

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



“ANALISIS COMPARATIVO TECNICO – ECONOMICO ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL (TUBERIAS PVC) Y EL SISTEMA DE TERMOFUSION (TUBERIAS DE POLIPROPILENO) EN INSTALACIONES INTERIORES DE AGUA POTABLE PARA EDIFICACIONES EN LA REGION DE LIMA”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

FABIAN JANAMPA, CESAR YING

SANDOVAL VILCAPOMA, OSWAR EDILBERTO

LIMA, PERÚ

2013

***AGRADECEMOS A TODAS LAS PERSONAS
QUE NOS BRINDARON SU AYUDA
E HICERON POSIBLE ESTE PROYECTO***

RESUMEN

La presente tesis se encarga de comparar el sistema convencional PVC con el nuevo sistema, en el medio peruano, 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 el Perú, una de estas investigaciones fueron realizadas en Chile 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.

IV

INDICE

TEMA	Pág.
DEDICATORIA	II
RESUMEN	III
INDICE	IV
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	2
2.1. OBJETIVOS	2
2.1.1. OBJETIVO PRINCIPAL	2
2.1.2. OBJETIVO SECUNDARIOS	2
2.2. ANTECEDENTES	2
2.3. JUSTIFICACIÓN	3
2.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.5. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. INFORMACIÓN SOBRE EL MATERIAL	6
3.1.1. HISTORIA DEL POLIPROPILENO	6
3.1.2. DEFINICIÓN DEL POLIPROPILENO	6
3.1.3. POLIPROPILENO COPOLÍMERO RANDOM	8
3.1.4. PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO COPOLIMERO RANDOM TIPO 3	9
3.1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA USADA EN LAS TUBERÍAS DE POLIPROPILENO	10
3.1.6. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE PP-R100	12
3.1.7. APLICACIONES DE LAS TUBERÍAS SEGÚN SU CLASE	13
3.1.8. APLICACIONES EN LOS ACCESORIOS	16
3.2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS IMPORTANTES	18
3.2.1. TERMOFUSIÓN	18
3.2.2. ELECTROFUSIÓN	19
3.2.3. MAQUINA TERMOFUSORA	19
3.2.4. PROCESO DE TERMOFUSIÓN	21

3.3. REALIDAD SOBRE LAS TUBERÍAS DE POLIPROPILENO	25
3.3.1 TUBERÍAS DE POLIPROPILENO EN EL MUNDO	25
3.3.2. TUBERÍAS DE POLIPROPILENO EN EL PERÚ	25
3.3.3. ANÁLISIS DE PROYECTOS BASADOS EN POLIPROPILENO	26
3.3.4. ANÁLISIS DE PROYECTOS EJECUTADOS CON EL POLIPROPILENO	28
3.3.5. ANÁLISIS DE TIPOS DE PROYECTOS DONDE SE OBSERVA AL PP-R COMO MATERIAL ESPECIFICADO	29
3.3.6. SITUACIÓN ACTUAL DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN	30
3.4. MARCO LEGAL	31
3.4.1. NORMA TÉCNICA NACIONAL	31
3.4.2. NORMA TÉCNICA INTERNACIONAL	31
3.4.3. EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE TUBERIAS DE PP-R	32
3.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MATERIAL	32
3.5.1 LAS PRINCIPALES VENTAJAS DEL MATERIAL	32
3.5.2. LAS PRINCIPALES DESVENTAJAS DEL MATERIAL	34
4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	36
5. ANALISIS TÉCNICO COMPARATIVO	37
5.1. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS	37
5.2. COMPARATIVO DE DIÁMETROS INTERNOS	39
5.2.1. ANÁLISIS COMPARATIVO PARA DIÁMETROS EN INSTALACIONES SANITARIAS DE INTERIORES (PP-R PN10)	43
5.2.2. DIÁMETROS INTERNOS PARA INSTALACIONES DE ALIMENTADORES DE AGUA Y/O REDES EXTERNAS (PP-R PN10)	46
5.2.3. ANÁLISIS COMPARATIVO PARA DIÁMETROS EN INSTALACIONES SANITARIAS DE INTERIORES (PP-R PN16)	47
5.2.4. DIÁMETROS INTERNOS PARA INSTALACIONES DE ALIMENTADORES DE AGUA Y/O REDES EXTERNAS (PP-R PN16)	50
5.3. COMPARATIVO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS	51
5.4. COMPARACIÓN DE INSTALACIONES	54
5.4.1. INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE PVC	54

VI

5.4.2. INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE POLIPROPILENO	55
5.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL POLIPROPILENO PARA INSTALACIONES SANITARIAS DE AGUA FRÍA Y CALIENTE	57
5.5.1. TUBERÍAS Y CONEXIONES PARA AGUA FRÍA	57
5.5.2. TUBERÍAS Y CONEXIONES PARA AGUA CALIENTE	57
5.5.3. VÁLVULAS DE CONTROL DE AGUA FRÍA Y CALIENTE	57
5.5.4. MANO DE OBRA	58
5.5.5. TAPONADO DE SALIDAS DE AGUA FRÍA Y CALIENTE	58
5.5.6. PRUEBA HIDRÁULICA	58
5.6. REPARACIONES	59
5.6.1. TARUGOS TERMOFUSIONADOS	60
5.6.2. REPARACIÓN POR COPLAS FUSION	63
5.6.3. REPARACIÓN ELECTROFUSIÓN	64
5.6.4. FALLAS OCASIONADAS POR EL EQUIPO TERMOFUSOR	67
6. ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO	68
6.1. CONSIDERACIONES PARA COMPARATIVOS ECONÓMICOS	68
6.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN EDIFICIO TÍPICO	70
6.2.1 ANALISIS COMPARATIVO CONSIDERANDO LLAVES MANILLA AZUL	71
6.2.2 ANALISIS COMPARATIVO CONSIDERANDO LLAVES DE BOLA	75
7. PRUEBAS DE LABORATORIO	80
7.1. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDA DE CARGA EN ACCESORIOS Y TUBERÍA	80
7.2. OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS	81
7.3. FUNDAMENTO TEÓRICO	81
7.3.1. PÉRDIDA DE CARGA	81
7.3.2. PÉRDIDA DE CARGA EN CONDUCTO RECTILÍNEO	81
7.3.3. PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS	82
7.3.4. PERDIDAS DE CARGAS EN DINAMICA DE FLUIDOS	83
7.3.5. PERDIDAS DE CARGAS SECUNDARIAS	86
7.3.6. ECUACIÓN DE BERNOULLI	86
7.3.7. <i>DARCY-WEISBACH (1875)</i>	93
7.3.8. HAZEN-WILLIAMS (1905)	94

VII

7.4. METODOLOGÍA A EMPLEAR	96
7.4.1. EQUIPO DE PRUEBA	96
7.5. CONSIDERACIONES PARA LAS PRUEBAS	106
7.5.1 CUMPLIMIENTO DE LAS BASES DEL PRINCIPIO DE BERNOULLI	106
7.5.2. CONDICIONES ESTABLECIDAS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO, EMPLEANDO EL PRINCIPIO DE BERNOULLI	107
7.6. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO A SEGUIR	111
7.7. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA DE 16 mm	115
7.8. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA DE 20 mm	118
7.9. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA DE 25 mm	119
7.10. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA DE 32 mm	121
7.11. PRUEBA DE LABORATORIO CON CODOS DE 20 mm	123
7.12. PRUEBA DE LABORATORIO CON TEE DE 20 mm	124
7.13. PRUEBA DE LABORATORIO CON TEE DE 20 mm CON REDUCCIÓN 25 X 20 mm	126
7.14. PRUEBA DE LABORATORIO CON TEE DE 25 mm CON REDUCCIONES DE 25 X 20 mm	127
7.15. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE 16 mm PP-R	128
7.16. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE 20 mm PP-R	128
7.17. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE 25 mm PP-R	129
7.18. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE 32 mm PP-R	130
7.19. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE BOLA DE 20 mm	130
7.20. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA ESFÉRICA PVC	131
7.21. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA PVC PESADA DE ½ PULGADA	132
7.22. PRUEBA DE LABORATORIO TUBERÍA A PRESIÓN DE AIRE	133
8. MEMORIA DE CÁLCULO	134

VIII

8.1. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA 16mm PP-R	134
8.2. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA 20mm PP-R	137
8.3. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA 25mm PP-R	140
8.4. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA 32mm PP-R	143
8.5. CALCULO COEFICIENTE DE PERDIDA DE CARGA PARA CODOS 90° DE 20mm	147
8.6. CALCULO COEFICIENTE DE PERDIDA DE CARGA PARA TEE DE 20mm	151
8.7. CALCULO COEFICIENTE DE PERDIDA DE CARGA LLAVE DE PASO METÁLICA 16mm	157
8.8. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE DE PASO METÁLICA 20mm	161
8.9. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE DE PASO METÁLICA 25mm	165
8.10. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE DE PASO METÁLICA 32mm	169
8.11. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE DE BOLA 20mm	173
8.12. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE ESFÉRICA ½"	177
8.13. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA PVC ½"	181
8.14. COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA AL AIRE EN LAS TUBERÍAS DE PP-R 20mm	184
8.15. ANÁLISIS DE REDUCCIONES - REDUCCIÓN ANTES DEL ACCESORIO: TEE 20mm + 01 REDUCCIÓN DE 25X20mm.	185
8.16. ANÁLISIS DE REDUCCIONES - REDUCCIÓN DESPUÉS DEL ACCESORIO: TEE 25mm + 02 REDUCCIONES DE 25X20mm.	186
9. RESULTADOS	187
9.1. ANALISIS HIDRAULICO TUBERIAS	187
9.2. ANALISIS HIDRAULICO VALVULAS DE PASO	187
9.3. ANALISIS HIDRAULICO ACCESORIOS	188
9.4. ANALISIS CON AIRE COMPRIMIDO	189
9.5. ANÁLISIS REDUCCIONES EN ACCESORIOS	189

10. CONCLUSIONES	190
11. RECOMENDACIONES	194
12. FUENTES DE INFORMACIÓN	195
13. ANEXOS	197

VIDEOS DE LAS PRUEBAS HIDRÁULICAS REALIZADAS.

INFORME PRUEBA DE GASES CONTAMINANTES OCASIONADOS POR EL PROCESO DE TERMOFUSIÓN.

CÁLCULO HIDRÁULICO DE LOS DEPARTAMENTOS TÍPICOS ANALIZADOS, CONSIDERANDO LLAVES ESFÉRICAS EN EL SISTEMA PVC Y LLAVE DE PASO METÁLICAS EN EL SISTEMA PP-R.

FICHA TÉCNICA DE LAS LLAVES DE PASO METÁLICAS Y VÁLVULAS DE BOLA CON ADAPTADORES PP-R.

GUÍA SOBRE LAS CONSECUENCIAS DE LOS MALOS PROCEDIMIENTOS DE TERMOFUSIÓN.

PROTOCOLOS DE PRUEBA HIDRÁULICA REALIZADOS DURANTE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El sector construcción en el Perú; ha crecido alrededor del 10% a inicios del 2012 y del 2013, al 2014 está previsto un crecimiento en un 14% donde se registrará una participación de 6.5% en el Producto Bruto Interno (PBI), según la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). Siendo el sector inmobiliario el más importante en estas cifras lo que involucra directamente a las instalaciones sanitarias interiores. Ante la creciente demanda del mercado, se tiene la necesidad de implementar nuevas tecnologías aplicadas a las instalaciones sanitarias; las cuales permitan cumplir los estándares técnicos con mayores prestaciones y menores costos, logrando así ser más rentables y eficientes.

