

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA**



**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**

**AUTOR:**

**Bach. Fredy Jorge Shuan Toledo**

**Asesora: Ing. Judith Isabel Flores Albornoz**

**HUARAZ – ANCASH - PERÚ**

**NOVIEMBRE -2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO  
FACULTAD CIENCIAS DEL AMBIENTE



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Los Miembros del Jurado Evaluador que suscriben, reunidos para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta el Señor Bachiller: **FREDY JORGE SHUAN TOLEDO**.

Tesis Titulada: **“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”**

Y atendida a la exposición oral y oída las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de:

DIECISEIS (16)

En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

### INGENIERO SANITARIO

De conformidad con el Art. 113° numeral 113.9 del reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 432-2016-UNASAM del 28-12-2016).

Huaraz, 15 de NOVIEMBRE del 2018.

Dr. CESAR MANUEL GREGORIO DAVILA PAREDES  
Presidente

Ing. KIKO FELIX DEPAZ CELI  
Secretaria

Ing. ELVIS JESUS ESPIRITU ESPIRITU  
Vocal

Ing. JUDITH ISABEL FLORES ALBORNOZ  
Asesor

## **DEDICATORIA**

### **Dedicatoria**

Dedico primeramente a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida, venciendo todas dificultades en el camino y dándome fuerza para lograr este propósito tan esperado.

Dedico a mi madre quien supo enseñarme los valores desde pequeño y hasta ahora me ha brindado amor y confianza para lograr mis metas, a mi esposa e hijos quienes son mis motivos de seguir luchando incansablemente, son quienes a lo largo de mi vida me han dado amor y compañía en todo proyecto trazado. A mi tía Vilma Toledo Huamán quien desde niño ha sabido enseñarme el amor a nuestro Dios y ha sido una ayuda idónea para mi vida profesional.

**Fredy Jorge Shuan Toledo**

## **AGRADECIMIENTO**

### **Agradecimiento.**

A Dios por darme la vida y fortalecerme cada día y a la Universidad Santiago Antúnez, escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y a los docentes que me apoyaron para lograr mis objetivos.

**Fredy Jorge Shuan Toledo**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Fredy Jorge Shuan Toledo, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería sanitaria de la facultad de ciencias del ambiente de la Universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo, declaro que el trabajo académico titulado “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” presentado en 94 folios, para la obtención del título profesional de ingeniero sanitario, es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

- He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes de acuerdo a lo establecido por las normas de elaboración de trabajo académico.
- No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresadamente señaladas en este trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.
- De encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

Huaraz, Noviembre 2018

---

**Fredy Jorge Shuan Toledo**

**DNI: 40862344**

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del Jurado:

Se presenta la tesis titulada: “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”; realizada de conformidad con el Reglamento de grados y título vigente, para obtener el título profesional de ingeniero sanitario.

El informe está conformado por siete capítulos: capítulo I, introducción; capítulo II, método; capítulo III, resultados; capítulo IV, discusión; capítulo V, conclusiones, capítulo VI, recomendaciones y capítulo VII, bibliografía; además se incluye los anexos correspondientes.

Se espera, que esta investigación concuerde con las exigencias establecidas por nuestra Universidad y merezca su aprobación.

El autor

## ÍNDICE

	Página
Carátula	i
Página del Jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Presentación	vi
Índice	vii
Resumen	xi
Abstract	x
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>02</b>
1.1. Realidad problemática	02
1.2. Antecedentes	04
1.3. Teorías relacionadas con el tema	16
1.4. Formulación y planteamiento del problema	40
1.5. Justificación	43
1.6. Hipótesis	45
1.7. Objetivos	45
<b>II. MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>47</b>
2.1. Metodología	47
2.2. Tipo de estudio	48
2.3. Diseño	48
2.4. Variables	48
2.5. Operacionalización de Variables	49
2.6. Población, muestra y muestreo	51
2.7. Técnicas e Instrumentos de recolección de dato	51

III. RESULTADOS	53
IV. DISCUSIÓN	67
V. CONCLUSIONES	69
VI. RECOMENDACIONES	71
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	

## RESUMEN

La presente tesis se encarga de comparar el sistema convencional PVC con el nuevo sistema, en la ciudad de Huaraz, basado en polipropileno; esto debido al mayor crecimiento del sector construcción sobre todo en el sector inmobiliario.

El objetivo principal es determinar qué sistema ofrece mayores ventajas técnicas y económicas, entre los sistemas por termofusión versus el sistema convencional; así mismo cual sistema reduce el tiempo en el que se realizan las instalaciones sanitarias.

Se ha realizado investigaciones sobre el polipropileno, pero ninguna en Huaraz, unas de estas investigaciones fueron realizadas en Lima donde se menciona el material como una nueva tecnología.

La justificación de este proyecto es dar una mayor visión sobre las nuevas tecnologías en el país, estableciendo pautas sobre especificaciones técnicas y procedimientos de instalación; considerando la creciente acogida de las tuberías de polipropileno en el mercado peruano, específicamente en el sector de construcción inmobiliaria.

A medida que se desarrolla la tesis se observa las características del material así como sus ventajas y desventajas, de la misma manera se realiza la comparación técnica con respecto al sistema convencional, comprobándose que llega a funcionar tan bien como el PVC, así mismo se realiza pruebas de laboratorio para comparar las pérdidas de carga en el PVC con respecto al polipropileno, comprobándose que las tuberías con diámetros menores si bien presentan diferencias con respecto al PVC no son considerables, de la misma forma se analiza las pérdidas de carga en los accesorios, de esta forma se llega a la conclusión de que el sistema es viable para la elaboración de proyectos.

**Palabra clave:** Evaluación técnica y económica entre el sistema convencional (tubería PVC) y el sistema de termofusion (tubería de polipropileno).

## **ABSTRACT**

This thesis is responsible for comparing the conventional PVC system with the new system, in the city of Huaraz, based on polypropylene; This is due to the greater growth of the construction sector, especially in the real estate sector.

The main objective is to determine which system offers greater technical and economic advantages, between the systems by thermofusion versus the conventional system; likewise which system reduces the time in which the sanitary installations are realized.

There has been research on polypropylene but none in Huaraz, one of these investigations were made in Lima where the material is mentioned as a new technology.

The justification of this project is to give a greater vision on the new technologies in the country, establishing guidelines on technical specifications and installation procedures; considering the growing acceptance of polypropylene pipes in the Peruvian market, specifically in the real estate construction sector.

As the thesis is developed, the characteristics of the material as well as its advantages and disadvantages are observed, in the same way the technical comparison is made with respect to the conventional system, verifying that it works as well as PVC, likewise it is carried out laboratory tests to compare the losses of load in the PVC with respect to the polypropylene, verifying that the pipes with smaller diameters although they present / display differences with respect to the PVC are not considerable, of the same form the losses of load in the accessories are analyzed, In this way, it is concluded that the system is viable for the elaboration of projects.

**Keyword:** Technical and economic evaluation between the conventional system (PVC pipe) and the thermofusion system (polypropylene pipe).

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **I. INTRODUCCIÓN**

El sector construcción en el Perú muestra las expectativas de las empresas del sector construcción sobre el desempeño de la actividad en el primer bimestre del 2018, así como proyecciones para el cierre del presente año. Como es de costumbre, se analizaron temas como las perspectivas respecto al desempeño por tipo de construcción, la inversión en nuevos proyectos, el nivel de precios de viviendas y materiales de construcción; así mismo se analizó el desempeño logrado en el sector construcción y en la economía en general de nuestro país al cierre del año 2017, entre lo que se repasa el comportamiento de los componentes principales que llevan al resultado general del sector, la evolución de precios de los insumos y la tendencia de la inversión pública y privada.

A pesar de ser un tema relevante en el movimiento económico nacional actual, no se han realizado estudios referidos al planteamiento de nuevas tecnologías, con respecto a los materiales empleados en las instalaciones sanitarias, es decir tuberías y accesorios; donde no solo se analice desde el punto de vista técnico, sino que este se asocie al aspecto económico, el cual en muchas oportunidades es el que determina selección de los materiales a emplear; de esta manera se lograra tener una mayor perspectiva al momento de realizar y ejecutar un proyecto.

El desarrollo de la tesis nos permitirá analizar comparativamente, los aspectos técnicos y económicos, entre el sistema convencional (tuberías de PVC) y un nuevo sistema; que desde hace algunos años se viene instaurando en el mercado nacional, el cual consta del sistema de termo fusión (tuberías de polipropileno) y sobre el cual, no se han realizado un análisis detallado para determinar sus bondades.

### **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En construcción, como en muchos otros campos, lo barato puede salir caro. Tan caro que puede costar la vida misma. Construcciones de varios pisos sin planificación multifamiliar, remodelaciones poco funcionales, edificaciones en zonas no habilitadas o sin la participación de profesionales. Lo que empezó como un bonito proyecto familiar podría acabar en un dolor de cabeza o una tragedia podemos comparar una edificación como un ser humano donde el

sistema digestivo y arterial es como las tuberías de agua, desagüe y luz en una edificación.

La cifra es tan contundente como peligrosa: solo en Lima, el 70% de las viviendas son informales, según un estudio del instituto CAPECO. A nivel nacional, esta cifra se puede elevar hasta 80%. De acuerdo con el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), en las zonas periféricas de las ciudades, el nivel de informalidad en la construcción puede alcanzar el 90% incluso.

En el Perú existen importantes problemas de abastecimiento de agua potable, sobre todo en las zonas más rurales específicamente en edificaciones verticales. Huaraz es un claro ejemplo de ello cada vez más se construyen edificios verticales mayores a cuatro niveles lo cual conlleva a un déficit de uso de materiales adecuados caso de tuberías. En esta localidad, y como medida a esta problemática, se han construido a lo largo de los últimos años, varios sistemas de agua potable con mecanismos funcionales: sistemas de bombeo electromecánico.

Estos sistemas están mantenidos económicamente y técnicamente por el usuario, por lo que, para poder ser un recurso presente y futuro, su funcionalidad no debe conllevar un gasto muy elevado. Sin embargo, los sistemas de bombeo electromecánicos tienen un consumo energético muy alto, lo que encarece los sistemas de agua potable y por consecuencia directa. Tras el análisis de los gastos y diagnóstico de la eficiencia energética, se han investigado los cambios que se pueden llevar a cabo sobre el modelo existente para cumplir esta mejora.

Después de detallar las características de cada una de estas medidas y bajo criterios técnicos, económicos, ambientales y teniendo en cuenta las perspectivas sociales, se han dado una serie de recomendaciones con el objetivo de mejorar y mantener la autosuficiencia de la comunidad respecto a este recurso y poder así luchar por su derecho humano al agua.

## 1.2. ANTECEDENTES

El continuo desarrollo de nueva infraestructura, una creciente conciencia social y la economía mundial han forzado el desarrollo de tecnologías más eficientes y rentables para la construcción, mantenimiento, reparación y renovación de obras de saneamiento en el mundo.

Este desarrollo se ha llevado a cabo en todos los ámbitos, tanto en materiales, equipamiento y software computacionales de administración. Es por esto que el presente trabajo de investigación presenta la evaluación técnica y económico entre el sistema convencional (tuberías PVC) y el sistema de termofusion (tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones, una nueva tecnología disponible que, probablemente, generarán un gran impacto en los rendimientos, capacidades productivas, reducciones de espacios y costos de las obras.

Como ya se ha mencionado, no existe un estudio detallado en nuestro país sobre este material, pero se realizaron investigaciones en otros países como es el caso de:

“Tesis de la universidad de Chile de la facultad de ingeniería civil que lleva por nombre “Impacto de la utilización de nuevas tecnologías y materiales en los plazos y costos de construcción”

Esta tesis trata de analizar nuevas tecnologías de construcción en el vecino país de Chile. Se puede extender el funcionamiento de estos análisis en Perú, pero no está adaptado para nuestro sistema socioeconómico; por lo cual el análisis que se realizara mediante la siguiente investigación tiene un carácter importante.

FABIÁN (2013), En su tesis denominado “análisis comparativo técnico económico entre el sistema convencional (tuberías PVC) y el sistema de termo fusión (tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la Región de Lima” Donde su trabajo de investigación consistió en realizar un análisis comparativo técnico – económico entre el sistema convencional y el sistema de termo fusión llegando a una conclusión de El coeficiente de rugosidad absoluta para el polipropileno es de 0.007mm, y al compararlo con el coeficiente de rugosidad absoluta del PVC, el cual es

0.0015mm, podemos concluir que el PVC es más liso que el PP-R; pero ya de por sí ambos valores son muy bajos, por lo que podemos concluir que la pérdida de carga por tuberías son similares para ambos sistemas. Si nos valemos de los valores de pérdidas de carga, determinados en laboratorio, y los coeficientes de rugosidad absoluta hallados; podemos determinar el coeficiente de Hazzen y William para las tuberías de PP-R, con lo cual obtendremos como resultado un valor de 148 aproximadamente; por lo que trabajar los cálculos hidráulicos para el polipropileno empleando un coeficiente de H&W de 150 (igual al PVC), sería correcto y no alteraría en mayor grado los valores de pérdida de carga determinados.

Analizando los coeficientes de rugosidad de las llaves de paso, podemos apreciar una diferencia en los cálculos considerable, pero en este análisis tenemos dos casos: Si se emplean las válvulas esféricas para las tuberías de PVC, comparándolo con su equivalente, las válvulas de bola con adaptadores de PP-R; tal y como lo demuestran los resultados obtenidos, no existe diferencias considerables en el incremento de pérdida de carga entre uno u otro sistema, ofreciéndonos mejores ventajas las válvulas de bola con adaptadores de PP-R. Si analizamos las llaves de paso metálicas de PP-R, válvulas tipo globo, podemos apreciar que existe una considerable pérdida de carga; tal y como lo indica el cálculo hidráulico realizado para el departamento tipo, el cual se analizó para realizar los comparativos económicos; en la cual la altura dinámica total se incrementa en 2 metros, si se desea emplear el sistema de polipropileno para las edificaciones, se debe analizar con cuidado la pérdida de carga generada por el tipo de válvula a emplear. Si se emplean las válvulas de bola el sistema es totalmente equivalente, hidráulicamente hablando, al sistema convencional; por lo que los cálculos hidráulicos no se ven afectados. Si se desea emplear las llaves de paso metálicas de polipropileno, se debe tener presente que la altura dinámica se incrementará, dependiendo de las cantidades de llaves a emplear, hasta en 2.00 metros.

Teniendo esto en consideración, los sistemas que funcionan con sistemas de alimentación de bombas de presión constante y velocidad variable; no se verán afectados en gran medida, ya que la bomba tiene un rango amplio de trabajo.

Si se desea emplear un sistema de alimentación mediante tanque elevado, se deberá elevar el nivel del tanque en 2 metros, ocasionando problemas de presión si no se eleva el tanque en dicha altura. En caso no se tenga en cuenta este detalle al momento de realizar el análisis, se puede solucionar el problema implementado un tanque hidroneumático que solo abastezca a los dos últimos niveles del edificio.

Los cálculos hidráulicos se deben realizar considerando los diámetros internos de las tuberías, siendo estas de PVC o PP-R, y no emplear los diámetros nominales de las tuberías (por ejemplo, ½" o 20mm); ya que estas consideraciones son equivocadas y dan resultados erróneos. También es erróneo emplear la fórmula de Hazzen y William, para realizar los cálculos hidráulicos de las instalaciones sanitarias de interiores; ya que como se ha explicado dicha fórmula, no abarca los diámetros menores a 50mm, como diámetro internos de las tuberías, por lo que su aplicación en diámetros menores a los indicados dan resultados equivocados; por lo que para estos casos se deben dar factores de seguridad al momento de realizar el cálculo, como por ejemplo un factor de seguridad de 1,2 – 1,3 nos daría un aproximación más real. Si consideramos las facilidades constructivas entre el PVC y PP-R, podemos concluir que el PP-R ofrece mayores facilidades constructivas, debido a su mayor resistencia y flexibilidad; las cuales evitan roturas y daños en las tuberías, si agregamos a ello la larga vida útil de las tuberías de PP-R (50 años), podemos concluir que las tuberías de PP-R ofrecen mejores características constructivas y mayor durabilidad en el tiempo que las tuberías de PVC.

Económicamente según los análisis realizados concluye que:

Costos de tuberías y accesorios se encuentran muy a la par entre ambos sistemas PP-R y PVC, hasta 1" – 1 ¼" incrementándose los costos a partir de la 1 ½", por lo que su aplicación es viable en los sistemas de instalaciones interiores en edificaciones; ya que en estas se encuentra este rango de diámetros.

