polimerización del propileno (o propeno). Según Fabián y Sandoval (2013), el polipropileno pertenece al grupo de las poliolefinas y tiene una gran resistencia contra diversos solventes químicos tales como álcalis y ácidos. Estructuralmente es un polímero vinílico,

similar al polietileno, solo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo.

Debido al buen desempeño que presenta el polipropileno, el uso de las tuberías de este material es muy diverso, pero se destacan las siguientes aplicaciones: fontanería, para agua fría y caliente, calefacción y climatización. A continuación, se presenta la estructura molecular que posee el polipropileno.

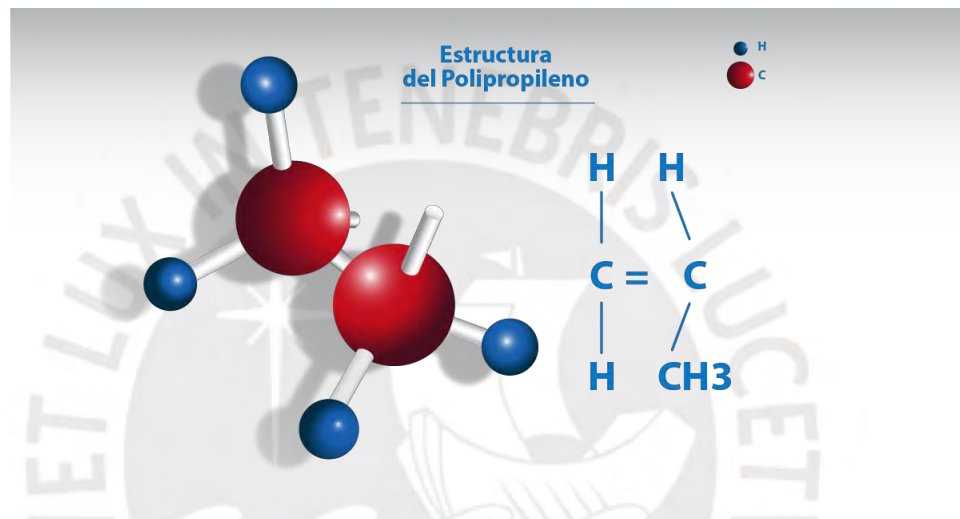


Figura 2: Estructura molecular del polipropileno (PPR). Recuperado de:
<http://www.petrocuyo.com/es/tecnologia/el-polipropileno>

2.2.3. Tipos de polipropileno

Krissel et al. (2003) define tres tipos de polipropileno, el PP homopolímero (PPH), el PP copolímero random (PPR) y el copolímero de impacto (PPI), estos se presentan a mayor detalle a continuación:

✓ PP Homopolímero (PPH)

Este tipo contiene solo un monómero de propileno en forma sólida semi cristalina. Se fabrica en varios diseños de reactores diferentes utilizando catalizadores que unen los monómeros de una manera estereoespecífica, lo que da como resultado cadenas de polímeros que son cristalizables.

✓ **PP Copolímero Random (PPR)**

Los copolímeros random o aleatorio están compuesto de etileno o propileno, estos se preparan en un solo reactor mediante la copolimerización de propileno y pequeñas cantidades de etileno (generalmente 7% y menos). El etileno copolimerizado cambia las propiedades de las cadenas de polímero de manera significativa y da como resultado productos termoplásticos con propiedades de impacto ligeramente mejor.

✓ **Copolímero de Impacto (PPI)**

Los copolímeros de impacto son mezclas físicas de los tipos de polipropileno descritos anteriormente, estas contienen etileno en el orden de 6 a 15% en peso. El PPI posee una mayor resistencia al impacto a bajas temperaturas, especialmente la temperatura del congelador e inferiores.

2.2.4. Características de las tuberías del polipropileno

Según la empresa ECOMEX PERÚ TRADE (2020), las tuberías usadas en fontanería, suelen estar hechas de polipropileno copolímero random (PPR), las cuales poseen las siguientes características:

- ✓ Resistente a los procesos de desinfección: los altos cambios de temperatura que se producen al introducir los desinfectantes no afectan a este tipo de tuberías.
- ✓ Protección antimicrobiana: las tuberías de PPR poseen un aditivo que actúa de manera eficaz contra la propagación de bacterias y hongos en el interior de la tubería, manteniendo así una buena calidad de agua.
- ✓ Resistencia a la corrosión: el PPR es resistente a la corrosión y es óptimo para transportar agua potable y otros fluidos de cualquier valor de PH. Las tuberías no se maltratan por efecto del agua del mar, terrenos salinos o ácidos. Asimismo, presenta una alta resistencia a la exposición de los rayos solares.

- ✓ Alta resistencia al impacto: la elasticidad y demás propiedades que posee este tipo de tuberías le otorgan una alta resistencia al impacto, incluso muy superior a la de las tuberías metálicas. Esto hace que las tuberías se conserven en buen estado tanto en su uso como en el transporte, almacenamiento y manejo en obra.
- ✓ Resistencia a la abrasión: la elevada resistencia a la abrasión que poseen las tuberías permite la circulación del agua a grandes velocidades sin problemas de erosión.
- ✓ Uniones seguras: las tuberías se unen mediante un proceso de termofusión, lo cual hace que la unión desaparezca y se forme una tubería continua. Esto garantiza seguridad en las instalaciones de agua en edificios y las demás aplicaciones que poseen estas tuberías.
- ✓ Reducción de los tiempos de instalación: la termofusión hace que los tiempos de instalación disminuyan ofreciendo la garantía total del sistema final debido a la fusión completa de la estructura molecular del polipropileno.
- ✓ Compatible con el medio ambiente: las tuberías de PPR se puede reciclar después de un cierto tiempo de uso y tiene una vida útil de al menos 50 años, similar a la vida útil de una edificación.

Además, según la empresa ECOMEX PERÚ TRADE (2020), la vida útil de las tuberías de polipropileno, va a depender de la presión y temperatura a la que estén expuesta. A continuación, se muestra una figura que muestra las presiones de trabajo admisibles que solo puede ser usada en instalaciones de agua sanitaria. Dicho cálculo fue hecho con un factor de seguridad de 1.25.