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 termofusión (Tuberías de Polipropileno) y sobre el cual, no se han realizado un análisis detallado para determinar sus bondades.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. OBJETIVO PRINCIPAL

- Determinar que el sistema de termofusión, tuberías de polipropileno, cuyas siglas son PP-R, ofrecen mayores ventajas técnicas y económicas; que el sistema convencional, tuberías de PVC, para las instalaciones sanitarias interiores.

2.1.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Realizar un laboratorio de pruebas donde se pueda realizar un análisis hidráulico sobre las tuberías de polipropileno.
- Determinar la viabilidad del empleo de las tuberías de PP-R para las distintas construcciones que se realizan en nuestro país.

2.2. ANTECEDENTES

Según los diversos datos recopilados a través de los medios de comunicación y de entidades financieras reconocidas, el sector construcción en el Perú; se espera un crecimiento de 14% en el año 2013 y registrará una participación de 6.5% en el Producto Bruto Interno (PBI), 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. 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.

2.3. JUSTIFICACION

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.

2.4. 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 la 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 las codos y/o tees en las cuales se realizara la conexión de los aparatos sanitarias, etc.

Todos estos problemas se perciben, 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 el Perú lo amerita, ya que de esta manera se podrá contar con mejores herramientas para la toma de decisiones.

2.5. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis planteada para la realización de la tesis es:

- El sistema de termofusión es hasta un 50% más rentable económicamente que el sistema convencional.
- Las comparaciones técnicas entre ambos sistemas dan resultados similares.

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. INFORMACIÓN SOBRE EL MATERIAL

3.1.1. HISTORIA DEL POLIPROPILENO

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.

3.1.2. 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.

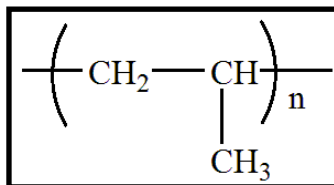


Figura n°1: Compuesto del Polipropileno

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_3). 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-atáctico: Material completamente explosivo, tiene muchos riesgos de provocar una explosión.

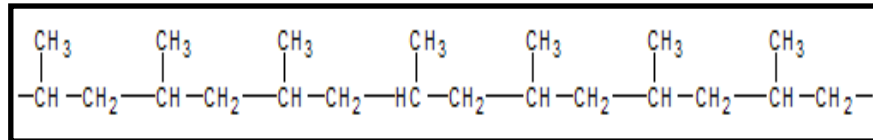


Figura n° 2: Compuesto del Polipropileno Isotáctica

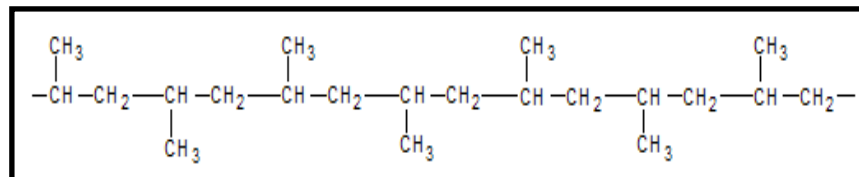


Figura n°3: Compuesto del Polipropileno Sindiotáctica

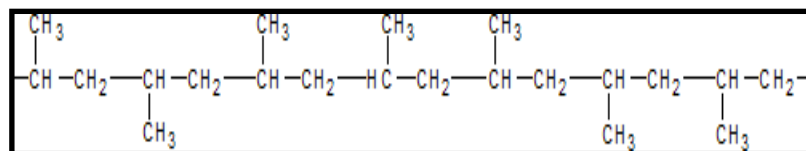


Figura n°4: Compuesto del Polipropileno Atáctica

3.1.3. POLIPROPILENO COPOLÍMERO RANDOM (PP-R)

En la búsqueda de un sistema y producto confiable para la conducción de agua y otros fluidos, capaz de soportar altas temperaturas, presiones, con uniones de tubos y accesorios sin filtraciones o escapes, investigadores alemanes desarrollaron un material llamado Polipropileno Copolímero Random (PP-R o Tipo3).

Este material, en conjunto con su sistema de unión, llamada termo-fusión (fusión molecular) en el que las piezas se fusionan, dan como resultado un sistema de tuberías para conducción de fluidos a altas temperaturas y presiones, bajo las condiciones más exigentes, garantizando una vida útil de hasta 50 años de uso continuo. El polipropileno Copolímero Random, es de un alto peso molecular, y su estructura molecular asegura una gran resistencia mecánica y de larga vida útil.

El PP-R posee la mayor resistencia al impacto de todos los termoplásticos



Figura n°5: La materia prima PP-R consta de esferas cristalinas

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

3.1.4. 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, Alemania).
- Son malos conductores eléctricos, lo que evita el riesgo de perforaciones del tubo y accesorios a causa de corrientes galvánicas.

3.1.5. 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 Ramdon (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 (σ 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).

A continuación se muestra un cuadro con los valores obtenidos para las dos clases de PP-R.

PP-R80			PP-R100		
Temperatura (C°)	Tiempo (años)	σ LCL (MPa)	Temperatura (C°)	Tiempo (años)	σ LCL (MPa)
20	50	8.26	20	50	10.1
60	50.3	2.08	70	53.1	3.21
95	3.02	1.55	95	3.19	2.73
110	1.0	1.34	110	1.06	2.25

Tabla n°1: Cuadro comparativo de Resistencia hidrostática de la materia prima PP-R80 y PP-R100 en tiempo extendido

De acuerdo a estos valores el PP-R100, utilizado para la elaboración de las tuberías, clasifica como grado 100 que representa la resistencia mínima requerida (MRS = 10 MPa, Minimum required Strenght), que se debe considerar en el diseño de tuberías para la conducción de agua a 20°C, **por un periodo de tiempo no inferior a los 50 años**. En el caso del PP-R80, el valor MRS= 8 MPa.

Mas importante aún de destacar es que el PP-R100, muestra resultados superiores a la norma en el ensayo realizado a una temperatura de 70°C, con un resultado de vidas útil de 53.1 años y un esfuerzo de 3.21 MPa; lo cual demuestra su idoneidad en el transporte de agua caliente.

Por lo anteriormente analizado puede concluir que las tuberías de PP-R100 son superiores a la primera generación de tuberías PP-R80. Por ello las tuberías PP-R100 son las que han sido tomadas como muestra para la realización de esta tesis debido a que cumplen las mejores características de duración hidrostática al transporte de agua fría y caliente, garantizando su vida útil de 50 años.

3.1.6. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE PP-R 100

- **Ausencia De Sarro**

La superficie interna de las tuberías, es lisa, evitando cualquier riesgo de incrustaciones o formación de sarro.

- **Baja Perdida Calórica**

Las tuberías de polipropileno son malos conductores de calor, lo que minimiza las pérdidas y además disminuye el riesgo de condensación.

- **Resistencia A Las Heladas**

La elasticidad de las tuberías, permite aumentar su sección si el líquido se congela en su interior.

- **Ideal Para Zonas Sísmicas**

Gracias a su alta flexibilidad y elasticidad, tienen excelente resistencia a movimientos sísmicos.

- **Atoxicidad Absoluta**

La materia prima con que se realizan las tuberías son perfectamente atóxicas y no transmiten olor, color ni sabor al líquido que transporta.

- **Ausencia De Corrosión**

Las tuberías de polipropileno resisten el agua dura, las sustancias ácidas y alcalinas.

- **Vida Útil**

Las tuberías tienen una vida útil superior a los 50 años, en función de la temperatura y presión de servicio.

- **Bajo Nivel De Ruido De Las Instalaciones**

La elasticidad y la absorción fónica de las tuberías evitan la propagación de ruidos y vibraciones por el paso de fluidos y golpes de ariete.

- **Resistencia A La Abrasión**

La elevada resistencia de las tuberías a la abrasión, permite velocidades de circulación elevadas sin producir problemas de erosión.

- **Resistencia a las corrientes galvánicas**

Las tuberías son malos conductores eléctricos, lo que evita el riesgo de perforaciones del tubo y accesorio a causa de corrientes galvánicas.

3.1.7. 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/pulg², 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/pulg², 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 instalar para sistemas de calefacción y en instalaciones industriales.

- **Serie 2.5 (PN20):** resiste hasta 290 lb/pulg², 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.