Analizando los costos de las válvulas tenemos que: Si se emplea las válvulas de bola con adaptadores de PP-R, las cuales requieren nicho, el sistema en su totalidad; comparando solo costo de material, sufre un incremento de entre 10 a 20%.

Si se emplea las llaves de paso metálicas, las cuales no requieren nicho, se produce un ahorro; de entre 30 a 40% del costo total, debido a la no construcción de los nicho o cajuelas en las cuales se alojarán las válvulas de control. El emplear el sistema de instalación con tuberías de polipropileno y las llaves de paso metálicas, ofrece mayores ventajas económicas que el sistema convencional; generando un ahorro de entre un 30 a 40% solo como costo de material, pero se debe tener mucho cuidado en su instalación.

Guanilo (2017), en su tesis denominado “estudio de los procesos de electro fusión y termo fusión en unión de tuberías de HDPE en una refinería” nos hace referencia en el presente trabajo, en el primer capítulo se resume la historia del polietileno, los procesos de electrofusión y termofusión y la refinería de Talara. En el segundo capítulo se escribe sobre los conceptos previos que son necesarios conocer para poder entender los procesos de electrofusión y termofusión en tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés).

En el tercer capítulo se explica paso a paso los procedimientos de unión por electrofusión y termofusión que son necesarios a seguir, con la finalidad de asegurar que cumplan con los requisitos para la cual son requeridos y con los estándares de calidad que la norma lo requiera y se conocerán las ventajas que ofrece cada uno de los procesos. Se expondrán los casos que se tuvieron al momento de realizar el proceso de unión de estos tipos de tuberías, siendo el proceso de electrofusión, donde mayor dificultad se tuvo, teniendo que recurrir al proveedor de la tubería y modificar nuestro primer procedimiento debido a las fugas que se tuvo en una de las primeras pruebas realizadas a la tubería corrugada de HDPE.

En el cuarto capítulo se analizan los resultados de laboratorio de cada uno de los casos de los procesos de electrofusión y termofusión y se escribe una guía de los procesos de electrofusión y termofusión.

En conclusión, el proceso de electrofusión es un proceso que ofrece mayores ventajas que el proceso de termofusión. Sin embargo, al ser un proceso nuevo en la industria, presenta el inconveniente del costo de aprendizaje. Uno de los objetivos del presente trabajo es superarlo, ya que significa pérdidas para las empresas. El aporte de esta tesis son las guías que permiten realizar estos procesos de manera sencilla para obtener unas uniones que cumplan con los

estándares y requisitos de calidad para lo cual es requerida basándose en el estudio de los procesos de electrofusión y termofusión, sus parámetros a controlar en cada proceso, el procedimiento constructivo de cada uno de estos procesos, homologación de los operadores, ensayos destructivos y no destructivos requeridos en cada proceso. Con las guías se pretende ahorrar tiempo en el proceso de aprendizaje de este tipo de uniones, esto debido a que cuando un proceso es relativamente nuevo conlleva una inversión de tiempo y dinero en el aprendizaje del personal.

El tipo de unión espiga/campana utilizado en la refinería de Talara para uniones de HDPE de tubería corrugada no es considerada dentro del código ASME B31.3. Edición 2014 y ASTM F1055. Por lo que este tipo de unión es totalmente nueva y por el momento no se encuentra contemplado en la norma. Por lo tanto, si es una unión que no está claramente especificada en el Código ASME B31.3 Edición 2014 y por ende no podemos derivar directamente al Código ASME BPV Sección IX Edición 2015, lo único que se puede hacer o se recomienda hacer, es seguir las especificaciones del fabricante de tuberías o en sus defectos una RP (Práctica Recomendada) de ensamblaje del fabricante u proveedor de este tipo de fabricaciones.

A diferencia de la electrofusión, el proceso de termofusión es más estandarizado y se tuvo menores dificultades al momento de realizar las pruebas y ensayos necesarios para realizar la homologación del operador y la aprobación de la fusión procedure specification (FPS). Sin embargo, en la termofusión se tiene una mayor cantidad de parámetros a controlar siendo necesario que sean anotados por el operador conforma van pasando los tiempos con la finalidad de tener un mejor control de estas uniones.

De los resultados de laboratorio se concluye que las muestras que han pasado satisfactoriamente las pruebas presentan fusión completa y son las probetas que fueron extraídas de las zonas de mayor apriete y mejor disposición del anillo de cobre. Así mismo se tiene un buen maquinado al momento de la preparación de la probeta por lo que estuvieron libres de muescas que son las principales generadoras de concentración de esfuerzo. Las muestras que no pasaron satisfactoriamente las pruebas, de acuerdo al estándar y al procedimiento de prueba que fueron aplicados, presentaron concentradores de esfuerzos a causa de las muescas generadas por el calentamiento de los

filamentos de cobre durante el proceso de electrofusión. Estas zonas presentan una fractura frágil, los filamentos de cobre con este proceso de fusión no llegan al punto de difusión y por ende generarán ranuras y muescas, y estos filamentos se desprenderán durante la prueba de tracción.

Sin embargo, las cuatro muestras superaron una fuerza de tracción de 2kN demostrando que poseen buenas condiciones de fusión y operatividad para las condiciones de trabajo a las cuales van a estar sometidas las tuberías, transporte de aguas aceitosas y de lluvia por gravedad.

En el ensayo de tracción se pudo corroborar que al someterse a una prueba de carga para las muestras de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) unidas mediante un proceso de termofusión de acuerdo a la norma ASTM D 2657, no se evidencia rotura en las uniones termofusionadas, éstas fallaron en el material base por lo que su condición es aceptable.

La muestra cumple con los requerimientos de esfuerzo de fluencia, esfuerzo de tracción y alargamiento especificados por las normas para el material ASTM D 638.

El ensayo de doblez se realizó a las muestras de HDPE donde se obtuvieron superficies libres de fisuras y muescas en la cara exterior de doblado, lo que cumple con los requerimientos de ASTM F2620.

Ramírez (2015), “tuberías de polietileno de alta densidad resistentes al impacto (pe100-rc) destinadas al transporte, distribución y servicio de agua potable” nos da un aporte donde nos dice que estar al día en la tecnología y hacer uso de ella es de suma importancia en la ingeniería e industria, con el fin de emplear nuevos materiales y técnicas que nos permitan evitar o en su caso solucionar problemas, así como también ser más eficientes en la realización de un proyecto.

En el transporte de fluidos se hace necesario la utilización de materiales idóneos para su conducción, de tal manera que, por su resistencia, durabilidad y que tomando en cuenta las características o propiedades del flujo a transportar, se garantice un correcto funcionamiento de los elementos que lo conforman.

Lo avances tecnológicos han permitido desarrollar nuevos tipos de tuberías para el servicio de agua potable y aunque en nuestro país de manera general

se han mantenido sistemas y técnicas de distribución convencionales, bien vale la pena analizar el impacto o afectación que podríamos obtener al emplear nuevos materiales y tecnologías en proyectos de instalación o rehabilitación de redes

Para el desarrollo del presente Trabajo de Graduación se plantea estudiar las características y propiedades de la tubería de polietileno de alta densidad PE 100-RC, que tiene entre sus principales características una alta resistencia a la propagación lenta de grietas, lo cual permite el uso de métodos alternativos de instalación.

De esta manera, se realizará un análisis para determinar las ventajas de la utilización de la tubería de PE 100-RC en proyectos de instalación de redes de agua potable, respecto al uso de otros materiales convencionales. De lo descrito nos hace llegar las siguientes conclusiones: De acuerdo al criterio de selección moderna de tuberías por prestaciones equivalentes, se verificó que la tubería de PE100-RC (Tipo 2) representa una excelente opción a considerar, frente a otros materiales evaluados; Se establecieron diferencias en relación a las tuberías de PE100 tradicional, siendo la principal característica de las tuberías de PE100-RC la resistencia al fenómeno de crecimiento lento de las grietas y tiempo de vida útil de más de 100 años bajo condiciones extremas de trabajo; A partir del análisis de su especificación se identifican 3 tipos de tuberías de PE100-RC para condiciones específicas de uso. Se verifica que la tubería Tipo2, utilizada en diferentes pruebas y ensayos en el desarrollo de esta tesis, es particularmente recomendada para instalaciones en zanja abierta sin protección o recubrimiento de arena, teniendo como característica principal la capacidad de resistir cargas puntuales ocasionadas por rocas o fragmentos; De ensayos y pruebas experimentales propuestas, se verificó lo siguiente: Una alta resistencia al impacto de las tuberías PE100-RC (tipo 2), propiedad compartida con las tuberías de polietileno tradicional, sin lograr establecer de manera precisa la energía de impacto requerida para causar la falla. Aceptable resistencia a presión hidrostática de la tubería PE100-RC (tipo2) en comparación a los otros materiales, en condiciones normales y bajo afectación de impacto previo utilizando un percutor tipo C de masa 9,1 kg a una altura de 1750 mm. Tubería PE100-RC (tipo2) en comparación con tuberías de PE100 y PVC-U son

relativamente más rígidas. Y en el modelo hidráulico se verifican mayores pérdidas de carga en la tubería de PE100-RC respecto al PE100 y PVC, aunque estas no difieren en más de un 1,05% respecto a la de mejor comportamiento. Se debe considerar que se tomó de referencia el coeficiente de rugosidad menos favorable para el análisis de la tubería de PE100-RC, debido a la especificación técnica del fabricante; en el análisis mecánico se verifica similar comportamiento de los tres tipos de tuberías. Sin embargo, se debe destacar que ante deflexiones o cargas que puedan causar el fallo en la tubería a largo plazo el PE100-RC tendrá un mejor comportamiento en la resistencia de las mismas debido a las características del material del que se conforma. Y En relación a costos de instalación, se verifica que gracias a los métodos alternativos de instalación con la tubería de PE100-RC se disminuyen ciertos rubros y cantidades de obra, con lo cual se tiene un presupuesto competitivo en relación a la tubería de PVC y PE100-RC

Forno J. (2010) "Impacto de la utilización de nuevas tecnologías y materiales en los plazos y costos de construcción" nos hace referencia sus comentarios y conclusiones que al analizar los resultados obtenidos de la comparación de las distintas tecnologías se pueden desprender los siguientes comentarios.

Para la implementación de nuevas tecnologías o materiales se debe invertir más que con las practicas comunes. Las nuevas tecnologías pueden ser tanto más caras o más baratas en un análisis de precios unitarios. Sin embargo, concluir directamente desde esa base es una mirada muy cerrada y poco real. Al efectuar una mirada más amplia y al analizar todos los factores, se puede ver que las implicancias de implementar desarrollos tecnológicos son más complejas ya que involucran a distintas áreas de la construcción.

Por ejemplo, el arriendo de una máquina "trenchless" es bastante costoso y el uso de los conectores metálicos es más caro que la utilización de los empalmes por traslapo. Sin embargo, el uso de la tecnología cracking permite una gran disminución en el tiempo de ejecución, una drástica reducción de las cantidades de obra y de los costos sociales del trabajo realizado. Por otro lado, la aplicación de los conectores metálicos permite una modificación de los procesos constructivos, resultando en considerables ahorros de materiales,

en arriendo de equipos y disminuyendo la cantidad de horas hombre necesarias para realizar los trabajos.

También existen tecnologías revolucionarias, que simplemente superan en todo sentido a las metodologías convencionales. Este es el caso de las tuberías PPR, que no solo son menos costosas que los sistemas basados en cobre si no que implican un ahorro importante en tiempo, manteniendo o incluso mejorando los estándares de calidad del metal.

Distinto a los casos anteriores es la implementación del hormigón autocompactante. Este material no solo resulta ser más caro por unidad que el hormigón común, si no que implica un mayor costo en los equipos de apoyo, en la utilización de horas hombre provocando un retraso en el tiempo de ejecución. Lo anterior ha obligado a mantener la utilización del hormigón autocompactante para casos especiales. Pero este caso es especial, ya que la implementación de estos hormigones necesita de mucho de tiempo de desarrollo. Se deben generar todas las instancias de prueba y error antes de poder lograr los reales beneficios de este material.

El grado de impacto que tendrá la implementación de nuevas tecnologías depende del tipo y la envergadura del proyecto. Siempre será necesario evaluar la utilización de avances tecnológicos de una manera integral en el proyecto, ya que no necesariamente generará un ahorro directo en términos de costos o de plazos dentro de la obra. Es decir, si se quiere implementar el uso de conectores metálicos como reemplazo de los empalmes para toda la obra, si es que no se genera una reprogramación, no será una solución acertada, el plazo de ejecución de obras no variará y se incrementarán los costos directos del proyecto. Por otro lado, si se utiliza una máquina "trenchless" en un sector donde las uniones domiciliarias o la densidad de matrices sea muy alta, la gran cantidad de hoyos generará un aumento considerable en el costo del proyecto, además considerando el arriendo de la máquina hará que el proyecto sea más costoso que si se utiliza el método a zanja abierta.

Para poder implementar con éxito nuevas tecnologías se debe estudiar en extenso las posibilidades y oportunidades que otorga la implementación del desarrollo tecnológico. Una tecnología mal estudiada y mal evaluada puede

afectar de manera negativa el desarrollo del proyecto, perjudicando la imagen y percepción de ésta entre los profesionales del sector.

La innovación tecnológica permite hacer más eficiente y económicos los procesos de producción en todo ámbito. La construcción no es la excepción, al innovar en tecnologías, materiales y software se está potenciando y mejorando la forma de construir en el país, permitiendo ahorros de costos y apoyando al crecimiento continuo.

Sin embargo, las empresas constructoras no están dispuestas a invertir en tecnologías, ya que el costo de la inversión e implementación es muy elevado y se tiene inseguridad de que pueda ser amortizado en el corto plazo. Por ejemplo, para poder comprar una máquina trenchless es necesario invertir más de MM\$80.

Cantidad de dinero que es imposible de amortizar en una sola obra cuyo costo total es un poco mayor a los MM\$15. Además de esto, se debe considerar la inestabilidad de la demanda que caracteriza a la construcción en este país. Al tomar en cuenta estos dos factores, las empresas encuentran poco rentable la implementación tecnológica, ya que, si no pueden amortizar los costos de la inversión, la innovación termina por convertirse en una involución.

La educación de nuestra sociedad es pobre, incluso aquellos con estudios superiores, tienden a evitar los cambios importantes. Nunca se les ha enseñado los reales impactos de salir del pensamiento generalizado y cambiar de perspectiva. Es sumamente necesario que a las generaciones futuras se les enseñe a tener y desarrollar iniciativas, se debe incentivar la necesidad de pensar diferente a lo común, como se dice en los países de habla inglesa "think outside the box".

Es necesario que existan incentivos externos, no solamente de mercado, que permitan el desarrollo y la implementación tecnológica del país. El estado debe evaluar mecanismos de estímulo, como por ejemplo generar créditos blandos, crear subvenciones, crear misiones de investigación tecnológicas, patrocinar cursos de administración. Se debe incitar a la creación de empresas especialistas que generen y apliquen novedades tecnológicas como servicios a las empresas constructoras, ayudando así a compensar el alto costo de inversión. Se deben generar vías de conexión y de intercambio tecnológico

más expeditas para introducir las nuevas tecnologías que se aplican en los países más desarrollados.

Se debe educar, no solo a los profesionales, sino que, a la sociedad, que la innovación permite mejorar directamente a toda la industria productiva del país y así incentivar al desarrollo continuo y sustentable de Chile.

Casanova V. (2005), Análisis comparativo entre polifusión y cobre para instalaciones de agua potable intradomiciliaria. Nos dice de que luego de haber terminado con su estudio, se puede señalar lo siguiente: Los tubos plásticos se han incorporado al vertiginoso crecimiento de las ciudades (materias primas como: el poli cloruro de vinilo (PVC), polietileno (PE) y polipropileno (PP)). Cuentan con numerosas aplicaciones en el sector de la construcción, muchas de ellas no visibles por los propios usuarios. No teniendo todos los tubos las mismas aplicaciones específicas, entre las más generales se encuentran el suministro de agua potable, calefacción, evacuación de aguas servidas, riego, drenaje, conducción de gases, canalización eléctrica y los accesorios necesarios para la instalación de un sistema completo de conducción de fluidos.

Su crecimiento no ha estado exento de dificultades pues ha debido vencer la inercia de la industria que por décadas privilegió el uso de cañerías de cobre para agua potable y hormigón para aguas servidas, sin analizar en detalle las diversas alternativas que ofrece el mercado local e internacional, ya que el cobre está asociado en nuestra cultura como el sueldo de Chile y muy poca gente piensa en una red de agua que no sea de cobre.