Temperatura	Años de servicio	ABN//INSTAL CT FASER RD Serie 3,2-SDR 7,4		ABN//INSTAL CT FASER RD Serie 5-SDR 11		ABN INSTAL// CT FASER RD Serie 8-SDR 17	
		bar	psi	bar	psi	bar	psi
10 °C	1	39.20	568.52	25.08	363.75	15.68	227.42
	5	38.20	554.04	24.40	353.89	15.28	221.61
	10	37.57	544.90	24.04	348.67	15.03	217.99
	25	36.75	533.01	23.52	341.12	14.70	213.20
	50	36.50	529.38	23.36	338.80	14.60	211.75
	100	35.95	521.41	23.00	333.58	14.38	208.56
20 °C	1	34.15	495.30	21.85	316.90	13.66	198.12
	5	33.05	479.34	21.15	306.75	13.22	191.74
	10	32.77	474.70	20.97	304.14	13.11	190.14
	25	32.00	464.12	20.48	297.03	12.80	185.64
	50	31.70	459.76	20.30	294.42	12.68	183.90
	100	31.15	451.79	19.93	289.06	12.46	180.71
30 °C	1	29.80	432.21	19.08	276.73	11.93	173.03
	5	29.00	420.60	18.56	269.19	11.60	168.24
	10	28.45	412.63	18.20	263.96	11.38	165.05
	25	27.90	404.65	17.85	258.89	11.16	161.86
	50	27.62	400.59	17.68	256.42	11.05	160.26
	100	27.05	392.32	17.31	251.06	10.82	156.93
40 °C	1	26.05	377.82	16.67	241.77	10.42	151.12
	5	25.20	365.49	16.12	233.80	10.08	146.19
	10	24.65	357.51	15.77	228.72	9.86	143.00
	25	24.37	353.45	15.60	226.25	9.75	141.41
	50	23.82	345.47	15.24	221.03	9.53	138.22
	100	23.52	341.12	15.05	218.28	9.41	136.48
50 °C	1	23.05	334.31	14.75	213.93	9.22	133.72
	5	22.17	321.54	14.19	205.80	8.87	128.64
	10	21.60	313.28	13.82	200.44	8.64	125.31
	25	21.30	308.93	13.63	197.78	8.52	123.57
	50	20.75	300.95	13.20	191.44	8.30	120.38
	100	20.45	296.60	13.00	188.54	8.18	118.64
60 °C	1	19.37	280.93	12.40	179.84	7.75	112.40
	5	18.80	372.67	12.03	174.48	7.52	109.06
	10	18.50	268.31	11.84	171.72	7.40	107.32
	25	17.92	259.90	11.47	166.35	7.17	103.99
	50	17.70	256.71	11.30	163.89	7.06	102.39
	100	17.00	248.00	10.90	158.00	6.80	98.00
70 °C	1	16.55	240.03	10.59	153.59	6.62	96.01
	5	15.67	227.27	10.00	145.03	6.27	90.93
	10	15.40	223.35	9.85	142.86	6.16	89.34
	25	15.10	219.00	9.66	140.10	6.04	87.60
	50	14.90	216.10	9.50	137.78	5.93	86.00
	100	14.00	208.00	9.00	130.00	5.60	80.00
80 °C	1	13.82	200.44	8.84	128.21	5.53	80.20
	5	13.22	191.73	8.46	122.70	5.29	76.72
	10	12.92	187.38	8.27	119.94	5.17	74.98
	25	12.70	184.19	8.10	117.48	5.06	73.38
95 °C	1	10.75	155.91	6.88	99.78	4.30	62.36
	5	10.15	147.21	6.49	94.12	4.06	58.88

Figura 3: Presiones de trabajo admisibles. Fuente: ECOMEX PERÚ TRADE, 2020

2.2.5. Tuberías de polipropileno en el sector de la construcción a nivel nacional

Según la empresa Polifusión (2020), existen las siguientes líneas de tuberías para el sector construcción, las cuales se detallan a continuación:

✓ **Tubería Polifusión PPR 3 línea negra**

Este tipo de tubería puede ser utilizada en sistemas de calefacción y en instalaciones sanitarias donde se necesite baja presión y temperatura. Tubería serie 3.2 (PN 16) que soporta una presión de hasta 8 bar o 116 lb/pulg².

✓ **Tubería Polifusión PPR 3 línea azul**

Este tipo de tubería puede ser utilizada en el trazado de agua fría de casas y edificios. Tubería serie 5 (PN 10) que soporta una presión de hasta 6 bar o 87 lb/pulg².

✓ **Tubería Polifusión PPR 3 línea verde**

Este tipo de tubería puede ser utilizada en el trazado de agua fría y caliente de casas y edificios. Tiene mayor resistencia y puede ser embutida en concreto así como también puede ser más resistente ante el manipuleo en obra. Tubería serie 2.5 (PN 20) que soporta una presión de hasta 10 bar o 145 lb/pulg².



Figura 4: Líneas de tuberías para el sector construcción. Fuente: Polifusión, 2020

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se explicará el desarrollo del proceso que se llevará a cabo en la presente investigación. El asunto principal para poder comprobar nuestros objetivos es que se debe diseñar una red de instalaciones sanitarias con un sistema de tuberías de PPR, adecuado de un trazado previo obtenido para tuberías de PVC, mayormente usado en la industria nacional de la construcción, con la finalidad de establecer una comparativa entre estos dos materiales de tuberías y poder obtener las conclusiones correspondientes.

En base a los estudios acerca de las tuberías de propileno, según la composición del material, el proceso de fabricación y las características técnicas a tener en cuenta, se realizará el trazo y diseño de las tuberías de red de agua fría de un pabellón de aulas del proyecto “Centro Educativo en Puente Piedra”. A continuación, se presentará la vista en planta, del plano de arquitectura, en la cual se realizará el trazo y posterior diseño según los parámetros sanitarios.

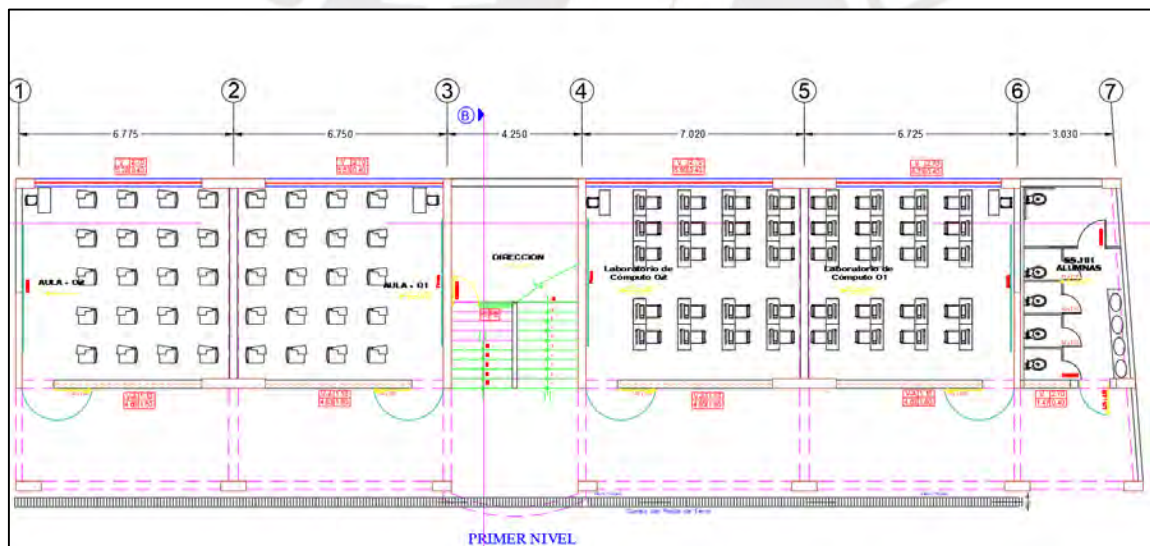


Figura 5: Vista en planta del primer nivel del pabellón del plano de arquitectura. Fuente: Propia

3.1. Trazo de un ambiente del pabellón de aulas del colegio con tuberías PPR

El trazo de la red de agua fría se inicia en la cisterna, que se encuentra ubicada en la parte trasera de la edificación, a partir de este punto, el agua se dirige hacia las bombas y el tanque hidroneumático, ambas se requieren con el fin de cumplir con la distribución correcta del caudal

de agua a una presión necesaria en la salida de todos los puntos presentes en el ambiente, en especial, el aparato más desfavorable.

La consideración más importante a tener en cuenta, en los proyectos de construcción, es que las tuberías de agua y desagüe deben evitar ser colocadas en elementos estructurales verticales, como placas o columnas, para no modificar las propiedades estructurales de estos elementos como la rigidez, resistencia, etc. Por esto, lo ideal sería que las tuberías se coloquen en los muros no estructurales y tabiquerías que no influyan en la rigidez de la estructura. Siguiendo esta consideración, a continuación se mostrará una vista en planta, del plano estructural, del ambiente que corresponde al baño que será diseñado con tuberías de polipropileno.