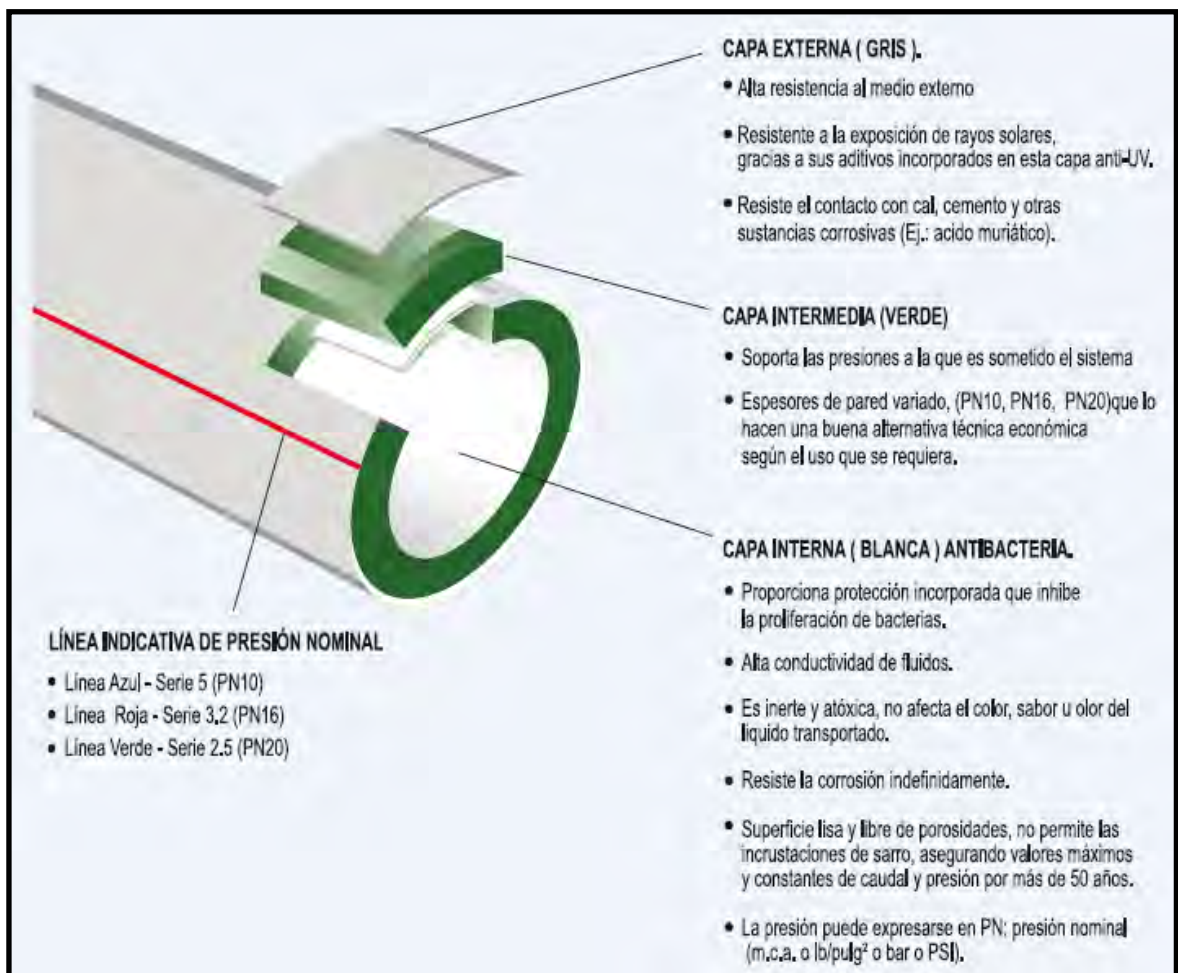


Figura n°6: Estructura Tri-Capa de las tuberías de PP-R100

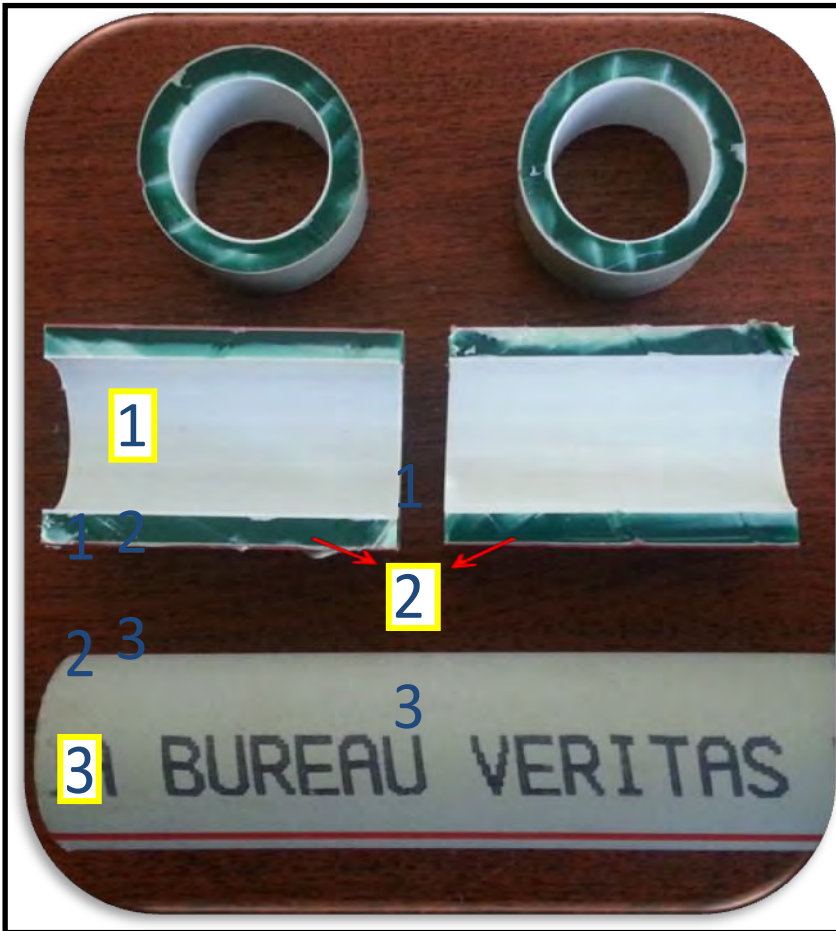


Figura n°7: Corte transversal y longitudinal de las tuberías PP-R100

1.- Capa Interna Antibacteriana - Evita la formación de hongos y Bacterias.

2.- Capa Intermedia de Polipropileno Copolímero Random PP-R100.

3.- Capa Externa con Aditivo Anti-UV, la cual lleva una línea indicativa de uso y la rotulación respectiva.

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.

Adicionalmente creemos por conveniente que deben llevar el nombre de la empresa certificadora, la cual de validez sobre la calidad del producto comercializado; cuando estas se distribuyan en países que no contemplan con normativa técnica nacional, para poder garantizar productos de buena calidad.

3.1.8. 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.

A continuación mostraremos la comparación en los tipos de accesorios empelados para los puntos de salida de agua en sistema PVC y PP-R.



Figura n°8: Punto de salida en sistema PVC

- Codo de F°G°
- Adaptador PVC
- Formador de Empaquetadura
- Cinta teflón
- Pegamento

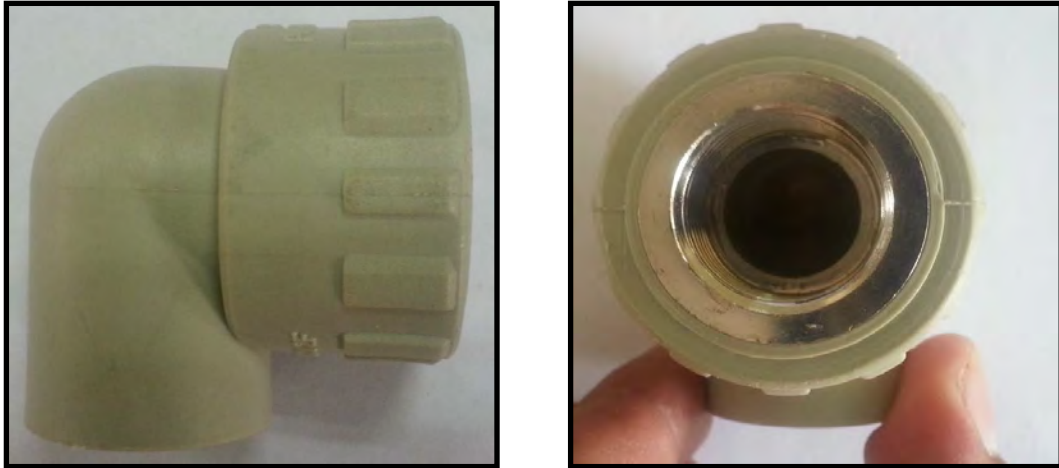


Figura n°9: Punto de salida en sistema PP-R: Codo de PP-R100 PN-20 + inserto metálico con proceso DZR Antideszincificación

También analizaremos la variedad de accesorios en los sistemas PVC y PP-R tomando como ejemplo las tees con salidas reducidas.



Figura n°10: Sistema PVC -Tee de ¾" con salida Lateral a ½" / PVC (se emplean 02 accesorios)

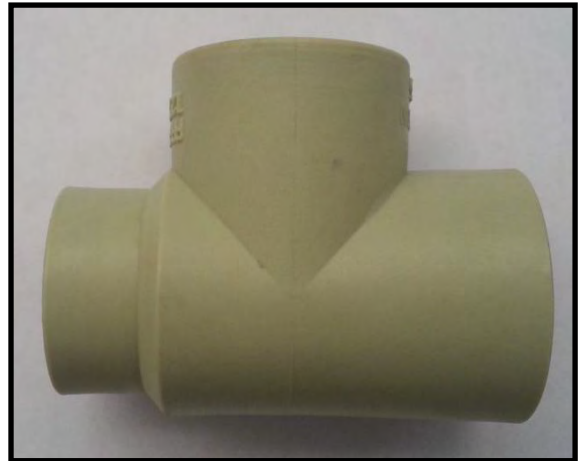


Figura n°11: Sistema PP-R- Tee de 25x25x20 PN-20 / PP-R100 (se emplea 01 accesorio)

Con los casos mencionados anteriormente podemos concluir que el sistema de tuberías de PP-R presenta mayor versatilidad, con respecto a los accesorios a emplear; lo cual está íntimamente ligado al rendimiento en la realización de las instalaciones sanitarias en obra, ya que partimos de dos principio fundamentales:

- Menos accesorios empelados (Por ejemplo en las Tee con reducción: se emplea 01 accesorio en lugar de 02), ahorramos en la compra de accesorios.
- No necesitar realizar empalmes roscados, ni uso de teflón y/o formador de empaquetadura; por ello menor empleo de horas hombre y menor costo por insumos adicionales.

Todo ello conlleva a un mejor rendimiento de horas hombre y un ahorro en la compra de insumos y accesorios, repercutiendo en mejoras económicas directas en la realización de las instalaciones sanitarias de interiores; empleando el sistema de PP-R en comparación al sistema de PVC.

3.2 DEFINICIONES Y CONCEPTOS IMPORTANTES

3.2.1. 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.

3.2.2. 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.

3.2.3. MAQUINAS TERMOFUSORA

La máquina termofosura 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 adquiera 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.



Figura n°12: Equipo de termofusión de 800 watts y accesorios para la termofusión



Figura n°13: Equipos y accesorios para la electrofusión

3.2.4. 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.

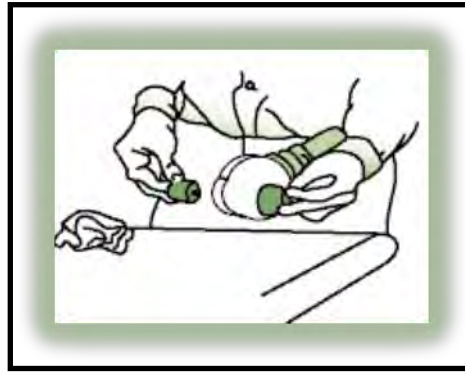


Figura n°14: Colocación de las boquillas o dados de termofusión.

- 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°15: Temperatura de la máquina termofusora.

- 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.

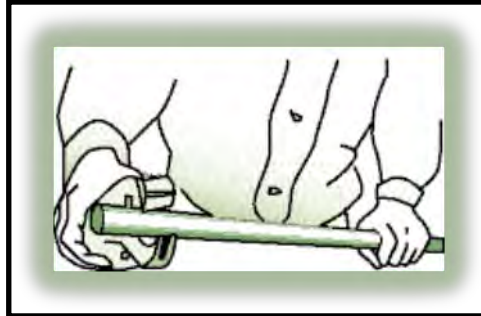


Figura n° 16 Cortado de la tubería de polipropileno.

- 4) Limpiar y secar totalmente el tubo y la conexión antes de proceder con la fusión.



Figura n° 17: Limpiado y secado de la tubería de polipropileno.

- 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".

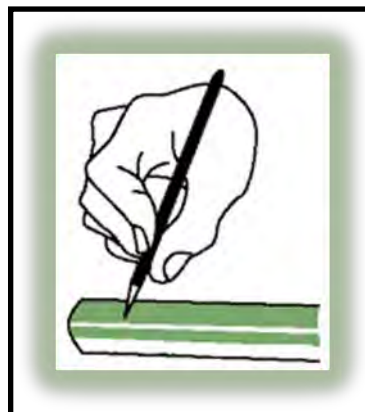


Figura n° 18: Marcado de la Tubería de polipropileno

- 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.



Figura n° 19: Introducción de las tuberías y accesorios a la termofusora

- 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.

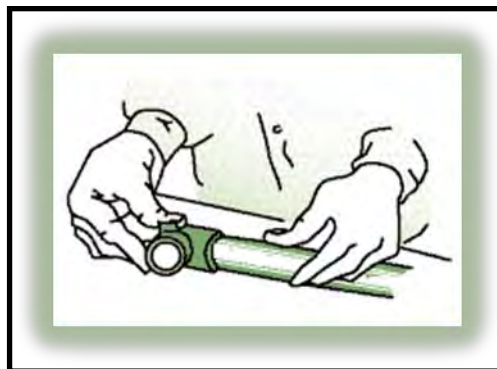


Figura n° 20: Unión de las partes después de alcanzar la temperatura adecuada.

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



Figura n° 21: Detener la introducción de la tubería después de alcanzar las marcas.

- 11) Cuando se haya suspendido el empuje, queda la posibilidad de realizar pequeños ajustes en la conexión durante 3 segundos.