La expansión de los tubos plásticos se explica por diversas cualidades como versatilidad, durabilidad, resistencia mecánica, estanqueidad, resistencia a la abrasión, facilidad de instalación, ausencia de residuos o incrustaciones y resistencia a los agentes químicos, entre otros. Es así como: El polipropileno, no necesita aislamiento térmico como el Cobre en ambientes externos, ya que la dispersión de calor es limitada y su inercia térmica permite un consumo de agua caliente sin que la tubería haya alcanzado condiciones de régimen, lo que permite un ahorro de energía entre un 15% a un 20%. El comportamiento del Polipropileno, en cuanto a la dilatación térmica y a la resistencia a altas presiones es mayor que la del cobre, sobre todo en las uniones o instalación de fittings. Aunque el cobre por sus características, es un metal muy apropiado

para toda clase de instalaciones de agua, no es atacado por los gases ni se altera en presencia del aire seco; con la humedad se recubre de una capa de óxido que lo protege de posteriores ataques, es muy dúctil, maleable y buen conductor del calor y de electricidad, su principal problemática radica fundamentalmente en la soldadura, ya que en estado de servicio depende de la correcta aplicación de la misma. Por las características del polipropileno, las pérdidas de carga en tuberías y fittings son menor que en las de cobre, por lo que en una red de tuberías de polipropileno se alcanza una mejor presión de agua en el punto más alto de la misma. Los accesorios y fittings de polipropileno, en cuanto a su costo, son un 5% más caro si son sin rosca, un 30 - 40% más si son con rosca metálica y entre un 50 –60% más caro en llaves que los accesorios y fittings de cobre, por el tema de la importación del material. En cuanto al ejemplo real, primero que todo hay que señalar que el proyecto fue concebido con tubería de cobre, como se muestra en los Isométricos de la red de agua potable tanto fría como caliente adjuntos en este trabajo, pero debido a razones de costo y a las cualidades que presenta la tubería de polipropileno, se optó por emplearla en conjunto a la de cobre en la edificación antes mencionada, obteniendo de este modo: Alto rendimiento del material en la red, ya que las pérdidas en polipropileno son menores. La optimización de la red empleando tuberías, accesorios y fittings de cobre y polipropileno Un modelo híbrido, que cumple eficiente y eficazmente con las exigencias del proyecto, acatando la normativa vigente. El método de fusión molecular permite utilizar al personal habitual de la obra, optimizando la eficacia de los trabajadores, acortar el tiempo total de instalación y disminuir los ensayos destructivos y reducir los costos.

Más allá del tipo de materia prima que se utilice, uno de los principales desafíos que enfrentan las tuberías se relaciona con la instalación. Como resulta complejo supervisar esta tarea, se apunta a desarrollar productos y sistemas que impidan una incorrecta instalación. Este aspecto es clave, no se saca nada con desarrollar un producto espectacular, con certificación de calidad, si la instalación está mal ejecutada porque en esos casos se tiende a descalificar a la tubería.

Ambos materiales tienen diferentes virtudes y bondades, las cuales se deben provechar de acuerdo al tipo de proyecto que se desee llevar a cabo, teniendo

en cuenta tanto sus propiedades y características, como también el rendimiento y costo de los mismos, para lograr de este modo un buen y beneficioso resultado.

### 1.3. TEORÍAS RELACIONADAS CON EL TEMA

#### **Tuberías PVC**

La tubería no metálica más utilizada y aceptada es sin duda la de policloruro de vinilo, también conocido como “PVC”. PVC acumula más de 60 años de antecedentes exitosos en aplicaciones de tuberías subterráneas. Hace mucho que se lo considera uno de los polímeros más durables, para sistemas de tuberías tanto subterráneas como sobre la superficie.

El segundo termoplástico en importancia que se usa en el mercado de las tuberías subterráneas es el polietileno (PE). Este material se utilizaba principalmente para tuberías de gas y de drenaje, antes de su reciente introducción en los mercados principales de agua y alcantarillado por fuerza. Es importante comprender las similitudes y diferencias entre el PVC y el PE para lograr una selección y especificación adecuada de ambos productos termoplásticos para el servicio a presión.

1. El PVC tiene una fuerza inherente considerablemente mayor.
2. Por este motivo, requiere una pared mucho más delgada (40%) para lograr una presión similar
3. Las tuberías con paredes más delgadas tienen un mayor diámetro interior, mayor superficie de flujo, y por lo tanto menores pérdidas por fricción. El resultado final es una mayor eficiencia de bombeo, que redundará en ahorros en equipos y funcionamiento. La capacidad de flujo mejorada.
4. Control de calidad más riguroso: Las pruebas de presión en la planta se realizan con mucha más frecuencia en el PVC Ejemplo: AWWA C900 en el PVC frente a AWWA C906 en el PE
  - a. Prueba de rotura: Cada 24 horas (PVC) frente a un mínimo de una vez por tanda de producción (PE)\*

- b. Prueba hidrostática: Cada pieza frente a un mínimo de una vez por tanda de producción (PE)\*, \* Las tandas de producción de PE pueden ser por días, semanas o más.
5. Mejor rendimiento térmico: El PVC tiene  $\frac{1}{4}$  de la tasa de expansión/contracción térmica del PE, lo que significa un movimiento considerablemente menor debido a cambios de temperatura. Además, todo movimiento que se produce se suele compensar en las uniones de PVC con guarnición estanca. Con un sistema de tuberías de PE fundidas mediante calor e inflexibles, la expansión y contracción pueden requerir consideraciones físicas y estructurales adicionales.
  6. Armado más rápido: Las uniones de PVC con guarnición estanca se arman fácilmente. Las uniones de PE requieren operadores habilidosos y capacitados, además de equipos de fusión a tope que consumen mucha energía y se deben adquirir o alquilar. Además, las uniones fundidas llevan mucho más tiempo, si se consideran los tiempos de preparación, fusión y enfriamiento.
  7. Aplicaciones: Las tuberías de PVC con uniones restringidas se han utilizado con éxito tanto en proyectos de agua como en sistemas de alcantarillado. La tubería de PVC es el producto elegido para las aplicaciones en las que las especificaciones de alcantarillado requieren un grado preciso, gracias a su gran rigidez y resistencia de vigas\*en comparación con tuberías de plástico alternativas. \* según se mide por el factor "EI", donde E = módulo de elasticidad e I = momento de inercia. Si comparamos dos tuberías para alcantarilla que se suelen utilizar en la construcción sin zanjas, vemos que la PVC SDR21 tiene casi tres veces el valor "EI" de la PE SDR17, pero mantiene la flexibilidad necesaria para la perforación direccional y el reventamiento de tubería.
  8. Compatibilidad y facilidad de reparación: Las tuberías de PVC son en general compatibles con los accesorios para tubería que se usan normalmente. Las ciudades que agreguen PE a sus sistemas deben adquirir componentes de mantenimiento y reparación para un nuevo material de tubería.
  9. Ventaja especial en la construcción sin zanjas (perforación direccional horizontal y reventamiento de tubería estática): Dado que la tubería de

PVC con unión restringida tipo cartucho se arma una unión a la vez mientras continúa la tracción, se necesita una zona de preparación mínima, y las calles y entradas para coches permanecen abiertas, libres y seguras. Las largas tuberías profundidas pueden bloquear el tránsito y crear molestias importantes para el vecindario.

## **PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA TUBERÍA DE PVC**

Según Soto (2012) describe los procesos de fabricación de la tubería de PVC desde los elementos esenciales para la elaboración del monómero hasta la extrusión e inyección de la tubería y conexiones.

### **Breve historia del PVC**

El descubrimiento del PVC se remonta a finales del siglo diecinueve al descubrirse que un nuevo compuesto orgánico llamado cloruro de vinilo reaccionaba fuertemente a la luz solar formando una acumulación de material sólido blanco en la parte baja de los tubos de prueba, esta reacción es la polimerización simple del PVC. El nuevo plástico fue olvidado debido a que en esa época no se le encontraron aplicaciones. Para los años veinte se retomaron las investigaciones acerca del PVC principalmente en Alemania, produciendo perfiles de PVC rígido. Para los años treinta los científicos e ingenieros Alemanes desarrollaron y produjeron cantidades limitadas de tubo de PVC.

Se puede decir que la Industria de la tubería de PVC es producto de la segunda guerra mundial, ya que los sistemas de agua y alcantarillado fueron destruidos en su mayoría por los bombardeos en Alemania, debido a esto los científicos e ingenieros Alemanes desarrollaron la industria de la tubería de PVC.

Las primeras instalaciones hidráulicas con tubería de PVC en México (con campana y anillo de hule) inician en 1964.

### **Obtención del Poli-Cloruro de Vinilo (PVC)**

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define el término plástico como "Un material que contiene esencialmente moléculas orgánicas de muy alto peso molecular, sólido en su estado final y en alguna etapa de

fabricación es formado por flujo a su forma final". (AMITUP) Para entender mejor el proceso se presentan las siguientes definiciones:

**Termoplástico.-** Propiedad que le permite a un material ser moldeable repetidamente por un incremento de temperatura y endurecido por un decremento de la misma.

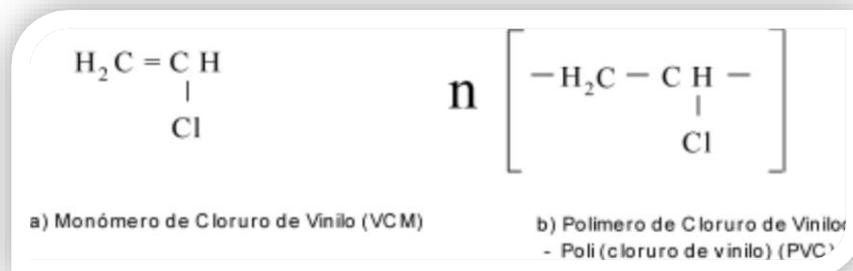
**Polímero.-** Material orgánico que contiene un alto número de configuraciones químicas repetidas enlazadas entre sí como eslabones de una cadena. Estas cadenas son de alto peso molecular.

**Monómero.-** Es una molécula pequeña, simple, de la cual se forma la cadena.

**Polimerización.-** Es la reacción que une a los monómeros en una gran estructura como un polímero.

**El poli (cloruro de vinilo) (PVC)** es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo (VCM), es una resina plástica lineal, volátil, incolora y dulce al olfato. Las fórmulas químicas se pueden observar en la figura N°1.

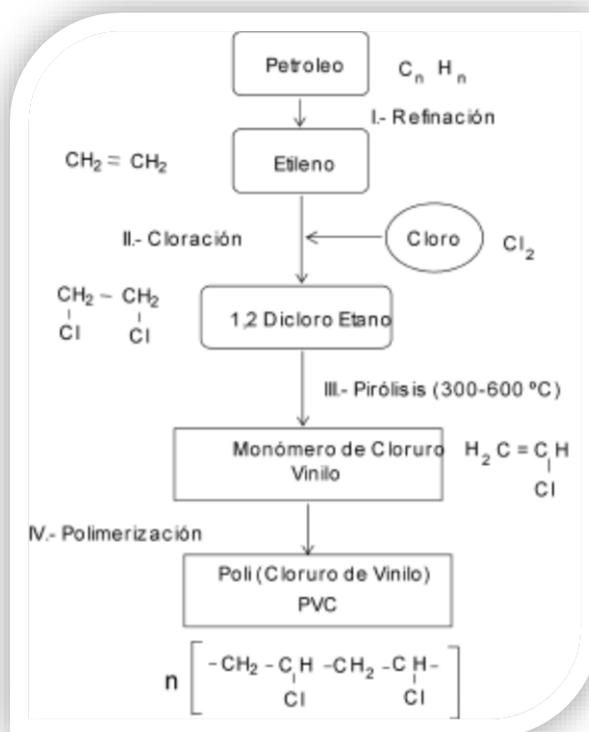
Figura N° 1: Fórmulas moleculares del VCM y el PVC



**Fuente:** Daniel Duran Soto, octubre 2012.

El VCM es un gas incoloro que se almacena a presión (2-5 kg/cm<sup>2</sup>) para convertirlo en líquido y hacerlo más manejable, es volátil, incolora y dulce al olfato. La figura N° 2. Muestra el proceso de obtención del PVC.

Figura N° 2: Obtención de PVC



**Fuente:** Daniel Duran Soto, octubre 2012.

(Pirólisis: Proceso fisicoquímico mediante el cual separan las moléculas de un compuesto utilizando calor) En la industria del plástico, la palabra resina se refiere al polímero básico usado como materia prima, mientras que compuesto se le llama a la mezcla homogénea de resina y varios aditivos.

Como muestra la figura anterior (Fig. N°2), el producto final de este proceso es la resina de PVC, a partir de esta resina y dependiendo del uso que se le va a dar al producto, se requiere agregar algunos aditivos con la finalidad de adecuar las propiedades físicas y químicas de la resina original. El compuesto de PVC que se usa para producir la tubería es Tipo 1, Grado 1 cuyas características son esfuerzo de diseño de 140 kg/cm<sup>2</sup> (2,000 PSI) para agua a 23 °C (73.4 °F), designado como PVC 12454-B (NMX-E-31/1994, ASTM D1784-78).

Otras características son: Densidad = 1.3 a 1.58 gr/cm<sup>3</sup>; Flamabilidad = auto extingible; Dilatación térmica =  $8 \times 10^{-4}$  m/m °C.

### **Procesos de fabricación de la tubería de PVC.**

Los procesos de comunes en la fabricación de tubería de PVC, son extrusión, inyección y formación manual de piezas.

El compuesto de PVC, está formado en su mayoría por policloruro de vinilo, el resto por elementos como estabilizadores, pigmentos, lubricantes, auxiliares de proceso y rellenos. Las características determinantes se deben al poli (cloruro de vinilo) por ser el elemento predominante en el compuesto, los ingredientes complementarios tienen por objeto facilitar el proceso o mejorar las propiedades particulares de la resina de PVC.

### **Extrusión.**

Después de pasar por una adecuada inspección y prueba de control de calidad, los fabricantes de resina de PVC embarcan ésta en forma de polvo a los productores de tubo. Al llegar a la planta es transportada por medio neumático desde los camiones que la transportan hasta los silos de almacenamiento.

Una vez en la planta la resina se sujeta nuevamente a otra inspección por parte del departamento de aseguramiento de calidad. Obtenida su aprobación, las materias primas son transportadas a la operación de mezclado en donde los ingredientes son combinados en una proporción de peso exacta y así formar un compuesto homogéneo. A esta operación se le conoce como "Dry-Blend" (mezclado en seco). Al término de este intenso mezclado a elevadas temperaturas por un determinado tiempo, la preparación de un lote de compuesto de PVC está terminada. Dependiendo de la demanda, el compuesto es neumáticamente transportado a la operación de extrusión, este es colocado en el interior de una tolva para alimentar al extrusor. Los extrusores para fabricación de productos de PVC son en su gran mayoría de multi-tornillo, al caer de la tolva, el compuesto de PVC en forma de polvo pasa por una garganta hacia el barril de extrusión dentro de este el compuesto es recibido por tornillos giratorios.

El material es entonces transportado por una acción de bombeo a través de los espacios entre el tornillo y el barril por todo el extrusor, conforme el material avanza a una temperatura y presión perfectamente controlada, este se convierte de un polvo seco en una masa viscosa de plástico. Para la obtención

de un producto final con las características requeridas el proceso debe ser cuidadosamente monitoreado y controlado en forma precisa.

Cuando el proceso de plastificado es concluido y los elementos volátiles han sido eliminados del plástico fundido, el material es preparado para su formación final. La masa visco-elástica de plástico es empujada dentro de un dado de formado bajo una alta presión 140 - 350 kg/cm<sup>2</sup> (2,000-5,000 PSI), entonces el plástico caliente es moldeado en un perfil de forma cilíndrica. Al salir de este dado el material esta extremadamente caliente aproximadamente a 200°C (400 °F), flexible y deformable. En este punto el plástico caliente es formado con precisión en un producto final con las dimensiones requeridas y después enfriado para solidificarlo.

El control dimensional del diámetro exterior se logra al forzar el paso del plástico caliente a través de una camisa dimensionadora al mismo tiempo que es jalado fuera del extrusor por un equipo conocido como jalón. El espesor de pared es controlado por la correcta sincronización entre el Jalón y la velocidad de extrusión. Hasta que es obtenida la forma definitiva, el tubo de PVC extruido es jalado fuera del extrusor dentro de los tanques de enfriamiento en donde es enfriado por agua templada. Concluida esta operación, pasa al marcado, al corte a la longitud exacta y formada del chaflán. En este punto el tubo terminado es transferido a la operación de acampanado.