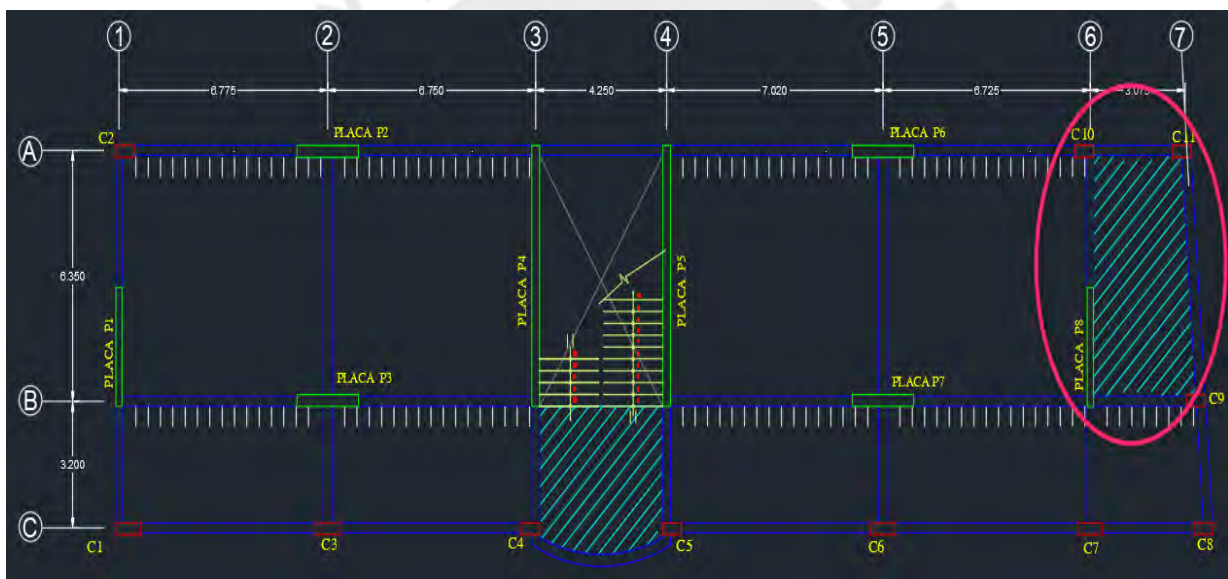


Figura 6: Vista en planta del primer piso (En círculo rojo el ambiente del servicio higiénico), del plano estructural. Fuente: Propia

En principio, se consideró colocar la cisterna detrás del edificio, a espaldas de los ejes verticales 4 y 5, ya que de esta manera se obtenía una mejor distribución de tuberías de agua hacia el baño en análisis y al baño del segundo piso que se encuentra entre los ejes 3 y 4. Con estas consideraciones previamente descritas se podría ahorrar costos de tuberías, a comparación si es que la cisterna se

hubiera colocado detrás de los ejes 1 y 2 presentes en la figura 6. A continuación, se muestra la ubicación final de la cisterna en el plano:

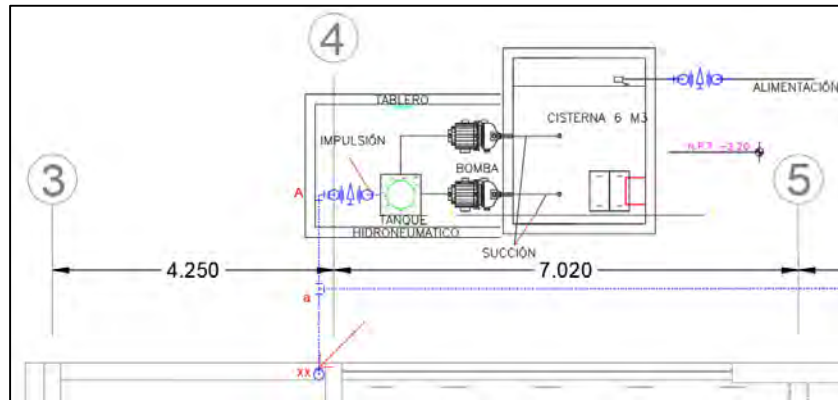


Figura 7. Ubicación de la cisterna en los exteriores de la edificación, detrás de los ejes 4 y 5. Fuente: Propia

Por otro lado, se puede observar que, lo más eficiente, sería introducir la red de tuberías entre los ejes 6 y 7, con el fin de interferir lo menos posible con los elementos estructurales de este nivel, ya que solo atravesaría el muro de albañilería presente entre esos dos ejes. Teniendo en cuenta las acotaciones previas, el planteamiento del trazo de la red de tubería de PPR, para el primer piso, queda evidenciada en la siguiente figura:

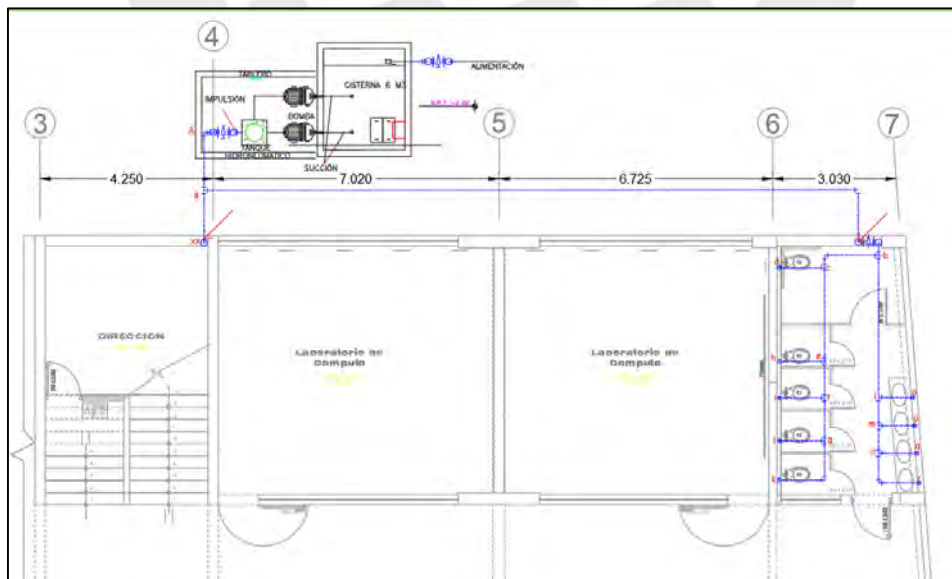


Figura 8. Trazo de la red de tubería de agua fría del primer piso. Fuente: Propia.

Para mayor detalle, a continuación, se muestra la figura de la distribución de tuberías del servicio higiénico del primer piso, el cual será de nuestro interés de análisis. Además, en la figura se mostrará la nomenclatura utilizada para cada uno de los puntos, dicha nomenclatura será indispensable para realizar un correcto diseño de la red de tuberías.