Figura n° 22: Ajustar a conexión durante 3 segundos.

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

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.

Diametro Nominal(mm)	A.F (pulgadas)	A.C (pulgadas)	Tiempo de Calentamiento(s)	Tiempo de Insercción(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

Tabla n° 2: Tablas de calentamiento, insercción, enfriamiento y penetración según diámetros.

3.3. REALIDAD SOBRE LAS TUBERÍAS DE POLIPROPILENO

3.3.1 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 asenso cada vez mejorando la materia prima y agregando características como la protección contra rayos ultravioleta entre otros.

3.3.2. 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.

3.3.3. ANÁLISIS DE PROYECTOS BASADOS EN POLIPROPILENO

Debido a que el uso de las tuberías y accesorios basados en el polipropileno va en aumento, los proyectistas no solo recomiendan el material si no que proyectan los planos indicando al PP-R como un material necesario para la construcción en lugar del PVC. Para este análisis se tomó una muestra de datos de algunos proyectos en tres años consecutivos:

- En el año 2011 se analizaron 202 proyectos.
- En el año 2012 se analizaron 245 proyectos.
- En el año 2013 se analizaron 325 proyectos.

Donde se obtuvo los siguientes resultados.



Gráfico n° 1: Proyectos basados en polipropileno en el año 2011.

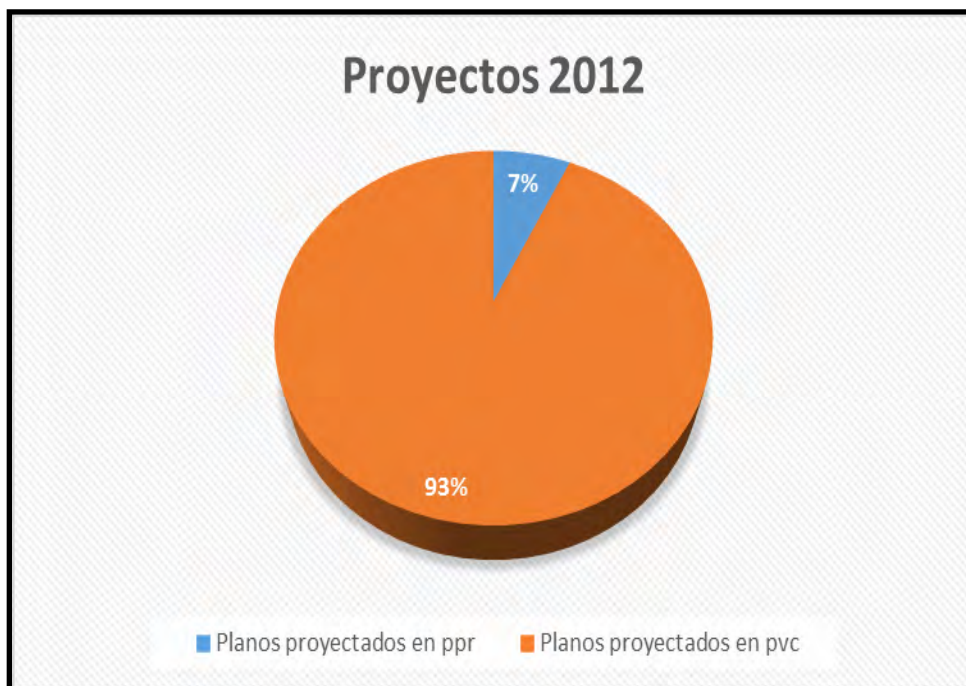


Gráfico n° 2: Proyectos basados en polipropileno en el año 2012.



Gráfico n° 3: Proyectos basados en polipropileno en el año 2013.

Como se observa, del año 2012 hasta el año 2013 se vio un incremento en la cantidad de planos donde se establece el polipropileno como material a emplear para ejecutar el proyecto.

3.3.4. ANÁLISIS DE PROYECTOS EJECUTADOS CON EL POLIPROPILENO

Este análisis consiste en observar cómo va el crecimiento del material en nuestro país. Como se observa, en el año 2013 es donde más construcciones utilizaron el polipropileno como material para las tuberías y accesorios de las instalaciones sanitarias.



Gráfico n° 4: Proyectos ejecutados con polipropileno en el año 2013.

3.3.5. ANÁLISIS DE TIPOS DE PROYECTOS DONDE SE OBSERVA AL PP-R COMO MATERIAL ESPECIFICADO

Este análisis consiste en observar que tipo de construcción es en la que se encuentra mayor presencia de las tuberías y accesorios de polipropileno.



Gráfico n° 5: Tipos de Proyectos ejecutados con polipropileno en el año 2012



Gráfico n° 6: Tipos de Proyectos ejecutados con polipropileno en el año 2013

Como se observa en los gráficos donde existe mayor presencia de polipropileno es en las edificaciones multifamiliares, siendo predominante en los años 2012 y 2013.

3.3.6. SITUACIÓN ACTUAL DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN.

El sector construcción crecerá 14% este año y registrará una participación de 6.5% en el Producto Bruto Interno (PBI), según lo estimado por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).

El gerente general de Ferias Multisectoriales, Rodolfo Zegarra, señaló, en ese sentido, que la locomotora de nuestra economía es el sector construcción por la cantidad de puestos de trabajo que genera, tanto directos como indirectos.

Resaltó que el sector construcción crece a pasos agigantados desde hace ocho años, a un ritmo de dos dígitos.

“Hace diez años en nuestro país no se construían más de 15 mil viviendas al año, pero hoy construimos más de 55 mil, de tal manera que el déficit habitacional de 100 mil viviendas anuales se reduce”, anotó.

Refirió que entre el 39 y 40 por ciento del país pertenece a la clase media y tiene recursos marginales que les permite acceder a créditos hipotecarios y a una vivienda decente.

En ese contexto, sostuvo que se está desarrollando una gran rueda de negocios nacional denominada Constru.pe, en la que participan las principales empresas proveedores locales de materiales de obra y acabado, así como los demandantes, es decir las empresas constructoras.

Finalmente, añadió que existe la expectativa de que se superen los 15 millones de dólares en negociaciones en dicha rueda de negocios. Analizando los aspectos mencionados por las entidades representativas del sector construcción; podemos concluir que el boom constructivo seguirá una tendencia creciente y constante durante los próximos años, por lo cual investigar sobre mejoras en tecnologías para las instalaciones sanitarias cobra gran importancia en la actualidad.

Como dato adicional cabe mencionar que en la feria internacional realizada sobre las innovaciones de la construcción “EXCOM 2012 y 2013”, se han presentado los sistemas de termofusión durante 2 años seguidos; lo cual demuestra la gran acogido que está teniendo este material (tuberías de PP-R) en el mercado peruano; confirmado que su presencia es una realidad y no solo una especulación.

3.4. MARCO LEGAL

3.4.1. NORMA TÉCNICA NACIONAL

No se cuenta con normativa técnica nacional (Normas NTP) con respecto a las tuberías de polipropileno unidas por termofusión, pero la normativa da la opción de emplear la normativa de origen; la cual debe estar avalada por una entidad certificadora.

3.4.2. NORMA TÉCNICA INTERNACIONAL

Existen las normas internacionales:

- Norma DIN-8077, relacionado con las dimensiones y presiones de funcionamientos admisibles, modo de suministro y marcado de tuberías PP-R.
- 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.

Las tuberías de PP-R deben cumplir con las normas internacionales indicadas.

3.4.3. EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE TUBERIAS DE PP-R

- ¿Quiénes son?

Las principales empresas son POLIFUSION, AQATEC, THC Y HCI, a esto se unen AMANCO - PAVCO, ROTOPLAST, TIGRE entre otras.

- Ubicación de las empresas en el mercado Nacional.

Las empresas con mayor aporte al mercado de polipropileno son las empresas POLIFUSIÓN y THC, estas se encuentran en Lima metropolitana, de las cuales la empresa Polifusión es fabricante y la empresa THC es un distribuidor. También cabe mencionar que la empresa Polifusión es más antigua en el mercado peruano que la empresa THC; presentándose en la feria EXCOM los años 2012 y 2013.

3.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MATERIAL

3.5.1 LAS PRINCIPALES VENTAJAS DEL MATERIAL

- No se requiere el uso de pegamentos, con ello hacemos referencia a que en el caso del empleo del pegamento debemos esperar que seque la unión, en el mejor de los casos teniendo un buen pegamento hablamos de 15 minutos; mientras que en el sistema de termofusión solo debemos esperar que enfrié la unión, lo cual solo tarde 2 - 4 minutos con respecto a los diámetros de ½" a 1". Ello conlleva a que la realización de la prueba hidráulica, proceso esencial al momento de la instalación de las tuberías en obra, se realice de manera inmediata acelerando el proceso constructivo y por consiguiente ahorrando

horas hombre; si bien es necesario usar la máquina de termofusión a la larga es más económico.

- Las válvulas de control de polipropileno no requieren el encofrado del nicho, ni el empleo de uniones universales, niples, etc. por consiguiente al no realizar el encofrado del nicho aceleramos el proceso constructivo; además del ahorro económico, ya que la elaboración de dicho encofrado (nicho) representa un costo económico. Además al emplear las válvulas de polipropileno no empleamos uniones universales, niples galvanizados, teflón ni formador de empaquetadura, los cuales se emplean en el armado de las válvulas de control convencionales; ahorrándonos el costo de dichos implemento además de las horas hombre empleadas en el armado de las válvulas convencionales. Debemos mencionar que el empleo de las uniones universales es con la finalidad de registrar la válvula de control, pero en el caso de las válvulas de polipropileno estas no son necesarias; ya que para registrar dicha válvulas (por mantenimiento o reparación) solo se debe desenroscar el vástago de la válvula.
- Seguridad en la unión, las tuberías de PVC se unen mediante el empleo de un pegamento, lo cual genera la unión; pero dicha unión es superficial, ya que el pegamento solo se adhiere a las paredes de las tuberías y accesorios, además de poder disolverse en el tiempo con el paso constante del agua quien es “el disolvente universal”; pero la unión por termofusión es una unión a nivel molecular, ya que las moléculas de las tuberías y accesorios se fusionan al alcanzar el rango de temperatura adecuada, formando una sola pieza y cuerpo la cual no se disuelve o separa con el paso constante del agua.
- Propiedades de resistencia mecánica superiores a las tuberías de PVC durante el proceso constructivo, eso significa que las tuberías de polipropileno no se quiebran ni rompen con facilidad, por lo cual soportan golpes, pisotones, vaciados de concreto, paso de carretillas,

etc. evitando de esta manera reparaciones continuas durante el proceso constructivo, especialmente el vaciado de concreto; facilitando su instalación y el avance de la instalación.

- 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. Todo ello tomando como referencia los puntos previamente mencionados los cuales aceleran el proceso constructivo y generan un ahorro en horas hombre.
- Su alta resistencia a climas intensos, debido a las características de las tuberías de polipropileno, las cuales son sumamente flexibles; por lo cual soportan movimientos sísmicos, ya que tienen la propiedad de estirarse y/o alongarse un 13% de su longitud; además de soportar las heladas debido a que si se congela el agua que transporta, este no revienta al ser flexible y con ello expandirse para soportar el incremento del volumen del agua debido al congelamiento de esta, lo cual no ocurre con las tuberías de PVC las cuales revientan por ser rígidas.
- Su fácil instalación, el tiempo de instalación depende de la experiencia del instalador el cual se reduce a medida que vaya acostumbrándose al material. Por ello se recomienda que el personal instalador a contratar, acredite que está capacitado para la realización de los trabajos en termofusión empleando tuberías de polipropileno.