### **Inyección.**

La formulación de compuestos de PVC para moldeado de piezas por inyección es similar a la de los compuestos utilizados para extrusión, de igual manera el proceso de mezclado se realiza mediante "Dry-Blend" (mezclado en seco).

Debido a que las máquinas de inyección están diseñadas para recibir "pellets" (granos), los fabricantes prefieren utilizar estos para la alimentación de las inyectoras, con el manejo del material en pellets el beneficio obtenido es la eliminación de los volátiles durante el proceso de obtención de los pellets y no durante el proceso de inyección.

El tipo más común de inyectoras de PVC rígido es el de tornillo oscilante, en estas el tornillo rotatorio se mueve hacia adelante y hacia atrás dentro de un cilindro caliente.

En el ciclo de moldeo, mientras el tornillo gira, el PVC rígido, ya sea en pellets o en polvo, es tomado por las espiras del tornillo en la zona de alimentación y forzada hacia la esprea frontal. En cuanto el material alcanza la punta del tornillo, esta gira hacia atrás para permitir que PVC rígido se acumule en la esprea, en el momento apropiado, el tornillo retorna hacia el frente actuando como un émbolo empujando al PVC rígido derretido bajo una gran presión a través de la esprea y dentro del molde. El tamaño de la carga o disparo puede ser regulado con la carrera de regreso del tornillo, la cual puede ser controlada con un interruptor de límite.

Debido a que el molde es llenado a una alta presión, la cavidad entera del molde es enteramente reproducida. Después de pasado el suficiente tiempo para que la pieza se enfríe y solidifique, el molde es abierto y la pieza es sacada.

**La secuencia de una operación automática de inyección es la siguiente:**

1. Cerrar y asegurar el molde bajo presión.
2. Inyección de PVC rígido.
3. Mantener el molde bajo presión mientras la pieza se enfría. La mayoría de los moldes son enfriados por agua para acelerar el proceso.
4. El tornillo giratorio regresa a recuperarse para el siguiente disparo.
5. Abrir el molde y sacar la pieza. Algunas piezas gruesas pueden ser sumergidas en agua para continuar con el enfriamiento.

**Aseguramiento de calidad.**

Las pruebas de aseguramiento de calidad se pueden clasificar en tres categorías generales:

- Pruebas de calificación. Pruebas a las que son sometidos las tuberías y materiales de los cuales están fabricados para asegurar que los productos finales puedan cumplir sin excepción los requerimientos de las especificaciones aplicables.

Las pruebas de calificación comúnmente usados en la fabricación de tubo de PVC son aplicadas para evaluar las siguientes propiedades de diseño:

Prueba de clasificación de la celda del compuesto de PVC para extrusión.

Se realiza de acuerdo a la norma NMX-E-31-1993-SCFI, para determinar las propiedades mecánicas y químicas de la materia prima con la cual se fabrican los productos finales de PVC.

Prueba toxicológica (NMX-AA-51-1981), (NMX-E-28-1991).

Realizadas para verificar la ausencia de químicos, las cuales pueden ser razonablemente llamadas tóxicas o cancerígenas en cantidades que puedan ser causa de daños fisiológicos al hombre cuando ingieren sustancias que son transportadas por tubería.

Prueba química/organoléptica (olor y sabor) (NMX-E-28-1991).

Tiene como objetivo evaluar la extracción química, sabor u olor que pudieran producir los productos fabricados de PVC que transportan fluidos que serán consumidos por el hombre. Por ejemplo tubería para conducción de agua potable.

Prueba de esfuerzo de diseño hidrostático a largo plazo se realiza para determinar el esfuerzo a la tensión máximo permisible soportado por la pared del tubo en sentido radial (hoop stress) provocado por la presión interna aplicada continuamente, con un alto grado de certidumbre de que no se presentará una falla.

Prueba de comportamiento del sistema de unión (NMX-E-129-1990) En condiciones de laboratorio se verifican que los diseños de los sistemas de unión no presenten fugas.

- Inspecciones y pruebas de control de calidad. Las pruebas de control de calidad son aplicadas rutinariamente Inspección de acabado (NMX-E-143-1994 Métrico), (NMX-E-145-1994 inglés).

Tiene como objetivo asegurar que las piezas de PVC son totalmente homogéneas, por lo tanto, estará libre de burbujas, fracturas, inclusiones o de otros defectos, inclusive de color, densidad y las demás características físicas uniformes.

Inspección dimensional (NMX-E-21-1993).

La medición de las dimensiones críticas en forma regular y sistemática es fundamental, las dimensiones críticas comúnmente requeridas son:

- Diámetro del tubo.
- Espesor de pared del tubo.
- Ovalidad.
- Dimensiones de la campana de unión.
- Longitud.

Inspección de marcación (NMX-E-143-1994 métrico), (NMX-E-145-1994 inglés) Verifica la marcación correcta del producto conforme a los requerimientos de la especificación aplicable, normalmente esta marcación incluye:

- Nombre, razón social, marca registrada o símbolo del fabricante.
- Material de que está fabricado el tubo (PVC).
- Clase o RD.
- Diámetro nominal.
- Serie métrica (Sm) o serie inglesa (Si).
- Presión máxima de trabajo.
- Uso (agua a presión).
- La leyenda "HECHO EN MEXICO" o símbolo o país de origen.
- Fecha de fabricación (día / mes / año).

#### **Inspección del empaçado de la tubería.**

El empaçado final de la tubería, así como embarque se inspecciona para asegurar una adecuada protección y manejo del producto.

Prueba de reventamiento rápido (NMX-E-16-1993).

Se prueba una muestra de tubo y se presuriza hasta su reventamiento, la presión a la cual se presenta la ruptura debe exceder la presión mínima de reventamiento requerida por la especificación aplicable.

#### **Prueba de aplastamiento (NMX-E-14-1990).**

Consiste en aplastar una muestra de tubo entre dos placas paralelas móviles hasta un 60%, (debe quedar entre las placas una distancia igual a un 40% del diámetro original), bajo esta condición la muestra no debe presentar rompimiento, fracturas o rajaduras.

#### **Prueba de calidad de extrusión (NMX-E-131-1993).**

Una muestra de tubo se sumerge en un solvente durante un tiempo determinado, al término de este se extrae la muestra y esta no debe presentar escamas o desintegración.

### **Prueba de impacto (NMX-E-29-1993).**

Se colocan muestras de Tubo de PVC en un soporte y se le aplica un impacto por un mazo de metal de geometría y peso definido, desde una altura específica.

### **Prueba de rigidez del tubo (NMX-E-208-1993).**

Similar a la prueba de aplastamiento, pero la muestra se aplasta ahora hasta un 5% y en ese momento se mide con precisión la fuerza requerida para lograr esa deformación.

Esta fuerza, por unidad de longitud dividida entre la deflexión vertical, es expresada en las siguientes unidades kilogramos por metro lineal por metro ( $\text{kg/m} \times \text{m}$ ) (Kpa) y es denominada rigidez del tubo a un 5%. Aplicable únicamente a los tubos de alcantarillado sanitario.

### **Pruebas de aseguramiento de calidad.**

Estas pruebas son practicadas a la producción al final del proceso de manufactura a un lote estadístico para asegurar que las propiedades evaluadas en el producto terminado consistentemente satisfagan los requerimientos de la especificación aplicable.

### **Prueba de presión sostenida (NMX-E-13-1990)**

Muestras de tubo se someten periódicamente a presión hidrostática interna durante 1000 h, el valor de la presión depende de la especificación aplicable a cada producto, durante la prueba no debe presentarse inflado, reventamiento, goteos o falla.

Cada una de las categorías de las pruebas representa una parte significativa y vital del aseguramiento de que el tubo de PVC servirá con seguridad a través de su vida útil.

## **CLASIFICACIÓN DE LA TUBERÍA HIDRÁULICA DE PVC Y CUMPLIMIENTO CON NORMAS.**

La tubería de PVC hidráulica se puede clasificar según el Sistema de dimensionamiento, la presión de trabajo y el tipo de unión que usa. Las

clasificaciones se presentan a continuación haciendo un cuadro sinóptico resumen al final.

### **Clasificación por sistema de dimensionamiento.**

La base de esta clasificación es el tipo de sistema que se usa, ya sea Serie Inglesa o serie métrica.

#### **Serie inglesa (SI).**

Se basa en tuberías cuyas especificaciones originales son de EE.UU. normalmente de la American Society for Testing and Materials (ASTM - Asociación Americana para Pruebas y Materiales-). Una característica importante es que el diámetro nominal (DN) no corresponde al diámetro externo (DE) ni al diámetro interno (DI). Mantiene constante el DE para los diferentes espesores de pared (e), por lo que el diseño del tubo se basa en esta característica. Este tipo de tubería de PVC fue de las primeras en comercializarse en México. Se mide en pulgadas expresadas en milímetros.

#### **Serie Métrica (SM).**

Las especificaciones originales para este tipo de tubería proceden de la International Standards Organization (ISO Organización Internacional de Normas).

En este caso el DN corresponde al DE. Al igual que la tubería de Serie Inglesa mantiene constante el DE a diferentes espesores de pared. Se mide en milímetros.

NOTA: Los diámetros de los dos tipos de tuberías no coinciden dimensionalmente por lo que no se pueden hacer uniones directamente, sino mediante el uso de una transición.

### **HISTORIA DEL POLIPROPILENO.**

Fabián y Sandoval (2013). Definen que el polipropileno se inventó a principios de la década de los 50 cuando se intentaban polimerizar las olefinas, primeramente Paul Hogan y Robert Banks lograron polimerizarlas, pero ni el catalizador, ni las propiedades de éste eran óptimas para uso industrial. Posteriormente después de varios intentos el Alemán Karl Ziegler obtuvo

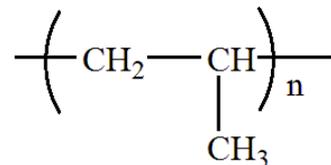
polietileno de alta densidad, con sus catalizadores organometálicos. Éstos por su excelente uso fueron bautizados con el nombre de catalizadores Ziegler y a finales de 1953 se produjo el polipropileno. En 1954 el Italiano Giulio Natta produjo PP-Isotáctico sólido utilizando los catalizadores Ziegler.

### **DEFINICIÓN DEL POLIPROPILENO.**

El polipropileno es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos. Es un termoplástico que reúne una serie de propiedades que es difícil encontrar en otro material.

Estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo.

*Figura N° 3: Compuesto del Polipropileno*



**Fuente:** Daniel Duran Soto, octubre 2012.

El polipropileno fabricado de manera industrial es un polímero lineal, cuya espina dorsal es una cadena de hidrocarburos saturados. Cada dos átomos de carbono de esta cadena principal, se encuentra ramificado un grupo metilo (CH<sub>3</sub>). Esto permite distinguir tres formas isómeras del polipropileno:

PP-isotáctico. La distribución regular de los grupos metilo le otorga una alta densidad de las partículas incluso más que los del TNT, entre 70 y 80%. Es el tipo más utilizado hoy día. PP-sindiotáctico. Muy poco cristalino, lo cual le hace ser más elástico que el PP-isotáctico pero también menos resistente. PP-



### **CAMPOS DE APLICACIÓN.**

Este material actúa en los más variados campos de aplicación tales como: Redes de agua potable. Industrias de alimento y químicas gracias a su atoxicidad y alta resistencia al pH comprendido en el rango del 1 al 14. Industria minera en todos sus procesos Agricultura, invernaderos Calefacción: Instalación de matrices, conexiones de radiadores, calderas y sistemas solares. Redes de aire comprimido.

### **PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO COPOLIMERO RANDOM, TIPO 3.**

Alta resistencia al medio externo. Resistente a la exposición de rayos solares (rayos UV). Resiste el contacto con cal, cemento y otras sustancias corrosivas (por ejemplo ácido muriático). Alta conductividad de fluidos. Es inerte y atóxica, no afecta el color, sabor u olor del líquido transportado. Resiste la corrosión indefinidamente. Superficie lisa y libre de porosidades, no permite las incrustaciones de sarro asegurando valores máximos y constantes de caudal y presión por más de 50 años. La alta resistencia mecánica, le permite resistir altas presiones. La baja conductividad térmica de las tuberías permite la mantención de las temperaturas del líquido en transporte. La elasticidad de las tuberías permite aumentar su sección en caso de congelamiento del líquido en su interior. Debido a que el polipropileno es flexible y elástico, hace de éstas, tuberías ideales para zonas sísmicas.

Responden plenamente a las normas de higiene sanitarias internacionales (Higiene Institute, de Alemania). Son malos conductores eléctricos, lo que evita el riesgo de perforaciones del tubo y accesorios a causa de corrientes galvánicas.

### **CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA USADA EN LAS TUBERÍAS DE POLIPROPILENO.**

La materia prima usada en las tuberías y accesorios son de un alto peso molecular, la estructura particular de este copolimero y el agregado de aditivos especiales aseguran una resistencia mecánica elevada y una larga vida útil, el bajo peso de los tubos, la facilidad puesta en obra y una completa gama de accesorios del sistema permiten realizar instalaciones reduciendo el tiempo de mano de obra.

Como ya hemos referido anteriormente que la materia prima empleada para la elaboración de las tuberías, es el polipropileno copolimero random (PP-R); pero aun en este tipo de polipropileno existen calidades; siendo las más empleadas el PP-R 80 (la cual pertenece a la primera generación de tuberías elaborada), y el PP-R100 (el cual representa una mejora en la calidad de la materia prima). Dichos valores numéricos indicados en la materia prima hacen referencia a la calidad de la misma y por consiguiente a las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y duración en el tiempo de las tuberías elaboradas con cada tipo de materia prima respectiva.

Para señalar mejor cual es la diferencia entre las materias primas clasificadas como PP-R80 y PP-R100, podemos señalar lo siguiente.

En ambos casos se está hablando de polipropileno copolimero random, la diferencia radica fundamentalmente en los valores que se obtiene al evaluar el material según la norma internacional en ISO 9080 o equivalente, con la cual, se realizan los ensayos de presión interna que determinan la resistencia hidrostática a largo plazo del material.

Con el valor antes señalado, expresado en megapascales (MPa), se obtiene el valor del límite inferior de confianza ( $\sigma_{LCL}$ ), que corresponde al 97.5% de la presión hidrostática promedio a largo plazo a una temperatura dada, "T", en un tiempo, "t" y que se considera una propiedad del material. (Norma internacional ISO 15874).

#### **APLICACIONES DE LAS TUBERÍAS SEGÚN SU CLASE.**

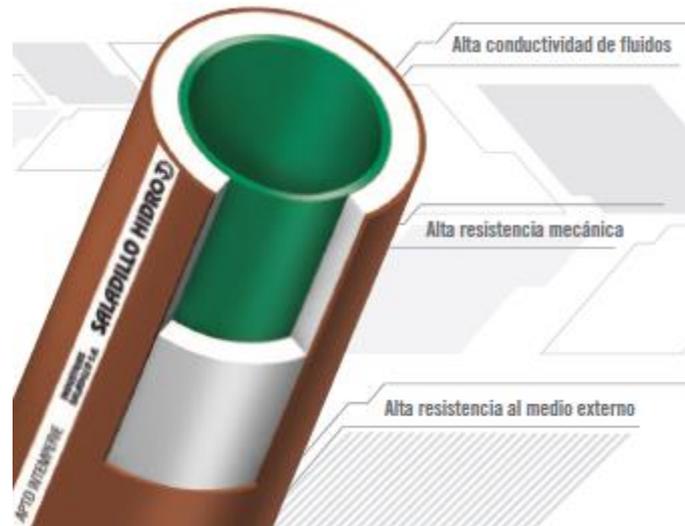
Las tuberías de polipropileno son clasificadas según la presión que resisten, estas se encuentran divididas en clases como se muestra a continuación.

Serie 5 (PN10): resiste hasta 145 lb/pulg<sup>2</sup>, se recomienda para instalaciones de agua fría, montantes o alimentadores de agua, embutidas en losas, albañilería y tabiquería, estas tuberías pueden instalarse enterradas.

Serie 3.2 (PN16): resiste hasta 232 lb/pulg<sup>2</sup>, se recomienda para instalaciones de agua caliente; recirculación, embutidas en losas, albañilería y tabiquería montantes o alimentadores de agua, embutidas en losas, albañilería y tabiquería, estas tuberías pueden instalarse enterradas. Se puede instalarse para sistemas de calefacción y en instalaciones industriales.

Serie 2.5 (PN20): resiste hasta 290 lb/pulg<sup>2</sup>, es aplicable para la industria minera, agrícola y de alimentos; calefacción, aire acondicionado, etc. En instalaciones sanitarias no tiene inconvenientes para ser instalado embutido en concreto armado y en instalaciones de agua fría y caliente. Se puede utilizar en montantes o alimentadores de agua fría o caliente.