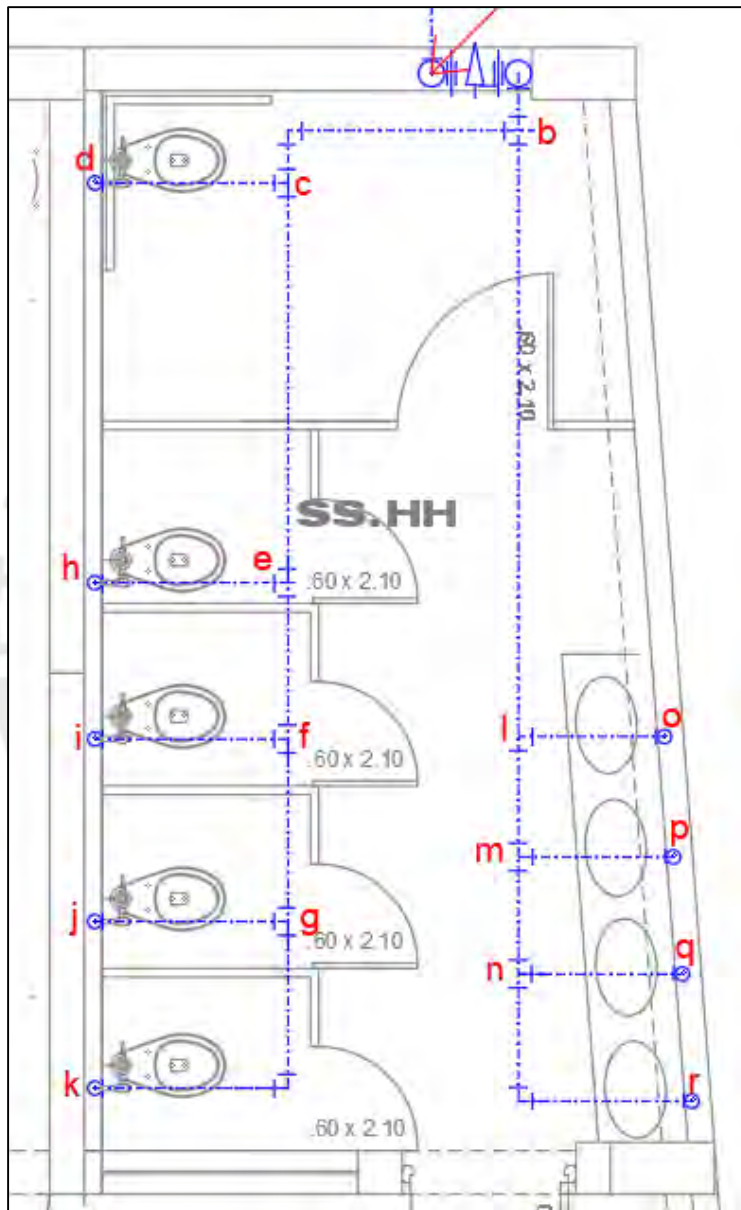


Figura 9: Red de distribución de agua fría con tuberías de propileno del baño del primer nivel. Fuente: Propia.

Cabe mencionar que, la distribución de los aparatos sanitarios, que se encuentran dentro del ambiente a analizar, se obtuvo en base a las normas de arquitectura e instalaciones sanitarias para el presente tipo de edificación, un centro educativo. Además, es importante mencionar que la ruta crítica de la red de tubería es aquella que llega al punto más desfavorable del trazo, para este caso, la ruta crítica termina en el punto “r” mostrado en la figura 9. Finalmente, con el trazo previo realizado, se procederá con el diseño de las tuberías de polipropileno para el servicio higiénico del primer piso

3.2. Diseño de un ambiente del pabellón de aulas del colegio con tuberías PPR

De acuerdo al proyecto que se está realizando, se debe tener en consideración el tipo de edificación que se va a construir. En nuestro caso, se trata de un pabellón de un colegio, por lo que se emplearán las consideraciones pertinentes en cuanto a las unidades de gasto (UG) de acuerdo a la norma IS.010, referente a instalaciones sanitarias.

De acuerdo a esto, primero se partió de un trazado, que se realizó previamente. Luego, se procederá a asignar unidades de gasto de acuerdo a los aparatos sanitarios que se empleen en el proyecto. En este caso, que trata de un servicio higiénico, se trabajará con los siguientes aparatos sanitarios: urinario con válvula semiautomática, lavatorio múltiple e inodoro con válvula semiautomática.

Aparato Sanitario	Tipo	UG-RED DE AGUA FRÍA
Urinario	Valvula semi automatica	5.00
Lavatorio	múltiple/cada salida	1.50
Inodoro	Valvula semi automatica	8.00

Figura 10: Unidades de gasto para el cálculo de tuberías de distribución de agua fría (aparatos de uso público). Fuente: IS.010

De acuerdo a la norma IS.010 y a partir de los aparatos sanitarios estimados se podrá diseñar a partir de un caudal probable empleando el método de Hunter (método de gastos probables). Este método consiste en tomar unidades de gastos asignadas haciendo el recorrido de distribución de

agua fría en el ambiente analizado, con tal de estimar un valor de gasto probable en unidades de L/S. A continuación se muestra la figura de la tabla de los gastos probables del método de Hunter.

N° de unidades	GASTO PROBABLE		N° de unidades	GASTO PROBABLE		N° de unidades	GASTO PROBABLE
	TANQUE	VÁLVULA		TANQUE	VÁLVULA		
3	0,12	-	120	1,83	2,72	1100	8,27
4	0,16	-	130	1,91	2,80	1200	8,70
5	0,23	0,91	140	1,98	2,85	1300	9,15
6	0,25	0,94	150	2,06	2,95	1400	9,56
7	0,28	0,97	160	2,14	3,04	1500	9,90
8	0,29	1,00	170	2,22	3,12	1600	10,42
9	0,32	1,03	180	2,29	3,20	1700	10,85
10	0,43	1,06	190	2,37	3,25	1800	11,25
12	0,38	1,12	200	2,45	3,36	1900	11,71
14	0,42	1,17	210	2,53	3,44	2000	12,14
16	0,46	1,22	220	2,60	3,51	2100	12,57
18	0,50	1,27	230	2,65	3,58	2200	13,00
20	0,54	1,33	240	2,75	3,65	2300	13,42
22	0,58	1,37	250	2,84	3,71	2400	13,86
24	0,61	1,42	260	2,91	3,79	2500	14,29
26	0,67	1,45	270	2,99	3,87	2600	14,71
28	0,71	1,51	280	3,07	3,94	2700	15,12
30	0,75	1,55	290	3,15	4,04	2800	15,53
32	0,79	1,59	300	3,32	4,12	2900	15,97
34	0,82	1,63	320	3,37	4,24	3000	16,20
36	0,85	1,67	340	3,52	4,35	3100	16,51
38	0,88	1,70	380	3,67	4,46	3200	17,23
40	0,91	1,74	390	3,83	4,60	3300	17,85
42	0,95	1,78	400	3,97	4,72	3400	18,07
44	1,00	1,82	420	4,12	4,84	3500	18,40
46	1,03	1,84	440	4,27	4,96	3600	18,91
48	1,09	1,92	460	4,42	5,08	3700	19,23
50	1,13	1,97	480	4,57	5,20	3800	19,75
55	1,19	2,04	500	4,71	5,31	3900	20,17
60	1,25	2,11	550	5,02	5,57	4000	20,50
65	1,31	2,17	600	5,34	5,83		
70	1,36	2,23	650	5,85	6,09		
75	1,41	2,29	700	5,95	6,35		
80	1,45	2,35	750	6,20	6,61		
85	1,50	2,40	800	6,60	6,84		
90	1,56	2,45	850	6,91	7,11		
95	1,62	2,50	900	7,22	7,36		
100	1,67	2,55	950	7,53	7,61		
110	1,75	2,60	1000	7,84	7,85		

Figura 11: Gastos probables para la aplicación del método de Hunter. Fuente: IS.010

Cabe mencionar que en el caso hipotético donde el valor resultante no se encuentre en la tabla mostrada, se realizará una interpolación con los valores que engloban al valor resultante.

Luego, se procederá a calcular los diámetros de tuberías mediante los caudales determinados anteriormente, a través de la comparación respectiva con el gasto mínimo y gasto máximo. Además, para la elección del diámetro máximo, se compara el gasto probable con el caudal mínimo y se elige el diámetro inferior. Por otro lado, para la elección del diámetro mínimo, se compara el

gasto probable con el caudal máximo y se elige el diámetro superior. Del concepto previo se elabora la siguiente tabla de diseño y longitudes de agua fría en la ruta crítica del proyecto.