3.5.2. LAS PRINCIPALES DESVENTAJAS DEL MATERIAL

- Se debe de tener mucho cuidado al momento de fusionar las tuberías, ya que es posible que se genere un poco de rebaba produciéndose la reducción del diámetro interno, todo ello por no seguir los procedimientos adecuados para realizar los trabajos en termofusión; en los anexos se detallan los procedimientos no

adecuados y sus consecuencias en la realización de las instalaciones.

- Requiere de personal capacitado sobre el correcto trabajo de las tuberías de Polipropileno, muchas veces no se cuenta con personal capacitado; por lo que se debe capacitar al personal instalador disponible, por lo que hay un periodo de aprendizaje durante el cual el avance no es muy efectivo. Dicho periodo es variable y depende de la capacidad del instalador.
- Es indispensable el empleo de energía eléctrica para el uso de la máquina termofusora.

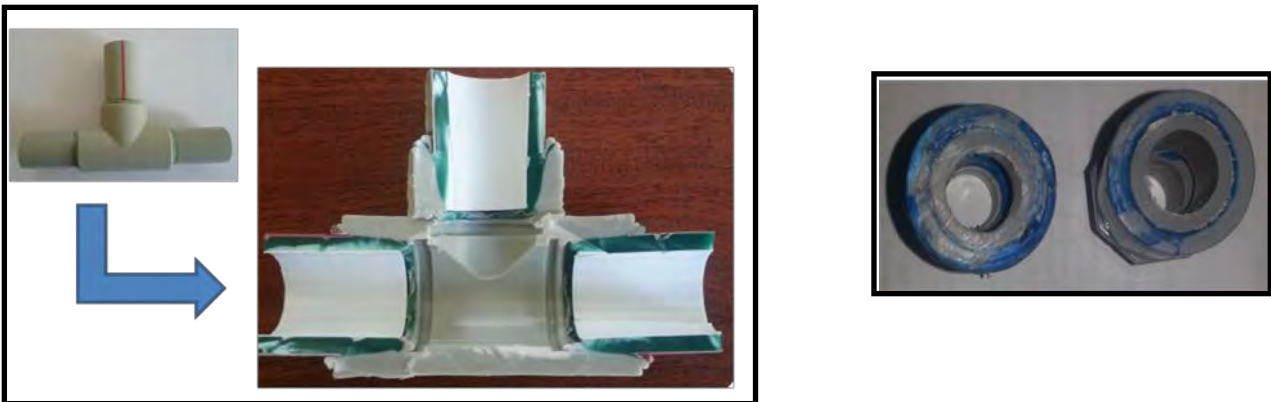


Figura n°23: Muestra de sistema de unión molecular, (izquierda) y muestra de unión por pegado (derecha)

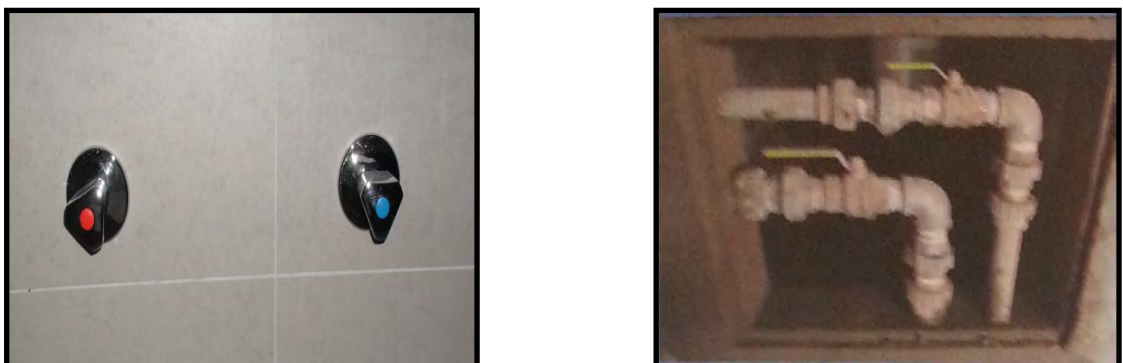


Figura n°24: Válvula de control que no requiere nicho (izquierda) y válvula de control que requiere nicho (derecha)

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

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

1. Recopilar toda la información relativa a las tuberías de polipropileno.
2. Recopilar información acerca de la aplicación de estas tecnologías y materiales en otros países para las instalaciones sanitarias de interiores.
3. Recopilar información acerca de la aplicación de las tuberías de polipropileno en el país.
4. Análisis comparativos de la aplicación de estas tecnologías y materiales (tuberías de polipropileno) con respecto a las formas tradicionales (tuberías de PVC).
5. Elaboración de las pruebas de laboratorio, para la determinación de las características hidráulicas de las tuberías de laboratorio; el sustento teórico así como la metodología desarrollada durante la realización de la prueba de laboratorio se detallara en el ítem de Pruebas de Laboratorio.
6. Análisis de los resultados.
7. Conclusiones y Recomendaciones.

CAPITULO V

ANÁLISIS TECNICO COMPARATIVO

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, 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.

5.1. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

El presente cuadro comparativo presenta las propiedades o características que existe entre el PVC, CPVC y el Polipropileno Copolímero Random Tipo 3 con capa interna anti bacteria, intermedia PP-R y capa externa anti UV o PP-R100.

Propiedades	PVC-CPVC	PPR-100
Campos de Aplicación	Agua fría y Caliente	Agua fría y Caliente
Características Físicas Densidad gr/cm ³	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/mm ²
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 a pedido.	PP-R100, clase 10 Termofusión (se tiene desde 20 hasta 160mm). PP-R100, clase 16 Termofusión (se tiene hasta 160mm).
Diámetros Nominales	½" PVC (DN 21mm) ½" CPVC (DN 15.87mm) ¾" PVC y CPVC (26,5mm y 22.22mm respectivamente) 1" PVC y CPVC (33mm)	Su equivalente DN 20mm Su equivalente DN 16mm Su equivalente DN 25mm Su equivalente DN 32mm
Tipo de Unión	Pegado (pegamento PVC y CPVC)	Termofusión (unión molecular)
Tiempo de secado/enfriamiento	15 minutos	5 min. Para los ø de 16 y 20mm, 7 y 8min. Para los ø 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 FºGº, PVC o CPVC y bronce: Válvulas (bronce) + niples + unión universal + adaptadores + teflón + pegamento + lija + cajuela . La construcción y acabado de las cajuelas es tediosa y tiene un costo representativo en la construcción.	Llaves de paso: Cuerpo de PPR-100 PN-20 con inserto metálico + vástago de latón DZR + manilla (cromada o plástica) + canopla (cromada o plástica). 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	*Para puntos de salida se requiere mezclar material: FºGº + PVC o CPVC (codo FºGº + adaptadores). *Para reducir diámetros se necesita de otro accesorio (codo y/o tee + reducción). *Mayor cantidad de empalmes accesorio-tubo, mayor probabilidad de fugas por error de instalación.	*Solo se necesita un codo con inserto metálico (hilo interior). *Se cuenta con accesorios en los cuales, se realiza la reducción directamente (codo y tee reducción). *Se minimizan el número de empalmes accesorio-Tubo, menor probabilidad de fugas por error de instalación. *Gran gama de accesorios.

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

5.2. COMPARATIVO DE DIÁMETROS INTERNOS

Para realizar el análisis comenzaremos por tomar como referencia los diámetros internos, analizando la diferencia entre estos y rangos de velocidades. Los valores de los diámetros internos, dependiendo del tipo de tubería, se indican a continuación:

Diámetro Nominal (mm)	Espesor (mm)		Diámetro Interno (mm)	
	Serie 5 (PN10)	Serie 3.2 (PN16)	Serie 5 (PN10)	Serie 3.2 (PN16)
16	-	2.2		11.6
20	1.9	2.8	16.2	14.4
25	2.3	3.5	20.4	18
32	2.9	4.4	26.2	23.2
40	3.7	5.5	32.6	29
50	4.6	6.9	40.8	36.2

63	5.8	8.6	51.4	45.8
75	6.8	10.3	61.4	54.4
90	8.2	12.3	73.6	65.4
110	10	15.1	90	79.8
125	11.4	17.1	102.2	90.8
160	14.6	21.9	130.8	116.2

Tabla n° 4: Tabla Diámetros internos del Polipropileno.

<i>Diámetro</i>		<i>Espesor (mm)</i>		<i>Diámetro Interno (mm)</i>	
<i>Nominal</i>	<i>Real (mm)</i>	<i>Clase 10</i>	<i>Clase 15</i>	<i>Clase 10</i>	<i>Clase 15</i>
1/2"	21	1.8	1.8	17.4	17.4
3/4"	26.5	1.8	1.8	22.9	22.9
1"	33	1.8	2.3	29.4	28.4
1 1/4"	42	2	2.9	38	36.2
1 1/2"	48	2.3	3.3	43.4	41.4
2"	60	2.9	4.2	54.2	51.6
2 1/2"	73	3.5	5.1	66	62.8
3"	88.5	4.2	6.2	80.1	76.1
4"	114	5.4	8	103.2	98
6"	168	8	11.7	152	144.6

Tabla n° 5: Tabla Diámetros internos del PVC.

Las equivalencias mencionadas son respecto al rango de presiones que soportan las tuberías, las cuales son:

Tubería PP-R100 línea azul PN-10 <> Tubería PVC clase 10

Tubería PP-R100 línea roja PN-16 <> Tubería PVC clase 15

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.

Comparativo Diámetros Tuberías 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	PVC	PP-R	PVC		
Nominal (mm)	Real (mm)	(mm)	(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	6.0
63	60	51.4	54.2	2.8	5.2
75	73	61.4	66	4.6	7.0
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

Tabla n° 6: Tabla comparativa diámetros internos PP-R PN10 vs PVC (clase 10)

Centramos nuestra atención en los diámetros de 20mm <> ½" hasta 32mm <> 1", ya que son los diámetros que mayormente se encuentran en las instalaciones sanitarias de interiores.

En el cuadro siguiente observamos la comparación entre el PP-R PN16 y el PVC clase 15, las cuales son equivalentes debido la presión de trabajo que soportan, adicionalmente las tuberías PP-R PN16 soportan fluidos a altas temperaturas

(60°C – 90°C rango de temperatura estándar), por lo que son usadas generalmente para agua caliente, en las instalaciones sanitarias de interiores, ofreciendo similares o mejores características de trabajo que el CPVC.

Comparativo Diámetros Tuberías PP-R PN16 vs PVC clase 15

DIAMETRO EXTERNO		DIAMETRO INTERNO		DIFERENCIA DE DIAMETROS PVC vs PPR (mm)	% DE DIFERENCIA CON RESPECTO AL PVC
PPR	PVC	PPR	PVC		
Nominal (mm)	Real (mm)	(mm)	(mm)		
20	21	14.4	17.4	3	17.2
25	26.5	18	22.9	4.9	21.4
32	33	23.2	28.4	5.2	18.3
40	42	29	36.2	7.2	19.9
50	48	36.2	41.4	5.2	12.6
63	60	45.8	51.6	5.8	11.2
75	73	54.4	62.8	8.4	13.4
90	88.5	65.4	76.1	10.7	14.1
110	114	79.8	98	18.2	18.6
125		90.8			
160	168	116.2	144.6	28.4	19.6

Tabla n° 7: Tabla Cuadro comparativo diámetros internos PPR (PN16) vs PVC (clase 15)

Cabe mencionar que las tuberías de PVC clase 15 no son usadas en las instalaciones sanitarias de interiores, sino en los alimentadores de agua de alta presión.