*Figura n°7: Estructura Tri-Capa de las tuberías de PP-R100*



**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013)

Las tuberías correspondientes a la norma DIN 8077, serán rotuladas o marcadas en forma permanente con la siguiente información. La identificación es situada a intervalos de aproximadamente 1 m.

- Marca del fabricante.
- Denominación de material (PP-R).
- Número norma DIN - DIN 8077/8078.
- Serie "S" o bien "SDR".
- Diámetro exterior x espesor.
- Fecha de fabricación.
- Número de máquina.

Esta rotulación debe ser utilizada sólo para tuberías, éstas no son incluidas en las normas para campos de aplicación determinados u otras normas de regulación.

## **APLICACIONES EN LOS ACCESORIOS.**

Las tuberías se unen mediante fittings (accesorios o conexiones), a través de la termo fusión, estos fittings son serie 2.5 (PN-20), algunos con insertos metálicos roscados para realizar transición a otros materiales como PVC, CPVC, cobre, fierro galvanizado, etc.

Los accesorios deben indicar la materia prima, la marca del fabricante, la serie respectiva y la medida nominal del accesorio como una señal de la garantía del producto comercializado.

Además debemos señalar que en el sistema de termofusión (tuberías PP-R) se disponen de mayor variedad de accesorios (por ejemplo: Tees con reducciones incorporadas), así como accesorios con insertos metálicos, reduciendo la cantidad de accesorios a emplear, en comparación con el sistema convencional de tuberías de PVC.

## **DEFINICIONES Y CONCEPTOS IMPORTANTES.**

### **TERMOFUSIÓN.**

La Termofusión es un método de soldadura simple y rápida, para unir tubos de polipropileno y sus accesorios. La superficie de las partes que se van a unir se calientan a temperatura de fusión y se unen por aplicación de presión, con acción mecánica o hidráulica, de acuerdo al tamaño de la tubería y sin usar elementos adicionales de unión.

Apropiada para la unión de tuberías de la misma relación  $\varnothing$  / espesor, con diámetros desde 16 mm hasta 160mm. Esta técnica produce una unión permanente y eficaz, y es económica.

Las superficies a soldar deben comprimirse contra el termoelemento con una fuerza que es proporcional al diámetro de la tubería y luego se debe disminuir hasta un valor determinado de presión, con el objeto de que las caras absorban el calor necesario para que puedan fusionarse. Esta disminución provoca la formación de un cordón regular alrededor de la circunferencia, que está relacionado directamente con el espesor del tubo.

### **ELECTROFUSIÓN.**

Es un proceso de unión por calor en el cual las conexiones como coplas o silletas se fabrican con una resistencia integrada, para producir calor.

La electrofusión es el único método de fusión por calor que no requiere movimiento longitudinal de las piezas a unir, Es muy útil cuando se necesita hacer una unión y las tuberías no se pueden mover, como sucede en reparaciones o uniones defectuosas. Las fusiones para unir diferentes marcas de tubería o diferentes grados de polietileno se pueden hacer mediante electrofusión, ya que este método se adecúa muy bien cuando los materiales a unir tienen diferente índice de fusión.

### **MÁQUINAS TERMOFUSORA.**

La máquina termofusora es una plancha que permite el calentamiento de los materiales, permitiendo llegar al punto de fusión, está regulada termostáticamente y cuenta con boquillas o dados de fusión de acuerdo al diámetro que sea requerido.

Dependiendo del tipo de empresa donde se adquiriera se puede encontrar diferentes modelos, todos bajo el mismo principio, el de alcanzar una temperatura entre 260°C y 280°C, el calor será transmitido mediante la plancha a los dados acoplados y estos a la vez a las tuberías o accesorios.

Las diferencias entre las distintas marcas radican en que algunas máquinas incluyen visores para observar la variación de temperatura y otros incluyen luces informativas que nos indican cuando se encuentra en la temperatura adecuada.

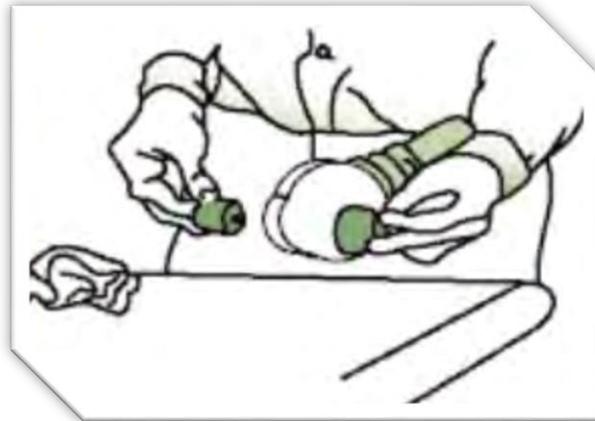
Dependiendo del diámetro a usar también se puede encontrar máquinas de 800 watts para diámetros hasta 63 mm, de 1200 para diámetros hasta 125 mm y de 1800 para diámetros hasta 160 mm.

### **PROCESO DE TERMOFUSIÓN.**

- 1) Enchufar la máquina de termofusión, habiendo colocado y ajustado convenientemente las boquillas con una llave tipo Allen. Asegurarse de que estén limpias, secas y libres de polvo, verificar el buen contacto boquilla-fusora para asegurar un eficiente calentamiento de la herramienta.
- 2) Observar el visor de temperatura de la maquina termofusora, la cual debe indicar un valor entre 260°C y 280°C, en caso no tener visor, revisar las

luces informativas, el funcionamiento de las maquinas varía según el fabricante.

*Figura N° 8:* Colocación de las boquillas o dados de termofusión.



**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013).

*Figura N° 9:* Temperatura de la máquina termofusora.

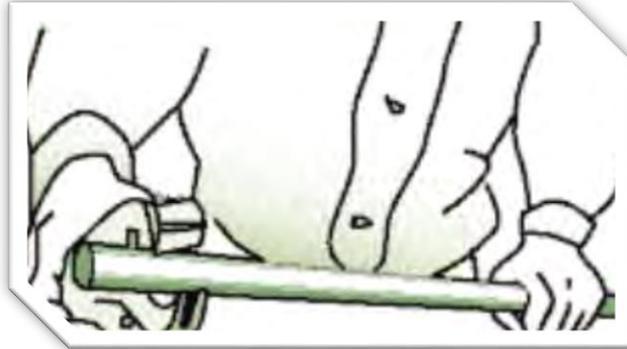


**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013).

- 3) Cortar el tubo de polipropileno, con tijera corta tubo o sierra, procurando hacerlo en forma perpendicular al eje del tubo, cuidando de no dejar rebabas y virutas en el mismo.

- 4) Limpiar y secar totalmente el tubo y la conexión antes de proceder con la fusión.
- 5) Marcar en el tubo la longitud de penetración del mismo en el dado fusión, para esto se tiene un cuadro guía, también se puede utilizar una regla adaptada con los diámetros llamado “gramil o marcador”.

*Figura N° 10: Cortado de la tubería de polipropileno.*



**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013).

*Figura N° 11: Limpiado y secado de la tubería de polipropileno.*



**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013).

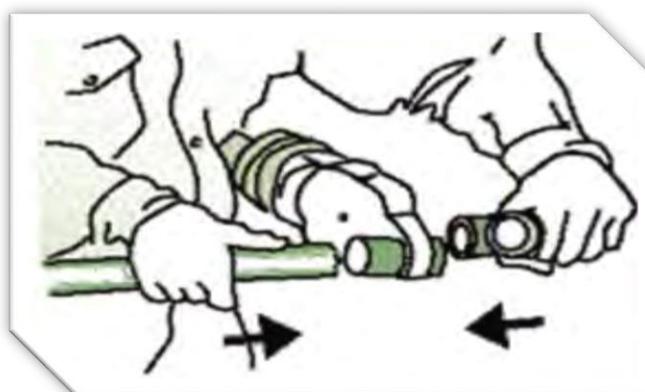
Figura N° 12: Marcado de la Tubería de polipropileno



**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013).

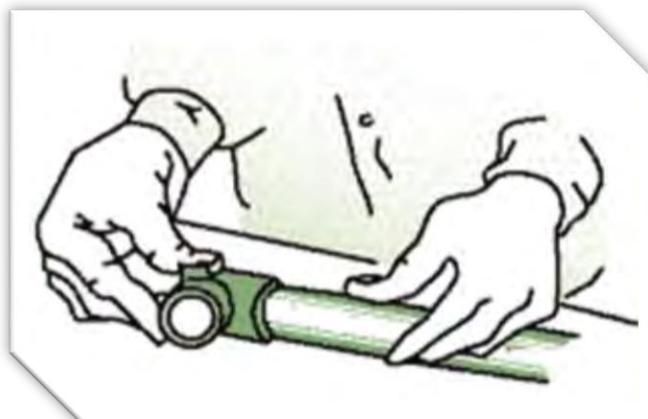
- 6) Introducir en forma simultánea el tubo y la conexión en las boquillas o dados fusión de la maquina termofusora, a partir que esta se encuentra en 260° C.
- 7) Ejercer presión en el tubo y la conexión frente a las respectivas boquillas hasta que lleguen a tope. No sobrepasar las marcas.
- 8) Una vez llegado a tope, mantener y dejar transcurrir el tiempo mínimo requerido indicado en la Tabla del fabricante.
- 9) Transcurrido el tiempo retirar ambas partes y unir sin prisa, pero sin pausa; habiendo pensado previamente en la orientación que llevará la conexión. Pueden servir de guía para esta tarea las líneas de las tuberías.

Figura N° 13: Introducción de las tuberías y accesorios a la termofusora



**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013).

*Figura N°14:* Unión de las partes después de alcanzar la temperatura adecuada.



**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013).

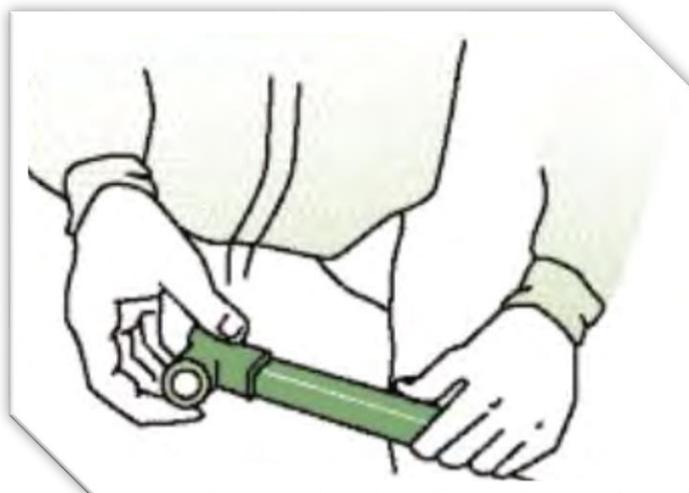
- 10) Detener la introducción del tubo dentro de la conexión cuando se aproximen a las marcas realizadas según tabla de penetración según diámetro.
- 11) Cuando se haya suspendido el empuje, queda la posibilidad de realizar pequeños ajustes en la conexión durante 3 segundos.
- 12) Dejar reposar cada fusión, hasta que se encuentre perfectamente fría.

*Figura N° 15:* Detener la introducción de la tubería después de alcanzar las marcas.



**Fuente:** Fabián y Sandoval (2013).

Figura N° 16: Ajustar a conexión durante 3 segundos.



Fuente: Fabián y Sandoval (2013).

Las tablas de penetración y tiempo de calentamiento dependen de las empresas fabricantes, las cuales designan estos parámetros realizando las pruebas correspondientes en sus laboratorios, a continuación, se menciona una tabla general.

Tabla N° 1: Tablas de calentamiento, inserción, enfriamiento y penetración según diámetros.

Diametro Nominal(mm)	A.F (pulgadas)	A.C (pulgadas)	Tiempo de Calentamiento(s)	Tiempo de Inserción(s)	Tiempo de Enfriamiento (m)	Penetración De tubos (mm)
16	-	1/2	5	4	2	13
20	1/2	-	5	4	2	14
25	3/4	3/4	7	4	3	16
32	1	1	8	6	4	18
40	1 1/4	1 1/4	12	6	4	20
50	1 1/2	1 1/2	18	6	4	23
63	2	2	40	8	6	26
75	2 1/2	2 1/2	50	10	8	28
90	3	3	60	10	8	32
110	4	4	90	10	8	34
125	5	5	180	10	9	36
160	6	6	180	15	15	43

Fuente: Fabián y Sandoval (2013).

## **REALIDAD SOBRE LAS TUBERÍAS DE POLIPROPILENO, TUBERÍAS DE POLIPROPILENO EN EL MUNDO.**

Si bien las tuberías de polipropileno fueron inicialmente promovidas en Alemania a menor escala, estas se han expandido alrededor del globo llegando a masificarse de manera considerable en países europeos y americanos, esta tecnología lleva muchos años en el mercado y aún sigue su auge cada vez mejorando la materia prima y agregando características como la protección contra rayos ultravioleta entre otros.

## **TUBERÍAS DE POLIPROPILENO EN EL PERÚ.**

En el Perú inicialmente existían empresas que importaban las tuberías para ciertos pedidos de algunas empresas constructoras, como es el caso de la empresa Argentina Akatec, la cual llegó al Perú hace aproximadamente 11 años la cual traía su línea Saladillo. Debido que el material no era tan conocido, los pedidos no eran a gran escala; por lo cual no se encontraba gran cantidad de stock de este material, hasta hace unos 5 años donde empresas chilenas como es el caso de THC y polifusión entraron en el mercado, la demanda creció debido a que las empresas constructoras vieron en el polipropileno características que no se encontraban en el PVC, actualmente empresas como AMANCO, PAVCO, entre otras, tienen su línea de polipropileno.

### **1.4. FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Para poder entender de manera adecuada, las variables que se analizan y las situaciones que se presentan para la realización de una obra, considerando las instalaciones sanitarias interiores de las edificaciones; debemos tener en cuenta dos aspectos principales: El técnico y el económico, para comparar el sistema convencional y el sistema de termofusión.

Considerando los aspectos técnicos debemos señalar los problemas frecuentes percibidos durante la realización de las instalaciones sanitarias y su ejecución en obra, tales como: Falla de las tuberías, falla de las instalaciones al realizar las pruebas hidráulicas, fugas de agua por los accesorios, dificultad para realizar reparaciones en las tuberías, dificultad para realizar el

ensamblado de las tuberías, rupturas de los codos y/o Tees en las cuales se realizara la conexión de los aparatos sanitarios, etc.

Todos estos problemas se percibe, durante el proceso constructivo al momento de realizar las instalaciones sanitarias en las edificaciones, y es mediante la experiencia del instalador y del ingeniero sanitario encargado, que se permite encontrar soluciones; todos estos problemas se perciben en el sistema convencional (tuberías de PVC), pero es en este punto donde el sistema de termofusión (Tuberías de PP-R), brindan una mejor gama de soluciones viables; partiendo del principio de termofusión mediante el cual las diversas piezas de tuberías se fusionan a nivel molecular, logrando de esta manera conformar una única nueva pieza, conjuntamente con los altos estándares de resistencia a la presión y corrosión debido a las normas que está sujeta (Norma DIN 8077, 8078 y 16962); además de su amplia gama de accesorios disponibles.

Analizando el aspecto económico, muchas veces más importante al momento de elegir el sistema a instalar; se encontró que solo el costo de tuberías y accesorios el sistema de termofusión, no resulta muy atractivo a comparación del sistema convencional, pero si se analizan los costos relacionados a la instalación, tales como:

- No se requiere el uso de pegamentos; si bien es necesario usar la máquina de termofusión a la larga es más económico.
- Las válvulas de control no requieren nicho, ahorrándonos así el encofrado, uniones universales, etc.
- Además del ahorro en la mano de obra (horas hombre), facilidad de trabajo y reducción del impacto ambiental; se determinaría que el sistema de termofusión es mucho más económico que el sistema convencional.

Todos los aspectos comparativos se conocen de manera empírica y superficial, es por ello que se requiere un estudio más profundo; para poder determinar porcentualmente el grado de ahorro y los valores de los parámetros técnicos (físicos e hidráulicos) reglamentados, que demuestre las ventajas y desventajas de un sistema sobre el otro, debido a que este tipo de estudios, no son realizados de manera frecuente en nuestro país; además que el crecimiento del sector construcción en nuestra región lo amerita, ya que de

esta manera se podrá contar con mejores herramientas para la toma de decisiones.