Tabla 1: Tabla de diseño de la ruta crítica con tuberías de PPR. Fuente: Propia

TUBERÍAS DE PPR				Diámetro en pulgadas		
Tramo	L (m)	UG	Q(l/s)	∅ min	∅ máx	∅ diseño
A-a	3	138	2.84	2	3	2 1/2
a-XX	1.2	26	1.45	1 1/4	2	1 1/2
a-b	18.77	112	2.54	1 1/2	3	2
b-c	1.65	40	1.74	1 1/4	2	1 1/2
c-d	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2
c-e	2.2	32	1.59	1 1/4	2	1 1/2
e-h	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2
e-f	1.1	24	1.42	1 1/4	2	1 1/2
f-i	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2
f-g	1.1	16	1.22	1	2	1 1/2
g-j	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2
g-k	2.4	8	1	1	1 1/2	1 1/2
b-l	3.49	6	0.94	1	1 1/2	1 1/4
l-o	1.75	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2
l-m	0.69	4.5	0.21	1/2	3/4	3/4
m-p	1.8	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2
m-n	0.67	3	0.12	1/2	1/2	1/2
n-q	1.86	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2
n-r	2.64	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2

En este caso de estudio se trabajará con los datos de la empresa “Polifusión” que, a través de su ficha técnica, amparada en la ley de Hazen-Williams, se realizará el diseño respectivo del pabellón de aulas. De este modo, se calcularán las pérdidas de la ruta crítica hasta el aparato sanitario más desfavorable a través de la siguiente fórmula:

$$J = \frac{10.67 * Q^{1.85}}{D^{4.85} * C^{1.85}}$$

Donde:

- ✓ J = Pérdida de carga unitaria en m/m
- ✓ Q = Caudal máximo probable en m³/s
- ✓ D = Diámetro interior de la tubería

✓ C = Coeficiente de fricción del polipropileno

De acuerdo a la ficha técnica, de la tubería de propileno, de “Polifusión”, el valor del coeficiente de fricción (C) es igual a 150. A continuación se muestra la tabla de diseño y pérdidas presentes en la ruta crítica:

Tabla 2: Diseño y pérdidas de la ruta crítica con tuberías de PPR. Fuente: Propia

TUBERÍAS DE PPR				Diámetro en pulgadas			
Tramo	L (m)	UG	Q(l/s)	∅ min	∅ máx	∅ diseño	J(m/m)
A-a	3	138	2.84	2	3	2 1/2	0.012519
a-XX	1.2	26	1.45	1 1/4	2	1 1/2	0.042997
a-b	18.77	112	2.54	1 1/2	3	2	0.030054
b-c	1.65	40	1.74	1 1/4	2	1 1/2	0.060246
c-d	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
c-e	2.2	32	1.59	1 1/4	2	1 1/2	0.050991
e-h	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
e-f	1.1	24	1.42	1 1/4	2	1 1/2	0.041366
f-i	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
f-g	1.1	16	1.22	1	2	1 1/2	0.031237
g-j	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
g-k	2.4	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
b-l	3.49	6	0.94	1	1 1/2	1 1/4	0.046690
l-o	1.75	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.024464
l-m	0.69	4.5	0.21	1/2	3/4	3/4	0.034754
m-p	1.8	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.024464
m-n	0.67	3	0.12	1/2	1/2	1/2	0.088193
n-q	1.86	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.024464
n-r	2.64	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.024464

A partir de esta tabla, se calculará la pérdida longitudinal por cada tramo de tubería, a partir de la siguiente fórmula:

$$J_{tubería} = J * L_{tubería}$$

También, se calculará la pérdida en los accesorios, que contempla la siguiente fórmula:

$$J_{\text{accesorio}} = \sum K * \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde:

- ✓ J = Pérdida singular del accesorio m/m
- ✓ K = Coeficiente de proporcionalidad
- ✓ G = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s)
- ✓ V = Velocidad del fluido en m/s

Los valores del coeficiente de proporcionalidad serán extraídos a partir del manual técnico de las tuberías de propileno de la empresa “Polifusión”, mencionada previamente, y se muestra a continuación:







FITTING	DIAGRAMA	FLUJ	"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

Figura 12: Ficha técnica de tuberías de polipropileno (parte 1 de 3). Fuente: Polifusión, 2020

Como se muestra en la figura 12, se muestra los coeficientes proporcionales “K” que serán utilizados para el cálculo de pérdidas de las tuberías y accesorios. De la misma manera, se muestran las siguientes figuras para el resto de accesorios disponibles:

		0,25
		1,20
		0,80
		1,80
		3,00
		0,50
		1,20
		0,50

Figura 13: Ficha técnica de tuberías de polipropileno (parte 2 de 3). Fuente: Polifusión, 2020









		0,40
		1,4
		1,6
		16 mm.x 1/2"Hi 1,40 20 mm.x 1/2"Hi 1,60 25 mm.x 3/4"Hi 1,60 32 mm.x 1"Hi 1,60

Figura 14: Ficha técnica de tuberías de polipropileno (parte 3 de 3). Fuente: Polifusión, 2020

Para determinar la velocidad se empleará el diagrama de pérdidas de carga para tuberías “Polifusión -Beta” PP-CRT, que se presenta a continuación, para poder determinar así el valor de la velocidad empleando la pérdida de carga y el caudal.

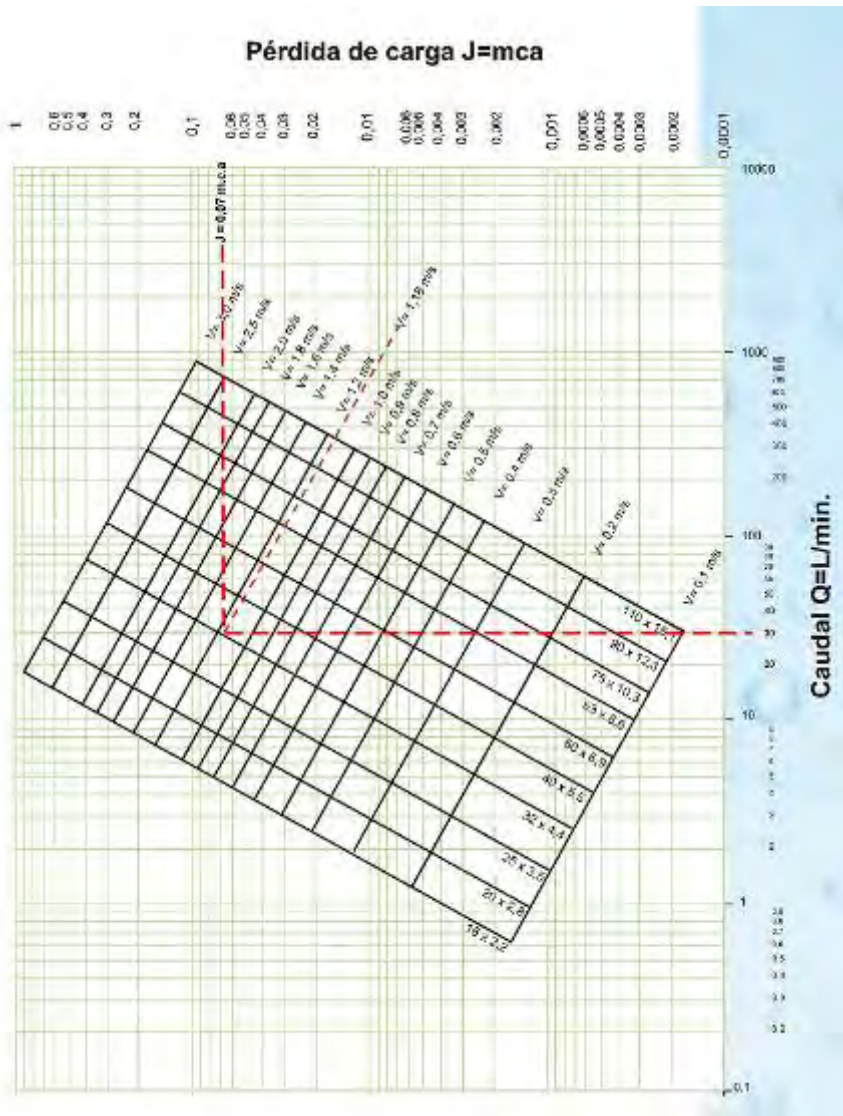


Figura 15: Diagrama de pérdida de carga. Fuente: Polifusión, 2020.