5.2.1. 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.

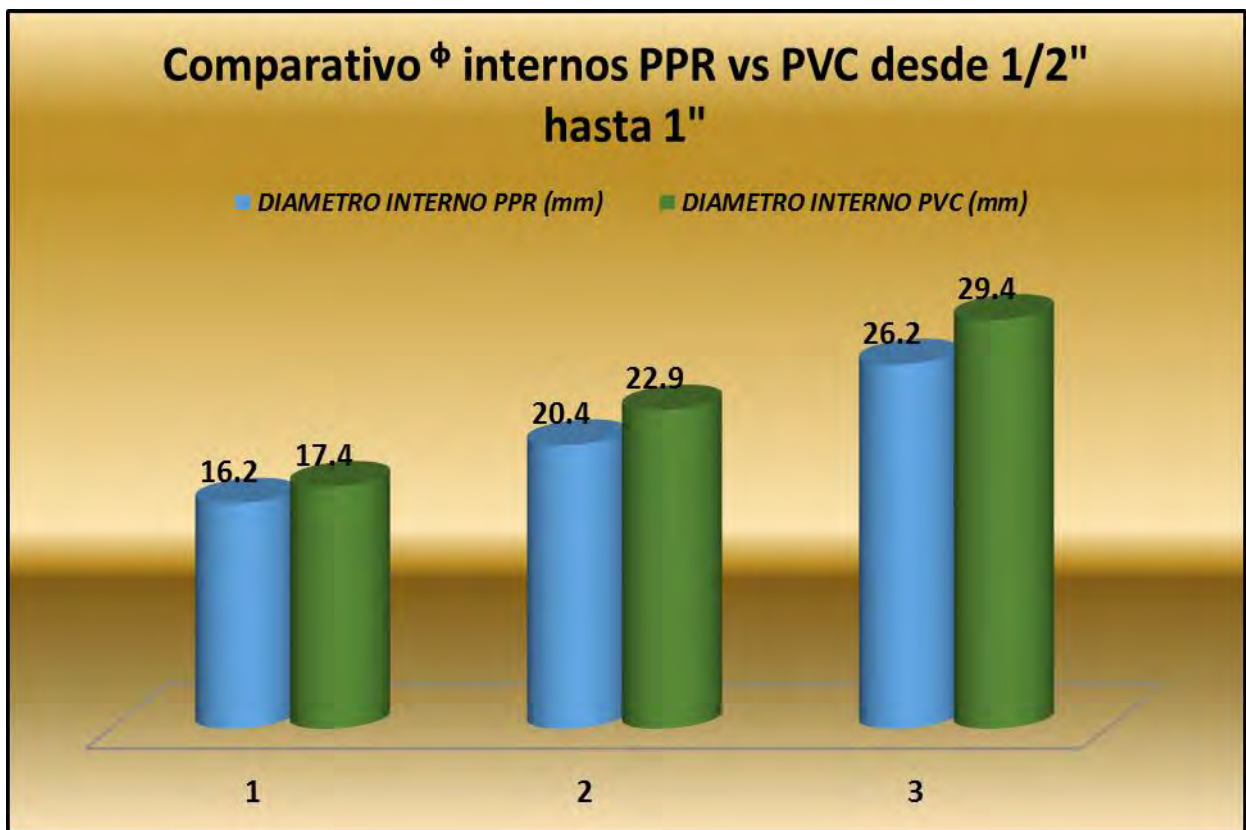


Gráfico n° 7: Comparativo diámetros internos PP-R (PN10) vs PVC (clase 10)

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 1/2" 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.

a) Análisis Velocidades Internas

Para realizar este análisis tomaremos como referencia una casa típica, para poder determinar un caudal de consumo, la cual contara con:

Casa Típica	
Componentes	UH
SS.HH. Principal	6
SS.HH. Secundario	6
SS.HH. Visita	4
Lavadero Cocina	3
Lavadero de Ropa	3
Lavadora	3
Total	25
Caudal	0.64 l/s

Tabla n° 8: Unidades hunter de una casa típica.

Según el caudal referencial determinado analizaremos las velocidades correspondientes, tomando como referencia los diámetros internos analizados anteriormente:

Medidas	AREAS (m ²)		(*) Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)		Diferencia	
	PPR	PVC		PPR	PVC	Velocidades (m/s)	%
1/2" <> 20mm	0.00020612	0.000237788	0.00064	3.104981722	2.691476427	0.414	15.36
3/4" <> 25mm	0.000326852	0.000411872	0.00064	1.958072383	1.553882274	0.404	26.01
1" <> 32mm	0.00053913	0.000678868	0.00064	1.187097784	0.942745387	0.244	25.92
(*)	25 UH <> 0.64 litros/s						

Tabla n° 9: Tablas de velocidades de diámetros desde 20 mm a 32 mm

Según los cálculos realizados podemos comprobar que las velocidades, dependiendo del diámetro, son altas para ambos casos; siendo las velocidades en las tuberías de polipropileno mayores a las presentes en las tuberías de PVC, aproximadamente de un 15 a 26% mayores.

Debemos tener presentes que el análisis realizados contemplan que las tuberías de alimentación serían solo de 1/2", 3/4" o 1" para toda la edificación; lo cual en la realidad no se da, ya que en el diseño se contempla una selección de diámetros yendo de mayor a menor diámetro, procurando una velocidad adecuada a las tuberías.

Por lo anteriormente expuesto podemos concluir que los sistemas de tuberías, considerados para las instalaciones sanitarias de interiores, son equivalentes considerando las dimensiones de diámetros internos y rango de velocidades; ya que las velocidades permitidas en las tuberías obedecen a un rango de valores, las cuales se indican en el Reglamento nacional de Edificaciones (RNE), por lo que al analizarlas de esa manera verificamos que para las mismas condiciones los rangos de velocidades indicados se respetan para las tuberías de 3/4" y 1"; y no se cumplen, para ambos sistemas, para las medidas de 1/2" .

RNE 2.3 - f	
DIAMETRO (mm)	Velocidad Máxima (m/s)
15 (1/2")	1.90
20 (3/4")	2.20
25 (1")	2.48
32 (1 1/4")	2.85
40 y mayores (1/2" y mayores)	3.00

Tabla n° 10: Tablas de velocidades permitidas según reglamento nacional de edificaciones (RNE)

5.2.2. DIÁMETROS INTERNOS PARA INSTALACIONES DE ALIMENTADORES DE AGUA Y/O REDES EXTERNAS (PP-R PN10)

Para realizar este análisis nos centraremos en las tuberías desde 2 1/2" <> 75mm hasta 6" <> 160mm, ya que dichos valores son los que se encuentran mayormente en las instalaciones de alimentadores de agua y/o redes externas.

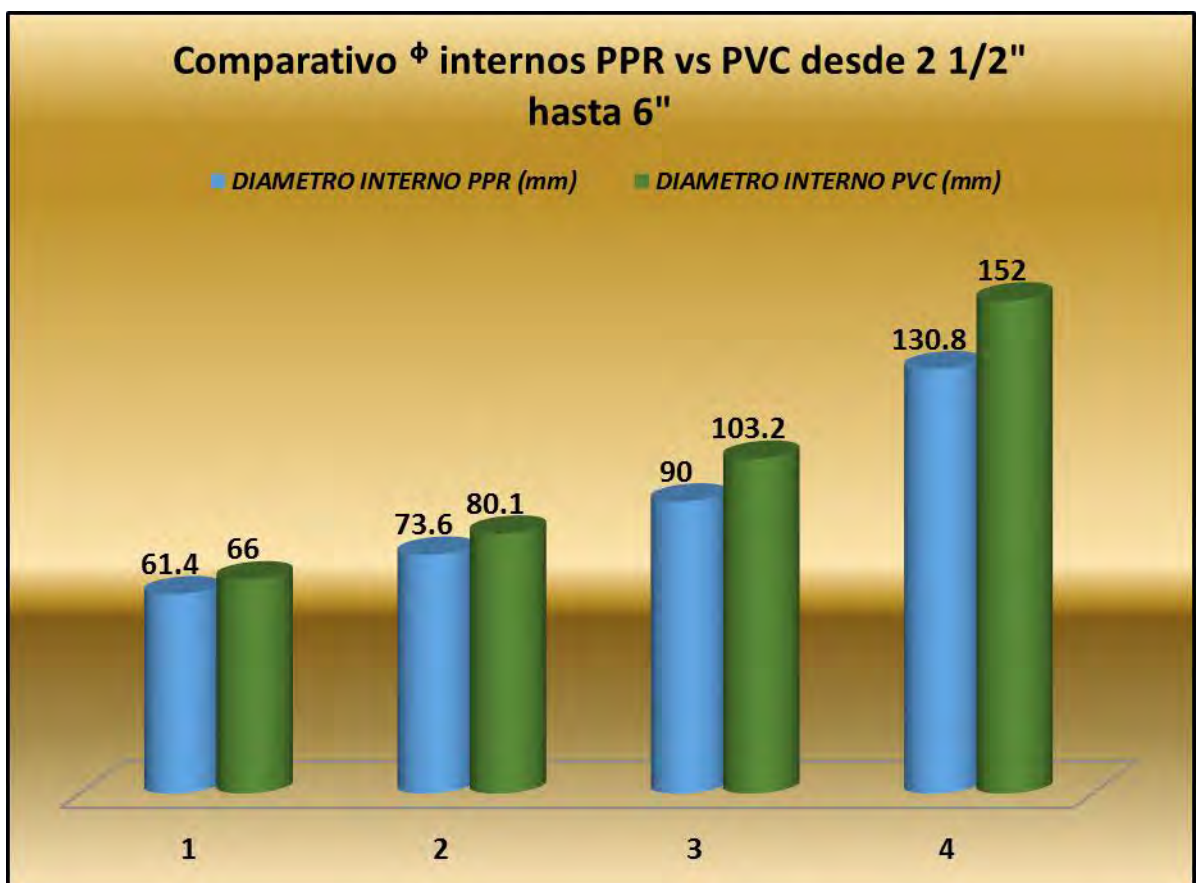


Gráfico n° 8: Comparativo diámetros internos PPR (PN10) vs PVC (Clase 10) diámetros mayores de 75 mm.

- (1) Diámetro 2 1/2" PVC <> 75mm PP-R
- (2) Diámetro 3" PVC <> 90mm PP-R
- (3) Diámetro 4" PVC <> 110mm PP-R
- (4) Diámetro 6" PVC <> 160mm PP-R

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 7 – 14% mayor a las tuberías de PP-R considerando los diámetros desde 2 ½” hasta 6”, lo cual en la realidad implica una diferencia de entre 5 a 21mm; esta diferencia de valores es considerable, de tal manera que si se desea buscar la equivalencia de los diámetros de las tuberías de PP-R con respecto de las tuberías de PVC, se deberá optar por seleccionar el diámetro inmediato superior al diámetro tomado como referencia en el sistema PVC; por ejemplo si deseo un equivalente, con respecto al diámetro interno, para la tuberías de PVC 4” debería seleccionar una tuberías de 125mm<>5” de PP-R.

Por lo expuesto anteriormente podemos concluir que para los diámetros mayores (2½” hasta 6”) los sistemas PP-R y PVC, no son equivalentes por lo que para realizar los cálculos hidráulicos deben ser analizados con mayor detalle.