En ese orden de ideas es posible plantearse la siguiente pregunta:

**¿Cuál de los dos sistemas entre el convencional (tuberías PVC) y el de termofusión (tuberías de polipropileno) serán técnica y económica eficientes en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la ciudad de Huaraz?**

## **1.5. JUSTIFICACIÓN**

El compromiso de la UNASAM es proporcionar a la comunidad universitaria instalaciones e infraestructura adecuada, que brinden un nivel de funcionalidad y seguridad sanitaria, debido a esto surge la necesidad de efectuar una investigación en las instalaciones sanitarias de edificaciones.

El desarrollo de la tesis nos permitirá analizar cualitativa y cuantitativamente, los aspectos técnicos y económicos, entre el sistema convencional (tuberías de PVC) y un nuevo sistema; que desde hace algunos años viene floreciendo en el mercado nacional; el sistema de termofusión (tuberías de polipropileno); sobre este último no se ha realizado un análisis detallado para determinar sus bondades. Es por ello que los aportes obtenidos del desarrollo de la tesis, nos permitirá conocer las ventajas y desventajas entre uno u otro sistema, de esta manera ampliar nuestra visión para la elaboración de proyectos sobre instalaciones sanitarias.

### **1.5.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

La investigación tiene como objetivo comparar los tipos de tubería entre lo convencional y lo actual en sistemas de agua potable para lograr una adecuada prestación de los servicios de agua potable en edificaciones lo cual conllevara a:

- Ahorro de recursos en reparaciones de tuberías de agua.
- Ahorro de pérdida de agua potable por fugas y por reparaciones de tuberías de redes y conexiones rotas.
- Mejor calidad de abastecimiento a la población objetivo.
- Disminución de los problemas por roturas de tuberías.
- Reparación de conexiones;
- Filtraciones en tomas; y
- Filtraciones en cajas.

### **1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

Los cambios económicos, políticos y sociales, el desarrollo de la ciencia y la tecnología han avanzado considerablemente, es así que al comparar el

sistema convencional (tuberías PVC) y el sistema de termo fusión (tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la ciudad de Huaraz, se está contribuyendo con la economía del usuario que vive en una edificación ya que disminuirá los gastos económicos para obtenerlo.

### 1.5.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Al reducir el uso del material convencional se estaría mejorando el impacto ambiental que se genera mediante la contaminación de los ríos y vertederos con el material residual del material convencional.

Para sustentar el proceso del desarrollo de la investigación se realizó una justificación teniendo en cuenta la Instalación interior de agua potable para edificaciones V. 01, y la evaluación técnica, económica entre el sistema convencional (tubería PVC) y el sistema de termofusión (tubería de polipropileno) V.02: y como variable interviniente el termofusor.

La presente investigación se justifica desde la innovación tecnológica aplicada a las instalaciones hidráulicas, tomando a la planta piloto del campo experimental de Ingeniería Sanitaria como modelo a seguir en la aplicación de instalaciones sanitarias, para minimizar los costos en la utilización de tuberías en todo tipo de edificaciones verticales.

La investigación **tiene una relevancia social porque**, con los resultados que se han obtenido después de la aplicación de la investigación, ayudará al personal directivo y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad Ciencias del Ambiente de la UNASAM, podrán tener referencia sobre implementar mecanismos de mejora, además de desarrollar e implementar un adecuado sistema de instalaciones hidráulicas y las acciones de mejora que puedan tomar a través de propuestas de mejora.

La **investigación tiene una implicancia práctica porque**, con la investigación proporcionara indicadores sobre protocolos de mejora para el adecuado instalaciones sanitarias e hidráulicas en edificaciones verticales.

**Desde el punto de vista metodológico**, la investigación sirve como fuente bibliográfica para futuras investigaciones y tener un punto de referencia sobre este tipo de estudios, además a los futuros investigadores sobre este tema del uso de tipos de tuberías convencionales o de tipo termofusion.

## **1.6. HIPÓTESIS**

El sistema a termofusión es más rentable técnica y económicamente que el sistema convencional.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Evaluar técnica y económica el sistema convencional (tuberías PVC) y el sistema a termofusion (tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la ciudad de Huaraz – 2016.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar en laboratorio las pruebas donde se pueda modelar un análisis hidráulico sobre las tuberías de polipropileno y PVC.
- Comparar el sistema convencional (tuberías PVC) y el sistema a termofusión (tuberías de polipropileno) respecto a la inversión realizado en cada uno de los sistemas.
- Determinar la viabilidad del empleo de las tuberías de PP-R para las distintas construcciones que se realizan en nuestra Región.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO**  
**METODOLÓGICO**

## II. MARCO METODOLÓGICO

Para realizar esta investigación se utilizó la metodología cuantitativa debido a que la investigación es de campo y descriptiva, y como resultado un proyecto factible, teniendo como beneficiario directo a la escuela profesional de ingeniería sanitaria de la facultad ciencias del ambiente de la UNASAM, la organización administrativa como tal y sus beneficiarios internos y externos, indirectamente la sociedad de la ciudad de Huaraz y el país en general.

### 2.1. METODOLOGÍA

#### **Lugar de investigación**

Las investigaciones se realizaron en los ambientes del aula taller de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ciencias del Ambiente UNASAM.

#### **Procedimiento experimental**

Para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación se siguieron los siguientes procedimientos:

**La metodología empleada para el desarrollo de la tesis se detalla a continuación:**

**Primero.** Recopilar toda la información relativa a las tuberías de polipropileno y su aplicación de estas tecnologías y materiales en otros países para las instalaciones sanitarias de interiores, luego se realizaron todas las instalaciones necesarias de un circuito de un medio baño con sus accesorios respectivas.

**Segundo.** Análisis comparativos de la aplicación de estas tecnologías y materiales (tuberías de polipropileno) con respecto a las formas tradicionales (tuberías de PVC).

**Tercero.** Se hizo las pruebas respectivas con el balde de prueba hidráulica.

**Cuarto.** Se tomaron datos de todo el proceso para así llegar a una conclusión de cuál de los sistemas es el más eficiente.

## **Materiales**

- Tubería de polipropileno.
- Accesorios de polipropileno.
- Tuberías de PVC.
- Accesorios de PVC

## **2.2. TIPO DE ESTUDIO**

Landeau Rebeca, (2007) el autor define según la finalidad la Investigación es aplicada por que tiene como finalidad la resolución de problemas prácticos. El propósito de realizar aportaciones al conocimiento teórico es secundario.

La investigación ha sido dirigida a obtener la eficiencia de un sistema de instalación hidráulica en edificaciones verticales en la ciudad de Huaraz, que considera en la aplicación de dos tipos de tuberías, con la finalidad de obtener un mejor y adecuado sistema de instalación de tuberías de agua en un edificio vertical; por su naturaleza es una tesis aplicada y por su carácter es descriptiva.

## **2.3. DISEÑO**

El diseño de investigación se puede definir como una estructura u organización esquematizada que adopta el investigador para relacionar y controlar las variables de estudio.

## **2.4. VARIABLES**

### **i. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Instalación interior de agua potable para edificaciones.

### **ii. VARIABLE DEPENDIENTE**

Evaluación técnica y económica entre el sistema convencional (tubería PVC) y el sistema de termofusión (tubería de polipropileno).

### **iii. VARIABLES INTERVINIENTES**

- Sistema de termofusión.

## 2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- **VARIABLE INDEPENDIENTE** Instalación interior de agua potable para edificaciones.
- **VARIABLE DEPENDIENTE** Evaluación técnica y económica entre el sistema convencional (tubería PVC) y el sistema de termo fusión (tubería de polipropileno).

Tabla N° 2. OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE.

CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADOR	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
I. VARIABLE INDEPENDIENTE: Instalación interior de agua potable para edificaciones es un procedimiento de obras, de ingeniería que con un conjunto de tuberías enlazadas nos permite llevar el agua potable hasta el último nivel de edificios de una ciudad.	Tubería PVC.	Suministro de agua potable, desperdicio de agua	Observación.	Tubería PVC. Libro de notas. Pegamento.
	Tubería de polipropileno.	Suministro de agua potable, ahorro de agua	Experimentación.	Tubería. polipropileno Libro de notas. Termofusor.

<b>CONCEPTO</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TÉCNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
<b>II. VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Evaluación técnica y económica se le llama al conjunto de factores que participan en la calidad de la vida de la persona y que hacen que su existencia posea todos aquellos elementos que dé lugar a la tranquilidad y satisfacción humana. El bienestar social es una condición no observable directamente, sino que es a partir de formulaciones como se comprende y se puede comparar de un tiempo o espacio a otro.	Componentes Objetivos	Condiciones socioeconómicas y servicios de salud	Observación directa:	Libro de notas
	Componentes Subjetivos	Apoyo Social y Factores culturales	experimentación	cuestionario

Fuente: Elaboración propia.

## 2.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

Se denomina población a la totalidad de individuos a quienes se generalizarán los resultados del estudio, que se encuentran delimitados por características comunes y que son precisados en el espacio y tiempo.

Por otro lado, la muestra es considerada como un subconjunto, extraído de la población (mediante técnicas de muestreo), cuyo estudio sirve para inferir características de toda la población, en este caso mi entorno es el aula taller de instalaciones hidráulicas y sanitarias de la escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la UNASAM donde la población es el conjunto de tuberías que existen en el mercado y la muestra es la tubería PVC y tubería de polipropileno.

## 2.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATO

**Técnicas.** Son procedimientos sistematizados. La técnica debe ser seleccionada teniendo en cuenta lo que se investiga, porqué, para qué y cómo se investiga. Las técnicas pueden ser: La observación, la entrevista, el análisis de documentos, escalas para medir actitudes, la experimentación y la encuesta.

**Instrumentos.** Los instrumentos son medios auxiliares para recoger y registrar los datos obtenidos.

**CAPÍTULO III**  
**RESULTADOS**

### **III. RESULTADOS**

El análisis a realizar tiene como objetivo establecer las características respecto de los sistemas tuberías PP-R y PVC, fabricados con fines similares en lo que respecta al transporte de fluidos bajo presión y temperatura para instalaciones sanitarias de agua fría y caliente.

Se ha considerado aspectos técnicos de los materiales, así como de su valor económico (costos del sistema completo: tubería, accesorios, nichos, instalación, etc.).

Es necesario mencionar que la utilización del polipropileno en la aplicación del transporte de agua potable con presión y temperatura, se viene dando desde hace más de 50 años en Europa (de donde proviene esta tecnología) y en Sudamérica se viene utilizando en Argentina, Colombia, Chile, Brasil, etc. El uso de este material se viene dando por los diversos beneficios y su particularidad de ser amigable con el medio ambiente, así como de su comportamiento mecánico durante su instalación (se minimizan problemas de pisado, ruptura, fatiga, prueba hidráulica, fugas, etc.).

La utilización del polipropileno se puede encontrar instalada en grandes obras construidas por prestigiosas empresas constructoras de nuestro país.

#### **PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS**

El presente cuadro comparativo presenta las propiedades o características que existe entre el PVC, y el polipropileno.

## ANÁLISIS TÉCNICO

**Tabla N°3: Tabla comparativa de las propiedades y características entre el PVC y el Polipropileno.**

PROPIEDADES	PVC-CPVC	PPR-100
Campos de aplicación	Agua fría y caliente	Agua fría y caliente
Características físicas densidad gr/cm3.	1.41	0.90 a 23°C
Características térmicas temperatura de ruptura punto de ablandamiento vicat. Coeficiente de dilatación térmica.	106°C a 115°C 0.06 mm/m.°C	-13°C 130°C 0.15 mm/m.°C
Conductividad térmica	0.16 W/m.K	0.23 W/m.K
Composición química.	Policloruro de vinilo Policloruro de vinilo Clorado Ambos contienen cloro en su composición.	Carbono e Hidrogeno No contiene cloro, es atoxico.
Característica mecánicas alargamiento módulo de flexibilidad a 23°C.	Las tuberías de PVC y CPVC son rígidas.	17-18% 185 N/mm2
Tipo de tuberías agua fría agua caliente.	PVC – clase 10 con rosca a presión (roscado hasta 2") CPVC – 6.89 bar presión a 82°C, se dispone de ½" y ¾" diámetros mayores solo ha pedido.	PP-R100, clase 10 termofusión (se tiene desde 20 hasta 160mm). PP-R100, clase 16 termofusión (se tiene hasta 160mm).

Diámetros nominales	<p>½" PVC (DN 21mm)</p> <p>½" CPVC (DN 15.87mm)</p> <p>¾" PVC y CPVC (26,5mm y 22.22mm respectivamente)</p> <p>1" PVC y CPVC (33mm)</p>	<p>Su equivalente DN 20mm</p> <p>Su equivalente DN 16mm</p> <p>Su equivalente DN 25mm</p> <p>Su equivalente DN 32mm</p>
Tipo de unión	Pegado (pegamento PVC y CPVC)	Termofusión (unión molecular)
Tiempo de secado/enfriamiento	15 minutos	5 min. Para los $\varnothing$ de 16 y 20mm, 7 y 8min. Para los $\phi$ de 25 y 32mm respectivamente
Herramientas para la instalación	Hoja de sierra, pegamento, lija, teflón.	Maquina termofusora y dados de termofusión según diámetros.
Dilatación	Posee escasa dilatación en zonas sísmicas, por lo que necesita de compensadores por su rigidez.	Gracias a su elasticidad y flexibilidad es ideal para zonas sísmicas y zonas heladas (puede aumentar su sección por dilatación o contracción).
Válvulas / llaves de paso	Necesitan de combinación fierro galvanizado F <sup>o</sup> G <sup>o</sup> , PVC o CPVC y bronce: Válvulas (bronce) + niples + unión universal + adaptadores + teflón + pegamento + lija + cajuela. La construcción y acabado	Llaves de paso: Cuerpo de PPR-100 PN-20 con inserto metálico + vástago de latón DZR + manilla (cromada o plástica) + canopla (cromada o plástica).

	de las cajuelas es tediosa y tiene un costo representativo en la construcción.	No necesita cajuela. Se eliminan los costos que de este se derivan.
Eficiencia en la instalación	Influye el tiempo de secado del pegamento (soldadura líquida) para seguir avanzando con la siguiente conexión. Problemas de fatiga y rupturas de tuberías durante el vaciado, por el alto tránsito durante el vaciado.	Menor tiempo de enfriamiento de las uniones, junta segura (unión molecular), tiene buen comportamiento mecánico durante la instalación (pisado, golpes, fatiga, prueba hidráulica, etc.). Se acelera el proceso de construcción, por no tener que construir las cajuelas y conexión de los elementos de válvulas convencionales (niples, adaptadores, etc.).
Insumos utilizados	Pegamento, el cual se queda en la red de agua, no se recupera, lija hoja de sierra o tijera corta tubo, teflón, pabilo, formador de empaquetadura	Maquina termofusora (por ser una herramienta se puede utilizar en otras obras. Hoja de sierra o tijera corta tubo, teflón (solo para conectar a los accesorios roscados, dados termofusores (según diámetro).

Accesorios	<p>*Para puntos de salida se requiere mezclar material: F<sup>o</sup>G<sup>o</sup> + PVC o CPVC (codo F<sup>o</sup>G<sup>o</sup> + adaptadores).</p> <p>*Para reducir diámetros se necesita de otro accesorio (codo y/o tee + reducción).</p> <p>*Mayor cantidad de empalmes accesorio-tubo, mayor probabilidad de fugas por error de instalación.</p>	<p>*Solo se necesita un codo con inserto metálico (hilo interior).</p> <p>*Se cuenta con accesorios en los cuales, se realiza la reducción directamente (codo y tee reducción).</p> <p>*Se minimizan el número de empalmes accesorio-Tubo, menor probabilidad de fugas por error de instalación.</p> <p>*Gran gama de accesorios.</p>
------------	--	---

**Fuente:** Fabián, C y Sandoval O. (2013)

Mediante el siguiente cuadro se observa la diferencia de diámetros entre las tuberías de PP-R PN10 y PVC clase 10, así mismo se cuantifica en porcentaje esta diferencia con respecto al PVC.

La tubería PN10 del polipropileno es usada para instalaciones de agua fría y es equivalente a las tuberías de PVC clase 10 debido al rango y temperatura de trabajo que soportan.