De este modo, se tabulan los valores de las velocidades del flujo respectivas, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3: Pérdidas, caudales y velocidades de la ruta crítica con tuberías de PPR. Fuente: Propia

Tramo	J(m/m)	Q(Lts/min)	V(m/s)
A-a	0.012519	170.4	0.85
a-XX	0.042997	87	1.21
a-b	0.030054	152.4	1.275
b-c	0.060246	104.4	1.425
c-d	0.021623	60	0.845
c-e	0.050991	95.4	1.325
e-h	0.021623	60	0.845
e-f	0.041366	85.2	1.19
f-i	0.021623	60	0.845
f-g	0.031237	73.2	1.125
g-j	0.021623	60	0.845
g-k	0.021623	60	0.845
b-l	0.046690	56.4	1.16
l-o	0.024464	3.6	0.45
l-m	0.034754	12.6	0.75
m-p	0.024464	3.6	0.45
m-n	0.088193	7.2	0.875
n-q	0.024464	3.6	0.45
n-r	0.024464	3.6	0.45

A partir de todos estos valores obtenidos a través del proceso descrito previamente, se procederá a calcular la pérdida de carga total, a través de la suma de pérdidas unitarias, teniendo como caso de estudio el caso más desfavorable, que sería el aparato sanitario más alejado del pabellón. En la sección de anexos se adjunta la tabla de pérdida de carga total con tuberías de PPR para nuestra ruta crítica (Tabla 6).

3.3. Discusión general

Posteriormente de haber realizado el trazo y diseño de una red de tuberías de agua fría con polipropileno (PPR) podemos observar que el procedimiento es muy parecido al que se realiza cuando se diseña una red con tuberías de PVC. Sin embargo, siempre se pueden obtener diferencias significativas que generen que se tome una decisión acerca de qué material usar al momento de ejecutar un proyecto que incluya instalaciones sanitarias en su diseño.

En base a los capítulos de marco teórico y del desarrollo de la investigación, a continuación se expondrán algunas comparativas, realizadas entre ambos sistemas, que permitan distinguir las principales diferencias entre ambos tipos de materiales:

3.3.1. Análisis comparativo de especificaciones técnicas e instalación de tuberías

Las diferencias en las especificaciones técnicas entre los materiales de PVC y PPR son notables; esto ocurre porque la composición química de ambos materiales es distinto.

Por un lado, el tiempo de vida útil del PVC es de, aproximadamente, 15 años, esto se debe a que posee alta rigidez en el plástico, lo cual eleva su sensibilidad a golpes y posibles roturas que pueden surgir. Las uniones de estas tuberías se debe adherir con pegamento, lo cual genera cierto riesgo a que estas uniones puedan fallar ya que el uso de pegamento genera que esta unión entre la tubería y accesorios sea superficial, además que el proceso de secado del pegamento tarda de 10 a 15 minutos, lo cual genera costos extras de horas hombre. De la misma manera, este proceso genera un proceso constructivo menos pulcro y puede derivar en problemas de salud para el que se encuentra manipulando estas tuberías.

También se mostró que el PVC es perjudicial para el medio ambiente ya que no es biodegradable, este punto es muy negativo porque nos encontramos en tiempos claves en los que debemos ser más conscientes con el medio ambiente y considerando que todas las edificaciones, alrededor del planeta, deben contar con tuberías en su diseño, se debe realizar una correcta elección en el material a usar.

Por otro lado, el tiempo de vida útil del PPR es de, aproximadamente, 50 años a más ya que es un material muy flexible, elástico y de peso liviano que puede trabajar, sin problemas, en eventos no deseados como en sismos por ejemplo. Las uniones de las tuberías, de este material, se hacen efectivas mediante el proceso de soldadura por termofusión, lo cual une de manera molecular a la tubería con los accesorios, provocando una unión muy resistente. Además, este proceso genera que se ahorre tiempo ya que el enfriamiento, de estas uniones, tarda de 2 a 5 minutos, lo que produce

ahorros en costos de horas hombre en comparación con el tiempo de secado del pegamento en el caso de tuberías de PVC.

Este proceso de soldadura también genera un ambiente de trabajo más limpio, así como también, la simplicidad que genera la soldadura es ventajosa porque se obtiene un solo producto de la junta de tubería y accesorio; es decir, obtenemos una sola pieza del mismo material; sin embargo, cabe señalar que se debe tener personal capacitado para realizar este proceso de soldadura con el fin de evitar cualquier accidente posible que pueda ocurrir. También, se mostró que el PPR es un material que no se corroe, resistente a entornos agresivos y lo más importante es que es un producto ecológico ya que brinda la posibilidad de poder reciclarlo y poder usarlo en un futuro proyecto.

3.3.2. Análisis comparativo del trazado y diseño de tuberías

Por un lado, respecto al trazado de la red de tuberías, se observa que se presenta un mismo trazado indistintamente del material de tubería elegido, ya sea PVC o PPR. Para nuestro caso de estudio se realizó el trazado de la red de tubería, de agua fría, para el ambiente de servicios higiénicos del primer piso del pabellón de aulas del colegio de Puente Piedra, cuyos criterios adoptados para este trazo se describieron en los capítulos anteriores. De estos criterios adoptados se puede observar que lo principal que se debe tener en cuenta, para el trazado de la red de tuberías, es el diseño estructural que presente el proyecto y el trazo realizado se debe adoptar a este diseño sea cual sea el material de tubería elegido.

Por otro lado, respecto al diseño y cálculo de pérdidas, se observa que ambos tipos de tuberías se basan en la fórmula de Hazen-Williams, pero la principal diferencia es que para el PVC se utiliza un coeficiente de rugosidad “C” de 140 y para el PPR se utiliza un “C” de 150, lo cual significa que para el caso del polipropileno, al aumentar el coeficiente “C”, se van a disminuir, ligeramente, las pérdidas en cada tramo de la red. También se nota, en el proceso de diseño de tuberías de PPR, que las reducciones presentan su propio coeficiente de rugosidad que se debe considerar en los cálculos.

3.3.3. Análisis comparativo económico

El análisis comparativo económico, a detalle, entre las tuberías de PVC y PPR puede ser un poco profundo ya que los precios de ambos materiales, en el mercado, varía a lo largo del tiempo, como cualquier otro producto comercial. En rasgos generales, realizando una búsqueda rápida de precios actuales de tuberías, como se mostró en el marco teórico, de ambos materiales resulta que el precio por metro lineal de PPR puede resultar muy similar en comparación del PVC. Además, como ya se mencionó anteriormente, para la instalación de tuberías de PPR se debe contar con personal capacitado para poder realizar las uniones por termofusión, lo cual puede significar costos extras que se tiene que abarcar.