5.2.3. ANÁLISIS COMPARATIVO PARA DIÁMETROS EN INSTALACIONES SANITARIAS DE INTERIORES (PP-R PN16)

Para realizar este análisis de los diámetros internos solo nos centraremos en las tuberías desde ½” <> 20mm hasta 1”<> 32mm, ya que dichos valores son los que se encuentran mayormente en las instalaciones sanitarias de interiores, pero debemos tener presente que las tuberías PP-R PN-16, en estos rangos de diámetros son empeladas para los sistemas de Agua Caliente, por lo que su equivalente serían las tuberías de CPVC; pero analizando el rango de presiones que soportan su equivalente serían las tuberías de PVC clase 15, por lo que las compararemos tomando como referencia las presiones de trabajo que soportan.

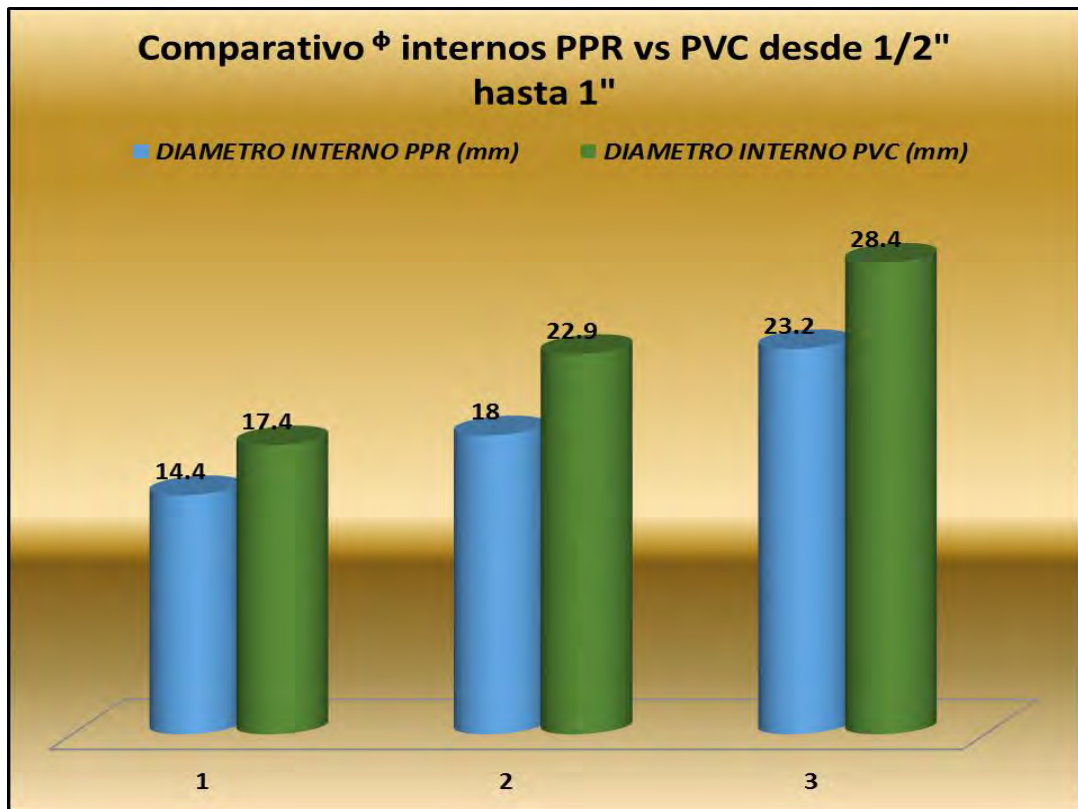


Gráfico n° 9: Comparativo diámetros internos PP-R PN16 vs PVC Clase 15 diámetros hasta 32mm

- (1) Diámetro 1/2" PVC <> 20mm PP-R**
- (2) Diámetro 3/4" PVC <> 25mm PP-R**
- (3) Diámetro 1" PVC <> 32mm PP-R**

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 17 – 21% mayor a las tuberías de PP-R analizando los diámetros desde 1/2" hasta 1", lo cual en la realidad implica una diferencia de entre 3 a 5mm. Todos los valores indicados anteriormente, corresponden a lo indicado a la normativa de cada producto.

Dado que la diferencia entre los diámetros, para esta clase de tuberías, es considerable; en caso que las tuberías PP-R PN-16 sean empleadas para agua fría, se concluye que los sistemas de PP-R y

PVC en esta clase de tuberías, no son equivalentes, por lo que si se requiere un equivalente se deberá optar por el primer diámetro inmediato superior al indicado para las tuberías de PVC, para buscar su equivalente en las tuberías de PP-R.

Si bien las tuberías de PP-R PN-16 no son equivalentes a las tuberías de PVC clase 15, en el sistema de agua fría; si lo son para las tuberías de CPVC, las cuales se aplican en el sistema de agua caliente; por lo que se debe tener muy claro cuál es el sistema a instalar (agua fría o agua caliente) para poder determinar el uso adecuado de las tuberías y sus selección de diámetros.

5.2.4. DIÁMETROS INTERNOS PARA INSTALACIONES DE ALIMENTADORES DE AGUA Y/O REDES EXTERNAS (PP-R PN16)

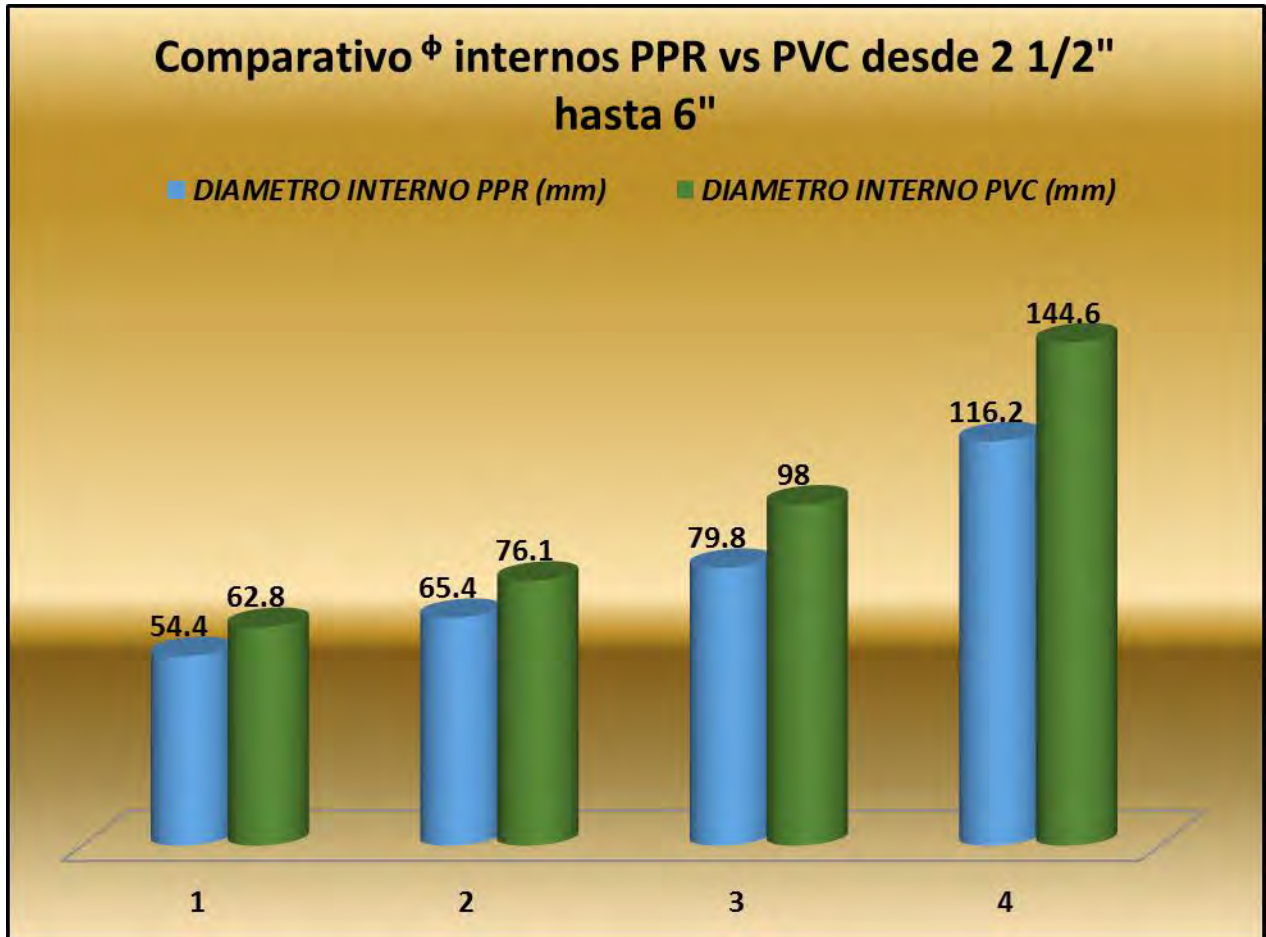


Gráfico n° 10: Comparativo diámetros internos PP-R PN16 vs PVC Clase 15 diámetros mayores a 75mm mm.

- (1) Diámetro 2 1/2" PVC <> 75mm PP-R
 (2) Diámetro 3" PVC <> 90mm PP-R
 (3) Diámetro 4" PVC <> 110mm PP-R
 (4) Diámetro 6" PVC <> 160mm PP-R

Para realizar este análisis nos centraremos en las tuberías desde 2 1/2" <> 75mm hasta 6" <> 160mm, ya que dichos valores son los que se encuentran mayormente en las instalaciones de alimentadores de agua y/o redes externas.

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 13 – 20% mayor a las tuberías de PP-R analizando los diámetros desde 2 ½" hasta 6", lo cual en la realidad implica una diferencia de entre 8 a 28mm; esta diferencia de valores es considerable, de tal manera que si se desea buscar la equivalencia de los diámetros de las tuberías de PP-R con respecto de las tuberías de PVC, se deberá optar por seleccionar uno o dos diámetros superior al diámetro tomado como referencia en el sistema PVC; por ejemplo si deseo un equivalente, con respecto al diámetro interno, para la tuberías de PVC 4" debería seleccionar una tuberías de 160mm<>6" de PP-R.

Por lo expuesto anteriormente podemos concluir que para los diámetros mayores (2½" hasta 6") los sistemas PP-R y PVC, no son equivalentes por lo que para realizar los cálculos hidráulicos deben ser analizados con mayor detalle.

5.3. COMPARATIVO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Como ya es sabido el PVC es el material predominante en las instalaciones sanitarias, mediante el siguiente cuadro compararemos los accesorios equivalentes con el material del polipropileno, para de esta manera observar si es que se encuentra en el mercado los tipos de accesorios que son utilizados para la elaboración y ejecución de los proyectos.