*Tabla N° 4:* Tabla comparativa diámetros internos PP-R PN10 vs PVC (clase 10)

DIAMETRO EXTERNO		DIAMETRO INTERNO		DIFERENCIA DE DIAMETROS PVC vs PP-R (mm)	% DE DIFERENCIA CON RESPECTO AL PVC
PP-R Nominal (mm)	PVC Real (mm)	PP-R (mm)	PVC (mm)		
20	21	16.2	17.4	1.2	6.9
25	26.5	20.4	22.9	2.5	10.9
32	33	26.2	29.4	3.2	10.9
40	42	32.6	38	5.4	14.2
50	48	40.8	43.4	2.6	6

63	60	51.4	54.2	2.8	5.2
75	73	61.4	66	4.6	7
90	88.5	73.6	80.1	6.5	8.1
110	114	90	103.2	13.2	12.8
125		102.2			
160	168	130.8	152	21.2	13.9

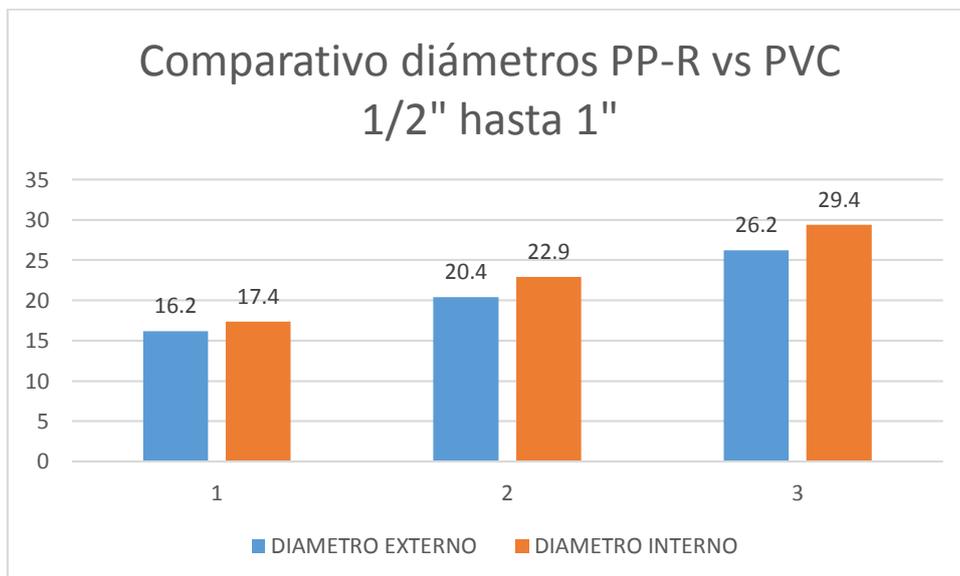
**Fuente:** Fabián, C y Sandoval O. (2013)

Me basare específicamente en los diámetros de 20 mm <> 1/2" hasta 32 mm <> 1", ya que son los diámetros que mayormente se encuentran en las instalaciones sanitarias de interiores.

### **ANÁLISIS COMPARATIVO PARA DIÁMETROS EN INSTALACIONES SANITARIAS DE INTERIORES (PP-R PN10)**

Para realizar este análisis de los diámetros internos solo nos centraremos en las tuberías desde 1/2" <> 20mm hasta 1" <> 32mm, ya que dichos valores son los que se encuentran mayormente en las instalaciones sanitarias de interiores.

*Figura n° 17:* Comparativo diámetros internos PP-R (PN10) vs PVC (clase 10)



**Fuente:** Fabián, C y Sandoval O. (2013)

Según lo analizado anteriormente, se demuestra que los diámetros internos de las tuberías de PVC son mayores a los diámetros de las tuberías PP-R; analizándolos las tuberías de PVC poseen un diámetro interno aproximadamente entre 6 – 10% mayor a las tuberías de PP-R analizando los diámetros desde ½” hasta 1”, lo cual en la realidad implica una diferencia de entre 1 a 3mm. Todos los valores indicados anteriormente, corresponden a lo indicado a la normativa de cada producto.

### **COMPARACIÓN DE INSTALACIONES**

La instalación del polipropileno depende directamente de la habilidad del operador, pero a medida de que el instalador adquiera mayor experiencia con el material podrá realizar en mucho menor tiempo el trabajo, en el siguiente gráfico se observa la eficiencia de la instalación del polipropileno comparado con el PVC.

### **INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE PVC**

El procedimiento para instalar tuberías de PVC consiste en:

Antes de realizar alguna unión, es importante corroborar que los extremos de la tubería no estén dañados. En caso de que esto suceda, se deberá cortar el tramo 5cm antes de la porción dañada. El corte debe ser recto (90°), utilizando tijeras cortatubo o segueta. Es necesario retirar los restos que resulto del corte del tubo, o el polvo, limpiándolo por fuera y por dentro, para esto se puede usar un limpiador líquido. Antes de aplicar el pegamento revisar si el tubo y la conexión al insertarlas en seco no queden flojos y verificar que el tubo no salgue de la conexión. Aplicar una capa uniforme de pegamento tanto al tubo como a la conexión. Unir la tubería y la conexión para el ensamblado de uniones dejar secar 2 horas antes de aplicar presión y no ejercer esfuerzos mecánicos sobre las uniones.

*Figura n° 18: Instalación de Tuberías de PVC.*



**Fuente:** Elaboración propia.

### **INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE POLIPROPILENO**

El procedimiento para instalar polipropileno ya se encuentra detallado en la presente tesis, de igual forma a continuación se presenta un resumen con fines comparativos. Conectar la máquina de termofusión, habiendo ya colocado y ajustado convenientemente los dados con una llave tipo Allen.

Marcar en el tubo la longitud de penetración que se dará en el dado fusión, para esto se tiene un cuadro guía según los diámetros.

Introducir en forma simultánea el tubo y la conexión en las boquillas o dados fusión de la termofusora, cuando ésta se encuentra entre 260° a 280° C.

Transcurrido el tiempo, retirar ambas partes y unir sin prisa pero sin pausa.

Detener la introducción del tubo dentro de la conexión cuando se aproximen a las marcas realizadas según tabla de penetración según diámetro.

Dejar reposar cada fusión, hasta que se encuentre perfectamente fría.

Para la instalación de adaptadores roscados, se seguirá el mismo procedimiento, ya que se tiene accesorios de polipropileno con insertos roscados, los cuales pueden recibir trabajo mecánico después de enfriarse la fusión. Lo mismo ocurre con las uniones.

*Figura n° 19: Instalación de Tuberías de polipropileno.*



**Fuente:** Elaboración propia.

## **ANÁLISIS ECONÓMICO.**

La parte económica es sin duda una parte muy importante al momento de elegir el tipo de material que será instalado en un proyecto, por lo cual este análisis se debe realizar de manera cuidadosa. Comúnmente al comparar costos de diferentes marcas tuberías de polipropileno se comete el error de realizar el análisis económico, comparando solamente el precio de una tubería de la marca “X” con el precio de la marca “Y”; siendo la más barata la mejor, lo cual no es correcto debido a que no se consideran todos los aspectos integrales del sistema, tales como: Calidad de las tuberías, Valores agregados, servicio de mantenimiento preventivo y correctivo de máquinas termofusoras, atención post-venta, etc. aspectos importantes a tener en cuenta.

Las distintas empresas vendedoras de polipropileno ofrecen precios variables debido al tipo de política que tenga cada una de estas, por lo cual los precios son referenciales.

## **CONSIDERACIONES.**

Al realizar el comparativo económico específicamente considerando los sistemas de PVC y PP-R se deben tener en consideración, no solo el costo de metro de tubería lineal de cada sistema; sino también la cantidad de insumos no recuperables a consumir (pegamento, teflón y formador de empaquetadura), los cuales forman un factor importante a tener en cuenta durante la evaluación.

Además debemos tener presente la versatilidad del material; así como su idoneidad para el proceso constructivo, lo cual en el caso del polipropileno evita tener que realizar reparaciones innecesarias debido a roturas o fisuras en las tuberías por golpes o fatiga.

El sistema polipropileno PP-R100 (polipropileno copolímero random tipo 3 con capa interna antibacteria, intermedia PP-R y capa externa anti UV) se minimizan los tiempos, debido al menor tiempo que debe transcurrir para poder realizar la prueba hidráulica; porque no se debe esperar 15 minutos sino menos, según el diámetro.

La merma es menor por la versatilidad del material.

Se reducen también los costos de post venta (costos ocasionados por filtraciones),

debido al tipo de unión (termofusión), la cual es muy difícil de separar luego de haberla unido (unión molecular – se forma una sola pieza).

Para el análisis económico se debe realizar la comparación de sistemas completos, es decir, se debe considerar para el sistema convencional: tubería, accesorios PVC-CPVC y F°G°, válvulas y sus respectivas cajuelas (como lo mostrado en el cuadro. La Vida útil del PP-R según normas DIN 8077 -8078, es como mínimo 50 años.

En cuanto a la evaluación económica se tendría que considerar el siguiente cuadro:

*Tabla N° 5: Consideraciones para el análisis económico.*

Ítem	Descripción sistema convencional PVC,CPVC, Bronce F°G°,	Sistema polipropileno
1	Tubería PVC (agua fría) - CPVC (agua caliente) unión por soldadura líquida (pegamento queda en la obra).	Tubería PP-R100 (PN 10 agua fría y PN16 caliente) unión molecular empleando un maquina termofusora y dados de termofusión (la compra de la máquina es una inversión, queda para otras obras)
2	Punto de salida agua fría y caliente Codo F°G° + adaptador PVC Y CPVC.	Punto de salida agua fría y caliente Codo PPR-100 PN20 HI (hilo interior con inserto metálico.
3	Válvula: Está conformada por: codos F°G° + Niples F°G°+ adaptadores PVC o CPVC + Uniones universales F°G° o PVC-CPVC + CAJUELA.	Llaves de Paso: Metálica o cromada: cuerpo de PPR-100 PN 20 con inserto metálico + vástago + manilla metálica o cromada + canopla plástica o cromada y NO NECESITA CAJUELA.

4	Reducción de diámetro: Se realiza con un accesorio adicional (por lo menos).	Reducción de diámetro: Se tiene una amplia gama de accesorios reducción donde se realiza directamente el cambio de diámetro.
---	---	---

**Fuente:** Elaboración propia.

### ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN SERVICIO HIGIENICO (MEDIO BAÑO).

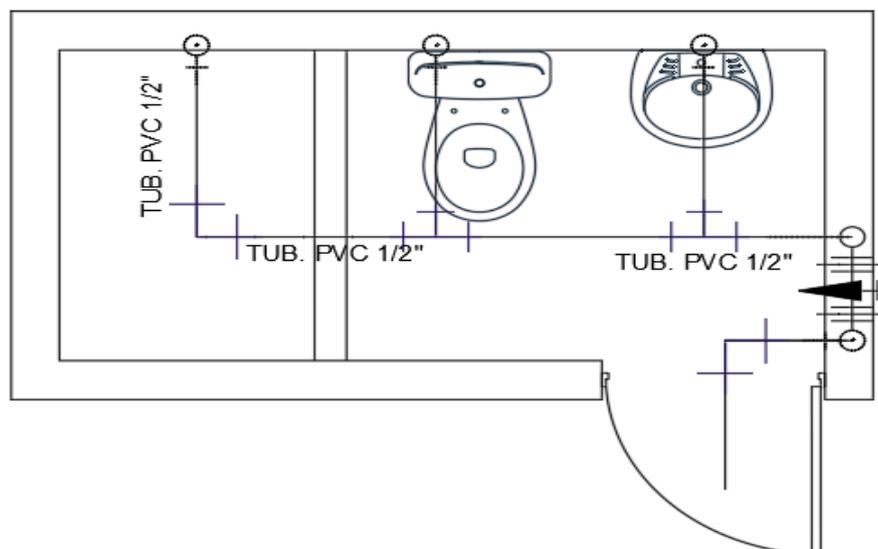
Para realizar este tipo de comparación el cual permitiera contrastar la parte económica al usar un sistema u otro, se optó por realizar un comparativo de precios entre el PVC y el polipropileno en el quinto piso de aula taller de instalaciones hidráulicas y sanitarias de la EPIS – UNASAM (medio baño), ya que como se observó en gráficos anteriores es en estas edificaciones donde es más usado el polipropileno en las instalaciones sanitarias interiores.

En las siguientes tablas comparativas se observa este tipo de análisis

### ANÁLISIS COMPARATIVO CONSIDERANDO LLAVES DE BOLA

Para este análisis se consideró usar llaves de bola, las cuales requieren nichos, para observar a cuánto asciende el precio.

*Figura n° 20:* Instalación de medio baño.



**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla n° 6: Costos de los materiales polipropileno agua fría.

<b>POLIPROPILENO</b>			
<b>(medio baño) instalaciones sanitarias interiores agua fría</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>V. Unit.</b>	<b>Total</b>
12	TB 20mm R3 PN-10	2.94	35.28
8	Codo 20x90 fusión PP R-3	0.87	6.96
3	Codo 20x1/2 HI R.Met R-3	5.54	16.62
3	Tee 20x20 fusion PP R-3	1.09	3.27
1	LL.Bola 20m/m cuerpo Met FUS/FUS	34.34	34.34
2	Union fusion he 20x1/2 r-3	1.25	2.5
1	Copla 20 fusión pp r-3	0.71	0.71
1	Maq.fusiotherm 800w c/caja	412.44	412.44
3	Tapón PVC ø 1/2"	1	3
1	Llave de ducha	60	60
<b>TOTAL</b>			<b>575.12</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla n° 7: Costos de los materiales PVC agua fría.

<b>PVC</b>			
<b>(medio baño) Instalaciones sanitarias interiores agua fría</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>V. Unit.</b>	<b>Total</b>
12	Tubo 1/2" pvc c-10	2	24
8	Codo 90x1/2"	1	8
3	Codo 90x1/2" fg	2	6
7	Adaptador 1/2"	1	7
3	Tee 1/2" pvc	1	3
1	Llave esférica 1/2"	35	35
2	Unión universal 1/2" fg	5	10
1	Pegamento	18	18
1	Limpiador PVC tuberías	15	15
1	Cinta teflón	1	1
1	Hoja de sierra	5	5
2	Niples de 1/2"	2	4
3	Tapón pvc ø 1/2"	1	3
1	Llave de ducha	60	60
<b>Total</b>			<b>199</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

# **CAPÍTULO IV**

# **DISCUSIÓN**

#### **IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

- En los últimos años el uso de tubería PVC para abastecimiento de agua ha mostrado un comportamiento con tendencias crecientes ya que la tubería rígida de PVC muestra grandes beneficios en comparación a las instalaciones tradicionales.
- El coeficiente de rugosidad absoluta para el polipropileno es de 0.007mm, y al compararlo con el coeficiente de rugosidad absoluta del PVC, el cual es 0.0015mm, podemos concluir que el PVC es más liso que el PP-R; pero ya de por sí ambos valores son muy bajos, por lo que podemos decir que la pérdida de carga por tuberías son similares para ambos sistemas.
- El mantener en condiciones “funcionales” las redes de distribución de agua en edificaciones, resulta molesto y en muchos de los casos, el recurso económico que se aplica no es para mejorar el sistema de distribución, sino para mantenerlo en condiciones no óptimas. Si además consideramos que los recursos disponibles para el mantenimiento y renovación de las tuberías resulta escaso, es imprescindible optimizar los recursos y para ello, es necesario contar con el mayor número de variables que intervienen en el comportamiento de las tuberías que conforman el sistema de distribución, es decir, los factores que influyen en el deterioro de las mismas.
- Las redes de distribución de agua en edificios verticales se deterioran tanto estructural como funcionalmente, por lo que los índices de rotura se incrementan, disminuyendo la capacidad hidráulica y afectando la calidad del agua. Como mencionamos, la restricción de los recursos hace que para los planificadores y quienes adoptan decisiones, sea primordial buscar un adecuado balance de costes- beneficios en la aplicación de estrategias de renovación y rehabilitación.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES**

## V. CONCLUSIONES

- Los objetivos establecidos al principio del proyecto se alcanzaron de manera satisfactoria.
- Se logró implementar un sistema de abastecimiento de agua en medio baño para edificios verticales en la ciudad de Huaraz, el módulo de la tesis se instaló en el laboratorio de instalaciones sanitarias en edificaciones de la escuela de ingeniería sanitaria de la UNASAM.
- Si consideramos las facilidades constructivas entre el PVC y PP-R, podemos concluir que el PP-R ofrece mayores facilidades constructivas, debido a su mayor resistencia y flexibilidad; las cuales evitan roturas y daños en las tuberías, si agregamos a ello la larga vida útil de las tuberías de PP-R (50 años), podemos concluir que las tuberías de PP-R ofrecen mejores características constructivas y mayor durabilidad en el tiempo que las tuberías de PVC.
- Costos de tuberías y accesorios se encuentran muy a la par entre ambos sistemas PP-R y PVC, hasta 1" – 1 ¼" incrementándose los costos a partir de 1 ½", por lo que su aplicación es viable en los sistemas de instalaciones interiores en edificaciones; ya que en estas se encuentra este rango de diámetros.