La calidad del material también resulta sustancial al momento de realizar una comparación entre ambos tipos. Como se mencionó previamente, las uniones de tuberías de PPR resultan más sólidas ya que están unidas a nivel molecular, esto resulta en un beneficio porque son pequeñas las probabilidades de que este tipo de tuberías se dañen durante el proceso constructivo. En cambio, las uniones de PVC son más frágiles por la adherencia superficial que genera el pegamento, esto puede resultar desventajoso en caso se dañen las tuberías de este tipo durante el proceso constructivo, lo cual generaría tiempos perdidos y trabajos rehechos, en consecuencia, realizar gastos económicos adicionales.

Finalmente, para poder conocer qué tipo de material resulta conveniente, en términos económicos, en la instalación de tuberías, se debe analizar en qué tipo de proyecto se va a trabajar. Por ejemplo, si el proyecto consiste en la construcción de una vivienda unifamiliar de solo dos pisos, lo más conveniente para este caso sería utilizar tuberías de PVC ya que este material rinde eficientemente y el personal capacitado para la instalación de este tipo de tubería es mucho más amplio, lo que provoca ahorros en este aspecto; sin embargo, sería ideal gastar un poco más de dinero a cambio de un sistema de tuberías mucho más óptimo y duradero. En contraparte, si el proyecto consiste en la construcción de un hospital de varios niveles, lo más conveniente sería elegir tuberías de PPR ya que este material presenta más ventajas a comparación del PVC, como se describió anteriormente, donde el aspecto más importante recae en el ahorro de tiempo de enfriado que se logra al soldar las uniones de tuberías e instalarlas al cabo de transcurridos pocos minutos. Si bien, este pequeño tiempo que se ahorra puede parecer insignificante, cuando se tienen proyectos de

grandes escalas este ahorro de tiempo es crucial y genera un significativo ahorro en costos de horas hombre (hh), mencionando también que, para el caso de un hospital, el tiempo es determinante ya que cuanto antes se aperturen sus instalaciones significa una mayor cantidad de personas atendidas, generando un positivo impacto social.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- ✓ Se comprueba que el uso de polipropileno, como alternativa en el diseño de tuberías de instalaciones sanitarias, es una muy buena opción a considerar debido a la gran cantidad de ventajas que posee en comparación del sistema tradicional de PVC. La principal característica que pone en ventaja al PPR es su capacidad de ser eco amigable, considerando que la población humana está en constante crecimiento, el cuidado de los recursos es un muy importante. De esta forma, el uso de tuberías de PPR, en los proyectos de construcción futuros que se realicen a nivel nacional y en el resto del mundo, resulta óptimo para generar menos impacto negativo en el medio ambiente, en comparación del PVC.
- ✓ Si bien, a corto plazo, el uso de PVC puede parecer más óptimo, debido a que no necesita personal especializado en su proceso de instalación, el uso de PPR resulta más eficiente a largo plazo porque su tiempo de vida útil es mucho mayor, gracias a su alto nivel de resistencia y su gran capacidad de flexibilidad que resulta útil en eventos raros, como un sismo por ejemplo.
- ✓ Se concluye que, para proyectos de gran envergadura, es ideal que se opte por el uso de tuberías de PPR porque el corto tiempo de espera del proceso de enfriado, en comparación del secado de pegamento en PVC, significa ahorros económicos considerables en las horas hombres de trabajo de todo el proyecto. Además, un proyecto grande de construcción presenta mayor tiempo de vida útil esperado, lo cual se empareja bien con los 50 años, aproximadamente, de vida útil que posee una tubería de PPR.

- ✓ El diseño de ambos tipos de tuberías resulta muy parecido, ya que ambos se basan en la ecuación de Hazen-Williams; sin embargo, las pequeñas variaciones al momento de considerar distintos coeficientes de rugosidad (C) generan una diferencia en el cálculo de pérdidas de cargas (metros de columnas de agua). Si bien esta diferencia no es muy grande, entre el diseño de PVC y PPR, puede ser determinante para optar por la implementación de bombas o tanques hidroneumáticos.

4.2. Recomendaciones

- ✓ Al momento de que se realice un expediente técnico de cualquier proyecto, se recomienda evaluar la posibilidad de usar tuberías de PPR, comparando los aspectos técnicos y económicos que se tengan en ese momento.
- ✓ Se recomienda que se amplíen y difundan las investigaciones del uso de tuberías de polipropileno ya que todavía no representan un porcentaje considerable en el sector de la construcción en comparación del uso de PVC, debido a que no se tiene gran conocimiento de las ventajas que puede brindar el uso de PPR.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Castro Ortiz, Y. J., Martínez Carranza, F. A., & Restrepo Ochoa, M. J. (2017). *Unión de transición flexible sanitaria* (Bachelor's thesis, Universidad La Gran Colombia).
- ✓ Diez, E., Muñoz, W. (2019). Diseño comparativo técnico - económico entre sistemas de saneamiento con PVC y de polietileno – C.P. Pacanguilla – La Libertad. (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.
- ✓ ECOMEX PERÚ TRADE (s.f.). Manual técnico ABN pipe systems. Recuperado: 18 de noviembre de 2020, de https://www.ecomexperu.com/abn_manual.pdf
- ✓ Fabian, C., Sandoval, O. (2013). Análisis comparativo técnico - económico entre el sistema convencional (Tuberías de PVC) y el sistema de termofusión (tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la región de Lima (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- ✓ 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.
- ✓ Krissel, W. J., Han, J. H. & Meyer, J. A. (2003). Polypropylene: Structure, properties, manufacturing process and applications. In the Handbook of Polypropylene composites. Marcel, Dekker.
- ✓ Maceli Simón, A. P. (2017). Innovación en el sector de la construcción del Perú: estado actual y diagnóstico.
- ✓ Norma, I. S. 010 “Instalaciones Sanitarias para Edificaciones”.
- ✓ Petrocuyo (s.f.). El Polipropileno. Recuperado el 22 de Octubre del 2020 de <http://www.petrocuyo.com/es/tecnologia/el-polipropileno>

- ✓ Polifusión (s.f.). Manual del instalador. Recuperado: 18 de octubre de 2020, de <https://polifusion.com/peru/informacion/9-manual-del-instalador>
- ✓ Rivas Guzmán, F. I. (2007). *Características técnicas del polipropileno empleado en agua potable: durabilidad y análisis de costo* (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello).
- ✓ Romero, F. M. (2006). Instalaciones hidrosanitarias con tubería de polipropileno (PPR): una apuesta por la calidad. *Instalaciones y técnicas del confort*, (175), 38-43.
- ✓ Rosales Lozano, 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.
- ✓ Sandra Pérez. (2007): Criterios de diseño, cálculo y selección de tuberías en base al criterio de las prestaciones equivalentes.
- ✓ Shuan, F. (2016). 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. Universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.
- ✓ Textos Científicos (2005). Policloruro De Vinilo - PVC | Textos Científicos. Recuperado el 10 de Octubre del 2020 de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc>
- ✓ Villafuerte Zosa, K. C. (2018). Uso de Tuberías de Policloruro de Vinilo en relación a tuberías de Polipropileno del Agua Potable.