**CAPÍTULO VI**  
**RECOMENDACIONES**

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Tener mucho cuidado en el manejo del termofusor por que este aparato trabaja a elevadas temperaturas, es obligatorio utilizar lentes de protección, guantes de seguridad (Equipos de protección personal).
- En la medida de lo posible emplear manómetros diferenciales o de mayor precisión que los empleados en el desarrollo de este ensayo para obtener resultados más representativos, aunque eso implique un mayor costo del equipo de prueba.
- La realización de un buen purgado de la batería de prueba antes de su puesta en marcha ayuda a tener valores más correctos en cuanto a la determinación de las capacidades hidráulicas de las tuberías (Velocidad, Caudal, etc.) Determinación de las pérdidas de carga en accesorios y tubería.

# **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## VII. REFERENCIAS

*Fidias G. Arias, “El proyecto de investigación guía para su elaboración” 3ra edición, Episteme Caracas República Bolivariana de Venezuela, 1999.*

*Virginia A. Casanova A, “Análisis comparativo entre polifusión y cobre para instalaciones de agua potable intradomiciliaria”, universidad austral de Chile, facultad de ciencias de la ingeniería escuela de construcción civil, 2005.*

*José Pedro Arturo Forno Martinic, “Impacto de la utilización de nuevas tecnologías y materiales en los plazos y costos de construcción” universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería civil, 2010.*

*Fabian Janampa, Cesar Ying y Sandoval Vilcapoma, Oswar Edilberto, “Análisis comparativo Técnico – Económico entre el sistema convencional (tuberías Pvc) y el sistema de termofusion (tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la Región de Lima” Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima, Perú, 2013.*

*Cristhian Guanilo-Briones, “Estudio de los procesos de electrofusión y termofusión en unión de tuberías de hdpe en una refinería”, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú, 2017.*

*Rebeca Landeau, “Elaboración de trabajos de investigación”, Alfa, Venezuela, 2007.*

*Reglamento nacional de edificaciones, Normas Técnicas I. S. 0.10 Instalaciones sanitarias para edificaciones. 2006.*

*Roberto Xavier Ramírez Aguilar, “tuberías de polietileno de alta densidad*

*resistentes al impacto (pe100-rc) destinadas al transporte, distribución y servicio de agua potable”, escuela superior politécnica del litoral, facultad de ingeniería en ciencias de la tierra Guayaquil –Ecuador, 2015.*

*Daniel Duran Soto, “proyecto para distribuir agua potable en conjuntos habitacionales utilizando tubo PVC (policloruro de vinilo)” instituto politécnico nacional escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad Azcapotzalco, México D.F, 2012.*

**ANEXO**

## USOS Y VENTAJAS DE LAS TUBERÍAS DE PP-R O POLIPROPILENO RANDOM

Las tuberías de PP-R (polipropileno random) ofrecen muchas ventajas y en la actualidad se usan por ejemplo en la instalación de calderas, conexiones de radiadores y sistemas de calefacción de energía solar, cada vez es más común verlas en instalaciones de hogares particulares y en todo tipo de edificios como pueden ser hospitales, colegios, hoteles, fabricas, etc. ya que son ideales para el transporte tanto de agua fría como caliente.

A continuación, os detallaremos algunas de estas ventajas y sus características:

- Son idóneas para el transporte tanto de agua fría como caliente.
- Excelente aislamiento térmico y escasa dispersión térmica.
- Gran resistencia a las altas temperaturas.
- Altos índices de soporte a alta presión.
- Larga vida útil a pleno rendimiento, estimada en más de 50 años.
- Las tuberías de PP-R son además muy elásticas y tienen una enorme resistencia al impacto.
- Aislamiento acústico y térmico.
- Escasa pérdida de temperatura mientras se produce el transporte del líquido.
- Poseen un interior totalmente liso, lo que favorece una escasa pérdida de agua.
- Garantizan la atoxicidad
- Impide el crecimiento de microorganismos que puedan comprometer la potabilidad ni la salubridad del agua.
- No se forma en ellas corrosión.
- La barrera ante la corrosión impide que, incluso en el transporte de líquidos y sustancias alcalinas o ácidas, o que presenten una tasa elevada de cloro o hierro, el agua siga conservando sus propiedades.
- Tampoco conducen la electricidad, lo que hace imposible que padezca los efectos de corrientes eléctricas parásitas.

Su instalación es limpia, sencilla y poco costosa, puesto que los tubos pesan poco y no hay que realizar un fuerte desembolso, ni en su transporte ni el número de operarios que hacen falta para manejarla.

Soldadura del PP-R.

Igual que ocurre con otros termoplásticos, el PP-R puede soldarse básicamente de

tres tipos distintos, soldadura a testa (o soldadura tope), Soldadura socket (o por enchufe) y soldadura por electrofusión.

Como ya conocéis, la soldadura a tope es aquella que suelda los tubos (cara a cara) y no necesita accesorios adicionales para hacer esta unión. Este tipo de soldadura es más habitual utilizarla sobre todo en diámetros grandes, a partir de 140 o 160mm.

La soldadura socket sea posiblemente la más utilizada en la soldadura de PP-R, sobretodo hasta diámetro 125, ya que los accesorios que se utilizan no son demasiado caros y la soldadura es más rápida y fácil de hacer.

La soldadura por electrofusión es el tipo de soldadura que quizá menos se utilice en este momento, pero no por ello deja de ser una soldadura de total garantías, como sabéis, para este tipo de soldadura necesitamos manguitos y accesorios de electrofusión.

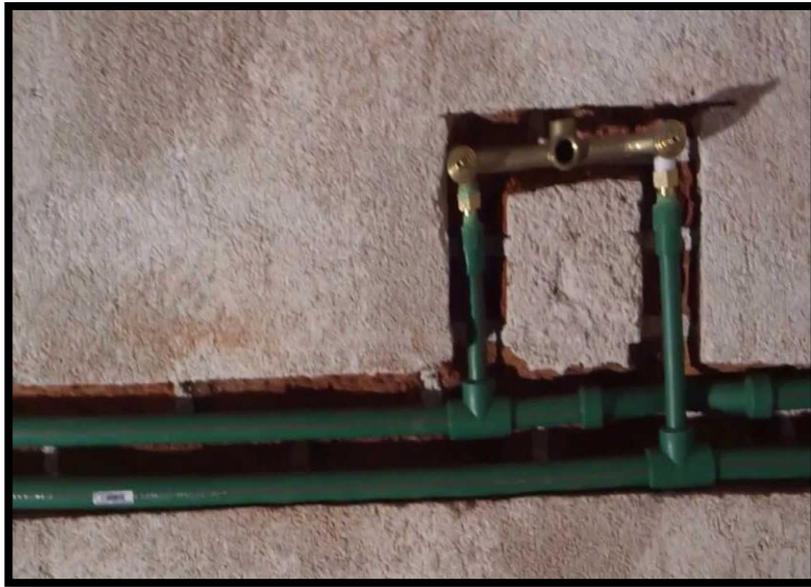
Si las soldaduras están bien hechas y se han respetado todos los parámetros normas que se indican en cada una de ellas, podemos estar seguro que cualquiera de las tres ofrece todas las garantías para tener unas instalaciones duraderas en el tiempo, y que no habrá ningún problema en un futuro inmediato.

#### DESVENTAJAS.

- No resiste al fuego.
- No es resistente a los ácidos oxidantes, cetonas y a los hidrocarburos clorados.



INSTALACIONES SANITARIAS EN TECHO DE UNA EDIFICACIONES PARA AGUA FRIA CON TUBERIA DE POLIPROPILENO (PPR).



INSTALACIONES SANITARIAS EN BAÑO PARA AGUA FRIA CON TUBERIA DE POLIPROPILENO (PPR).



INSTALACIONES SANITARIAS EN BAÑO PARA AGUA FRIA CON TUBERIA DE POLIPROPILENO (PPR).



INSTALACIONES SANITARIAS EN EDIFICACIONES CON AGUA FRIA CON TUBERIA DE PVC.

## NORMAS.

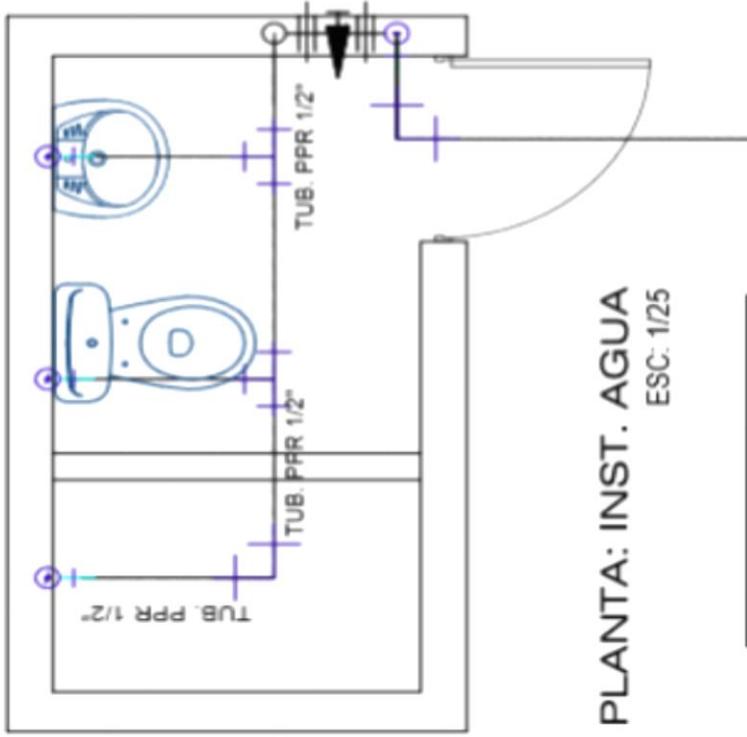
### NORMA TÉCNICA NACIONAL.

No se cuenta con normativa técnica nacional (Normas NTP) con respecto a las tuberías de polipropileno unidas por termofusión.

### NORMA TÉCNICA INTERNACIONAL.

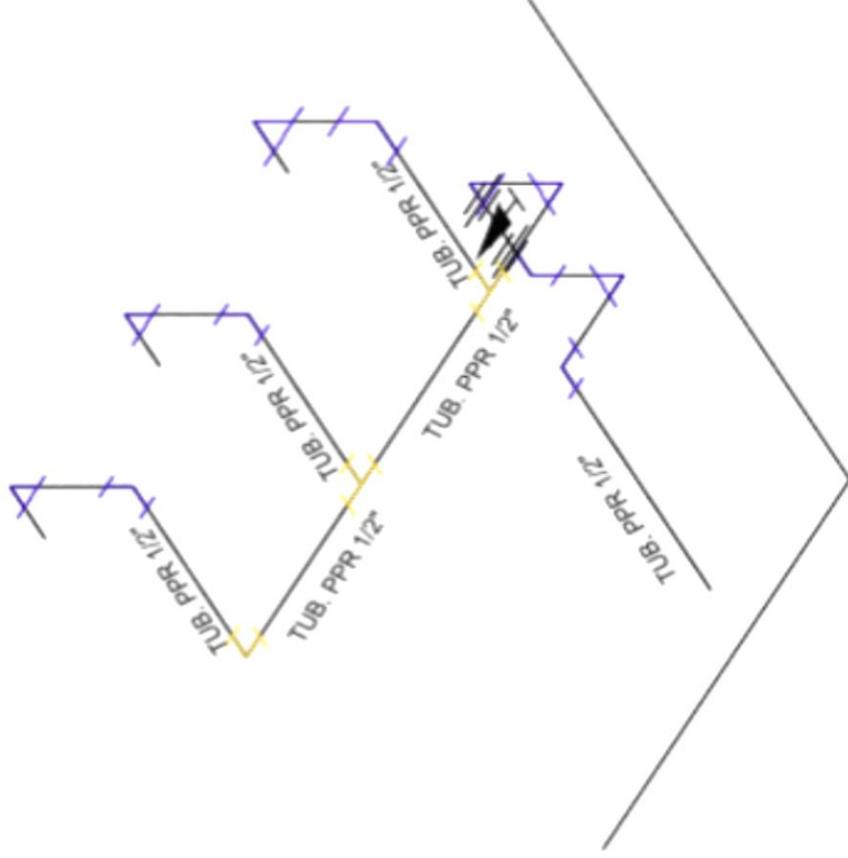
- Norma DIN-8077, relacionado con las dimensiones y presiones.
- Norma DIN-8078, relacionada con las consideraciones de los ensayos a las tuberías PP-R.
- Norma DIN-16962, relacionada con dimensiones y ensayos de los accesorios.
- Norma ISO 15874- 1, 2, 3,5 y 7, relacionada con tuberías y accesorios de PP-R.





**PLANTA: INST. AGUA**  
ESC: 1/25

LEYENDA AGUA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	TUBERIA PARA AGUA FRIA
	TUBERIA PARA AGUA CALIENTE
	VALVULA DE INTERRUCCION
	COUDO DE 90°
	COUDO DE 45° EN SUBIDA/BAJADA
	TEE EN SUBIDA
	TEE
	TEE EN BAJADA



**ISOMETRICO: INST. AGUA CON TUBERIA PPR**  
ESC: 1/25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO	ESCALA	1:25
FACULTA	CIENCIAS DEL AMBIENTE	FEDINA
ESQUELA	INGENIERIA SANITARIA	NOV. 2018
ASESORA	ING. JUDITH ISABEL FLORES ALBORNOZ	PLANO
TITULO DE LA TESIS	EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL (TUBERIAS PVC) Y SISTEMA TERMOFUSION (TUBERIAS DE POLIPROPILENO) EN INSTALACIONES INTERIORES DE AGUA POTABLE PARA EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE HUARAZ, ANCASH 2016	
<b>P-2</b>		

## MOMENCLATURA DE TERMINOS

<b>N°</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>SIGLAS</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
1	Tubería PVC	PVC	Policloruro de vinilo.
2	Tubería CPVC	CPVC	Policloruro de vinilo clorinado.
3	Norma ASTM	ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Norteamericana de Pruebas y Materiales).
4	Resina plástica VCM	VCM	Monómero de cloruro de vinilo.
5	Serie de tubería SDR	SDR	Standard Dimension Ratio (Razón dimensional estandar).
6	El sistema polipropileno PP-R	PP-R	Polipropileno copolímero random.
7	Tubería HDPE	HDPE	High Density Polyethylene (polietileno de alta densidad).
8	Código tubería ASME	ASME	American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).
9	Tubería PE	PE	Polietileno.
10	Presión en PSI	PSI	Pounds per Square Inch (Libras por pulgada cuadrada).
11	Norma ISO	ISO	International Standards Organization (Organización Internacional de Normas)
12	Presión de trabajo PN	PN	Presión nominal.
13	Norma DIN	DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización).
14	Tubería F <sup>o</sup> G <sup>o</sup>	F <sup>o</sup> G <sup>o</sup>	Fierro galvanizado.



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,  
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.  
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

**1. Datos del Autor:**

Apellidos y Nombres: ...SHUAN TOLEDO FREDY JORGE.....  
Código de alumno:.....97.3509.8.AH.....Teléfono:.....942160082.....  
Correo electrónico:.....fredyshuan2015@gmail.com.....DNI o Extranjería:.....40862344.....

**2. Modalidad de trabajo de investigación:**

( ) Trabajo de investigación ( ) Trabajo académico  
( ) Trabajo de suficiencia profesional (X) Tesis

**3. Título profesional o grado académico:**

( ) Bachiller (X) Título ( ) Segunda especialidad  
( ) Licenciado ( ) Magister ( ) Doctor

**4. Título del trabajo de investigación:**

EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DEL SISTEMA CONVENCIONAL (TUBERIA PVC) Y EL SISTEMA TERMOFUSION (TUBERIAS DE POLIPROPILENO) EN INSTALACIONES INTERIORES DE AGUA POTABLE PARA EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE HUARAZ, ANCASH 2016 .....

**5. Facultad de:**..... **CIENCIAS DEL AMBIENTE** .....

**6. Escuela, Carrera o Programa:**..... **INGENIERIA SANITARIA** .....

**7. Asesor:**

Apellidos y Nombres: JUDITH ISABEL FLORES ALBORNOZ. Teléfono: .....964467006.....  
Correo electrónico:.....ing.yifa@gmail.com.....DNI o Extranjería:.....40034758.....

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

**Firma:** .....

**D.N.I.:** 40862344

**FECHA:**

07 / 12 / 2018