6. ANEXOS

Tabla 4: Diseño y pérdidas de la ruta crítica con tuberías de PVC. Fuente: Propia

TUBERÍAS DE PVC				Diámetro en pulgadas			
Tramo	L (m)	UG	Q(l/s)	∅ min	∅ máx	∅ diseño	s (pendiente)
A-a	3	138	2.84	2	3	2 1/2	0.0276
a-XX	1.2	26	1.45	1 1/4	2	1 1/2	0.0958
a-b	18.77	112	2.54	1 1/2	3	2	0.0666
b-c	1.65	40	1.74	1 1/4	2	1 1/2	0.1342
c-d	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.0482
c-e	2.2	32	1.59	1 1/4	2	1 1/2	0.1136
e-h	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.0482
e-f	1.1	24	1.42	1 1/4	2	1 1/2	0.0922
f-i	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.0482
f-g	1.1	16	1.22	1	2	1 1/2	0.0696
g-j	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.0482
g-k	2.4	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.0482
b-l	3.49	6	0.94	1	1 1/2	1 1/4	0.1044
l-o	1.75	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.0557
l-m	0.69	4.5	0.21	1/2	3/4	3/4	0.0785
m-p	1.8	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.0557
m-n	0.67	3	0.12	1/2	1/2	1/2	0.2008
n-q	1.86	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.0557
n-r	2.64	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.0557

Tabla 5: Diseño y pérdidas de la ruta crítica con tuberías de PPR. Fuente: Propia

TUBERÍAS DE PPR				Diámetro en pulgadas			
Tramo	L (m)	UG	Q(l/s)	∅ min	∅ máx	∅ diseño	J(m/m)
A-a	3	138	2.84	2	3	2 1/2	0.012519
a-XX	1.2	26	1.45	1 1/4	2	1 1/2	0.042997
a-b	18.77	112	2.54	1 1/2	3	2	0.030054
b-c	1.65	40	1.74	1 1/4	2	1 1/2	0.060246
c-d	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
c-e	2.2	32	1.59	1 1/4	2	1 1/2	0.050991
e-h	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
e-f	1.1	24	1.42	1 1/4	2	1 1/2	0.041366
f-i	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623

f-g	1.1	16	1.22	1	2	1 1/2	0.031237
g-j	1.45	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
g-k	2.4	8	1	1	1 1/2	1 1/2	0.021623
b-l	3.49	6	0.94	1	1 1/2	1 1/4	0.046690
l-o	1.75	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.024464
l-m	0.69	4.5	0.21	1/2	3/4	3/4	0.034754
m-p	1.8	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.024464
m-n	0.67	3	0.12	1/2	1/2	1/2	0.088193
n-q	1.86	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.024464
n-r	2.64	1.5	0.06	1/2	1/2	1/2	0.024464

Tabla 6: Pérdida de carga con tuberías de PPR, para la ruta crítica. Fuente: Propia

Tramo	Condiciones		Elementos		Le C=150	Hf m.c.a.
A-a	Long	3	1 codo de 90° de 2 1/2"		0.0442	0.2042
	UG	138	1 Tee de 2 1/2"		0.1105	
	Q (l/s)	2.84	3 tubería de PPR de 2 1/2"		0.0376	
	Diámetro	2 1/2	1 válvula compuerta de 2 1/2"		0.0119	
	S	0.0125				
a-xx	Long	1.2	1 codo de 90° de 2 1/2"		0.0895	0.2033
	UG	26	1.2 tubería de PPR de 2 1/2"		0.0895	
	Q (l/s)	1.45	1 reducción de 2 1/2" a 1 1/2"		0.0242	
	Diámetro	1 1/2				
	S	0.0430				
a-b	Long	18.77	3 codo de 90° de 1 1/2"		0.2983	0.8892
	UG	112	18.77 m tubería de PPR de 2"		0.5641	
	Q (l/s)	2.54	1 reducción de 2 1/2" a 1 1/2"		0.0268	
	Diámetro	2				
	S	0.0301				
b-c	Long	1.65	1 codo de 90° de 1"		0.9000	1.9861
	UG	40	2.9 m tubería de PPR de 1 1/4"		0.8861	
	Q (l/s)	1.74	1 válvula compuerta de 1"		0.2000	
	Diámetro	1 1/2				
	S	0.0602				
c-d	Long	1.45	2 codo de 90° de 1 1/2"		0.0873	0.1187
	UG	8	1.45 m tubería de PPR de 1 1/2"		0.0314	
	Q (l/s)	1				
	Diámetro	1 1/2				

	S	0.0216			
c-e	Long	2.2	1 tee de 1 1/2"	0.1074	0.2196
	UG	32	2.2 m tubería de PPR de 1 1/2"	0.1122	
	Q (l/s)	1.59			
	Diámetro	1 1/2			
	S	0.0510			
e-h	Long	1.45	1 codo de 90° de 1 1/2"	0.0437	0.0750
	UG	8	1.45 m tubería de PPR de 1 1/2"	0.0314	
	Q (l/s)	1			
	Diámetro	1 1/2			
	S	0.0216			
e-f	Long	1.1	1 codo de 90° de 1 1/2"	0.0866	0.1321
	UG	24	1.1 m tubería de PPR de 1 1/2"	0.0455	
	Q (l/s)	1.42			
	Diámetro	1 1/2			
	S	0.0414			
f-i	Long	1.45	1 tee de 1 1/2"	0.0437	0.0750
	UG	8	1.45 m tubería de PPR de 1 1/2"	0.0314	
	Q (l/s)	1			
	Diámetro	1 1/2			
	S	0.0216			
f-g	Long	1.1	1 codo de 90° de 1 1/2"	0.0774	0.1118
	UG	16	1.10 m tubería de PPR de 1 1/2"	0.0344	
	Q (l/s)	1.22			
	Diámetro	1 1/2			
	S	0.0312			
g-j	Long	1.45	1 tee de 1 1/2"	0.0437	0.0750
	UG	8	1.45 m tubería de PPR de 1 1/2"	0.0314	
	Q (l/s)	1			
	Diámetro	1 1/2			
	S	0.0216			
g-k	Long	2.4	1 tee de 1 1/2"	0.0437	0.0956
	UG	8	2.40 m tubería de PPR de 1 1/2"	0.0519	
	Q (l/s)	1			
	Diámetro	1 1/2			
	S	0.0216			
b-l	Long	3.49	1 codo de 90° de 1 1/2"	0.0823	0.2675
	UG	6	3.49 m tubería de PPR de 1 1/4"	0.1629	

	Q (l/s)	0.94	1 reducción de 1 1/2" a 1 1/4"	0.0222	
	Diámetro	1 1/4			
	S	0.0467			
l-o	Long	1.75	2 codo de 90° de 1/2"	0.0248	0.0709
	UG	1.5	1.75 m tubería de PPR de 1/2"	0.0428	
	Q (l/s)	0.06		0.0033	
	Diámetro	1/2			
	S	0.0245			
l-m	Long	0.69	1 codo de 90° de 1 1/4"	0.0344	0.0928
	UG	4.5	0.69m tubería de PPR de 3/4"	0.0240	
	Q (l/s)	0.21	1 reducción de 1 1/4" a 3/4"	0.0344	
	Diámetro	3/4			
	S	0.0348			
m-p	Long	1.8	1 codo de 90° de 1/2"	0.0124	0.0688
	UG	1.5	1.8m tubería de PPR de 1 1/2"	0.0440	
	Q (l/s)	0.06	1 reducción de 3/4" a 1/2"	0.0124	
	Diámetro	1/2			
	S	0.0245			
m-n	Long	0.67	2 codo de 90° de 1/2"	0.0937	0.1527
	UG	3	0.67 m tubería de PPR de 1/2"	0.0591	
	Q (l/s)	0.12		0.0000	
	Diámetro	1/2			
	S	0.0882			
n-q	Long	1.86	1 codo de 90° de 1/2"	0.0124	0.0579
	UG	1.5	1.86m tubería de PPR de 1/2"	0.0455	
	Q (l/s)	0.06			
	Diámetro	1/2			
	S	0.0245			
n-r	Long	2.64	12codo de 90° de 1/2"	0.0248	0.0894
	UG	1.5	1.8m tubería de PPR de 1/2"	0.0646	
	Q (l/s)	0.06			
	Diámetro	1/2			
	S	0.0245			
				TOTAL	4.99