AGUA FRÍA			
SISTEMA CONVENCIONAL	EQUIVALENTE EN POLIPROPILENO	COMPARATIVO	
TUBO DE 3"X5 MTS C/R PVC C10	TB 90 mm R3 PN-10	CON EL POLIPROPILENO NO SE NECESITA PEGAMENTO LA UNIÓN ES REALIZADA MEDIANTE LA TERMOFUSIÓN.	
TUBO DE 2 1/2"X5 MTS C/R PVC C10	TB 75 mm R3 PN-10		
TUBO DE 2"X5 MTS C/R PVC C10	TB 63 mm R3 PN-10		
TUBO DE 1 1/2"X5 MTS C/R PVC C10	TB 50 mm R3 PN-10 Tricapa		
TUBO DE 1 1/4"X5 MTS C/R PVC C10	TB 40 mm R3 PN-10 Tricapa		
TUBO DE 1"X5 MTS C/R PVC C10	TB 32 mm R3 PN-10 Tricapa		
TUBO DE 3/4"X5 MTS C/R PVC C10	TB 25 mm R3 PN-10 Tricapa		
TUBO DE 1/2"X5 MTS C/R PVC C10	TB 20 mm R3 PN-10 Tricapa		
REDUC. 1"X3/4" S/R PVC C10	BUJER RED. 32X25 FUS.PP R-3	EN EL POLIPROPILENO LOS BUJES DE REDUCCION PN 20 SON UTILIZADOS TANTO PARA AGUA FRÍA COMO PARA	
REDUC. 1"X1/2" S/R PVC C10	BUJER RED. 32X20 FUS.PP R-3		
REDUC. 3/4"X1/2" S/R PVC C10	BUJER RED. 25X20 FUS.PP R-3		
Valvula esférica 1/2"	LL.PASO 20m/m DZR MET.MANILLA AZUL o CROMADA FUS. R-3	EN EL POLIPROPILENO LAS LLAVES DE MANILLA NO NECESITAN NICHOS, ADEMÁS DE CONTAR CON UN PROCESO DE ANTIDEGRADACIÓN	
Valvula esférica 3/4"	LL.PASO 25m/m DZR MET.MANILLA AZUL o CROMADA FUS. R-3		
Valvula esférica 1"	LL.PASO 32m/m DZR MET.MANILLA AZUL o CROMADA FUS. R-3		
CODO 1/2"x90° S/R PVC C10	CODO DE 20X90 FUSION PP R-3	EN EL POLIPROPILENO LOS ACCESORIOS TIPO PN 20 SIRVEN TANTO PARA AGUA FRÍA COMO PARA AGUA CALIENTE	
CODO 3/4"x90° S/R PVC C10	CODO DE 25X90 FUSION PP R-4		
CODO 1"x90° S/R PVC C10	CODO DE 32X90 FUSION PP R-5		
CODO 1 1/4"x90° S/R PVC C10	CODO DE 40X90 FUSION PP R-6		
CODO 1 1/2"x90° S/R PVC C10	CODO DE 50X90 FUSION PP R-7		
CODO 2"x90° S/R PVC C10 P	CODO DE 63X90 FUSION PP R-8		
CODO 2 1/2"x90° S/R PVC C10	CODO DE 75X90 FUSION PP R-9		
CODO 3"x90° S/R PVC C10	CODO DE 90X90 FUSION PP R-10		
CODO 1/2"x45° S/R PVC C10	CODO DE 20X45 FUSION PP R-11		
CODO 3/4"x45° S/R PVC C10	CODO DE 25X45 FUSION PP R-12		
CODO 1"x45° S/R PVC C10	CODO DE 32X45 FUSION PP R-13		
CODO 1 1/4"x45° S/R PVC C10	CODO DE 40X45 FUSION PP R-14		
CODO 1 1/2"x45° S/R PVC C10	CODO DE 50X45 FUSION PP R-15		
CODO 2"x45° S/R PVC C10	CODO DE 63X45 FUSION PP R-16		
CODO 2 1/2"x45° S/R PVC C10	CODO DE 75X45 FUSION PP R-17		
CODO 3"x45° S/R PVC C10	CODO DE 90X45 FUSION PP R-18		
UNIÓN UNIVERSAL F°G° 1/2 "	UNI. AME. 20 m/m FUS. PP R-3		NO SE NECESITA CUANDO ES UTILIZADO EN VÁLVULAS, YA QUE LA LLAVE DE MANILLA VA EMPOTRADO, ASÍ MISMO
UNIÓN UNIVERSAL F°G° 3/4 "	UNI. AME. 25 m/m FUS. PP R-3		
UNIÓN UNIVERSAL F°G° 1"	UNI. AME. 32 m/m FUS. PP R-3		
NIPLE F°G° 1/2" X 1 1/2"	si es para llave de paso no se necesita	NO EXISTE NIPLES ROSCADOS EN POLIPROPILENO	
NIPLE F°G° 3/4" X 1 1/2"	si es para llave de paso no se necesita		
NIPLE F°G° 1" X 1 1/2"	si es para llave de paso no se necesita		
Adaptador Unión Presión Rosca 1/2"	Unión fusión HE 20 x 1/2 R-3	ES UTILIZADO PARA LA INSTALCIÓN DE MEDIDORES DE AGUA	
Adaptador Unión Presión Rosca 3/4"	Unión fusión HE 25 x 3/4 R-3		
Adaptador Unión Presión Rosca 1"	Unión fusión HE 32 x 1 R-3		
Tee SP 1/2 "	TEE 20 X 20 FUS. PP R-3	EN EL POLIPROPILENO LOS ACCESORIOS TIPO PN 20 SIRVEN TANTO PARA AGUA FRÍA COMO PARA AGUA CALIENTE	
Tee SP 3/4 "	TEE 25 X 25 FUS. PP R-3		
Tee SP 1"	TEE 32 X 32 FUS. PP R-3		
Codo de 90° 1/2" F°G°	CODO DE 20 X 1/2 HI R.MET R-3	CODO DE SALIDA PARA EL APARATO SANITARIO, NO SE NECESITA ADAPTADOR, POR LO CUAL SE AHORRA TEFÓN PEGAMENTO.	
Codo de 90° 3/4" F°G°	CODO DE 25 X 3/4 HI R.MET R-3		
UNIÓN SIMPLE 1/2 " C/R PVC C10	COPLA 20 FUSION PP R-3	EN EL POLIPROPILENO LOS ACCESORIOS PN 20 CUMPLEN TANTO PARA AGUA FRÍA O CALIENTE	
UNIÓN SIMPLE 3/4 " C/R PVC C10	COPLA 25 FUSION PP R-3		
UNIÓN SIMPLE 1 " C/R PVC C10	COPLA 32 FUSION PP R-3		
UNIÓN SIMPLE 1 1/4" C/R PVC C10	COPLA 40 FUSION PP R-3		
UNIÓN SIMPLE 1 1/2" C/R PVC C10	COPLA 50 FUSION PP R-3		
UNIÓN SIMPLE 2" C/R PVC C10	COPLA 63 FUSION PP R-3		
TAPON HEMBRA 1/2" S/R PVC C10	TAPA 20 m/m FUS. PP R-3		
TAPON HEMBRA 3/4" S/R PVC C10	TAPA 25 m/m FUS. PP R-3		
TAPON HEMBRA 1" S/R PVC C10	TAPA 32 m/m FUS. PP R-3		
TAPON HEMBRA 1 1/4" S/R PVC C10	TAPA 40 m/m FUS. PP R-3		
TAPON HEMBRA 1 1/2" S/R PVC C10	TAPA 50 m/m FUS. PP R-3		
TAPON HEMBRA 2" S/R PVC C10	TAPA 63 m/m FUS. PP R-3		
TAPON HEMBRA 2 1/2" S/R PVC C10	TAPA 75 m/m FUS. PP R-3		
TAPON HEMBRA 3" S/R PVC C10	TAPA 90 m/m FUS. PP R-3		
TAPON HEMBRA 4" S/R PVC C10	TAPA 110 m/m FUS. PP R-3		
TAPON MACHO 1/2" S/R PVC C10	TAPON 1/2 HE R-3		
TAPON MACHO 3/4" S/R PVC C10	TAPON 3/4 HE R-3		

Tabla n° 11: Tablas de comparación entre los materiales del PVC y el polipropileno para agua fría.

AGUA CALIENTE		
SISTEMA CONVENCIONAL	EQUIVALENTE EN POLIFUSIÓN	COMPARATIVA
TUBO DE 1/2" X 5 MTS PAVCO CPVC	TB 25 mm R3 PN-16 Tricapa	UNION POR TERMOFUSIÓN
TUBO DE 3/4" X 5 MTS PAVCO CPVC	TB 16 mm R3 PN-16 Tricapa	
REDUC. 3/4" X 1/2" PAVCO CPVC	BUJE RED. 25 X 16 FUS. PP R-3	SIRVE PARA AGUA FRÍA Y CALIENTE PN20
VALVULA ESFÉRICA 1/2"	LL.PASO 20 m/m DZR MET. MANILLA AZUL O CROMADA FUS. R-3.	NO SE NECESITA NICHOS , ADEMÁS CUENTA CON UN PROCESO DE DESINCIFICADO
VALVULA ESFÉRICA 3/4"	LL.PASO 25 m/m DZR MET. MANILLA AZUL O CROMADA FUS. R-3.	
CODO 1/2" X 90° PAVCO CPVC	CODO 16 X 90 FUSIÓN PP R-3	EN EL POLIPROPILENO LOS ACCESORIOS PN 20 CUMPLEN TANTO PARA AGUA FRÍA O CALIENTE
CODO 3/4" X 90° PAVCO CPVC	CODO 25 X 90 FUSIÓN PP R-3	
CODO 1/2" X 45° PAVCO CPVC	CODO 16 X 45 FUSIÓN PP R-3	
CODO 3/4" X 45° PAVCO CPVC	CODO 25 X 45 FUSIÓN PP R-3	
ADAPTADOR 1/2" MACHO PAVCO CPVC	UNION FUSION HE 16 X 1/2 R-3	
ADAPTADOR 3/4" MACHO PAVCO CPVC	UNION FUSION HE 25 X 3/4 R-3	
TEE 1/2" PAVCO CPVC	TEE 16 X16 FUS. PPR-3	
TEE 3/4" PAVCO CPVC	TEE 25X25 FUS. PPR-3	
Codo a 90° 1/2 F°G°	CODO DE 16 X 1/2 HI R, MET R-3	CODO DE SALIDA PARA EL APARATO SANITARIO , NO SE NECESITA ADAPTADOR, POR LO CUAL SE AHORRA TELFON PEGAMENTO.
Codo a 90° 3/4 F°G°	CODO DE 25 X 3/4 HI R, MET R-3	
UNION SIMPLE 1/2" S/R PAVCO CPVC	COPLA 16 FUSION PP R-3	EN EL POLIPROPILENO LOS ACCESORIOS PN 20 CUMPLEN TANTO PARA AGUA FRÍA O CALIENTE
UNION SIMPLE 3/4" PAVCO CPVC	COPLA 25 FUSION PP R-3	
TAPON HEMBRA 1/2" PAVCO CPVC	TAPA 16 m/m FUS. PP R-3	
TAPON HEMBRA 3/4" PAVCO CPVC	TAPA 25 m/m FUS. PP R-3	
TEE 1/2" PAVCO CPVC	TEE 16 X16 FUS. PPR-3	
TEE 3/4" PAVCO CPVC	TEE 25X25 FUS. PPR-3	

Tabla n° 12: Tablas de comparación entre los materiales del CPVC y el polipropileno para agua caliente.

En los cuadros anteriores se puede observar que las tuberías y los accesorios de PVC tienen su equivalente con el material del polipropileno, por lo cual podemos llegar a la conclusión de que cualquier proyecto se puede elaborar usando los materiales de los últimos mencionados. Cabe indicar que para las instalaciones de agua caliente existen diámetros mayores que pueden ser encontrados en polipropileno, se dispone en el mercado desde 16mm hasta 160mm, que difícilmente se encuentran en el CPVC, ya que no son muy comerciales a partir de los diámetros de 1".

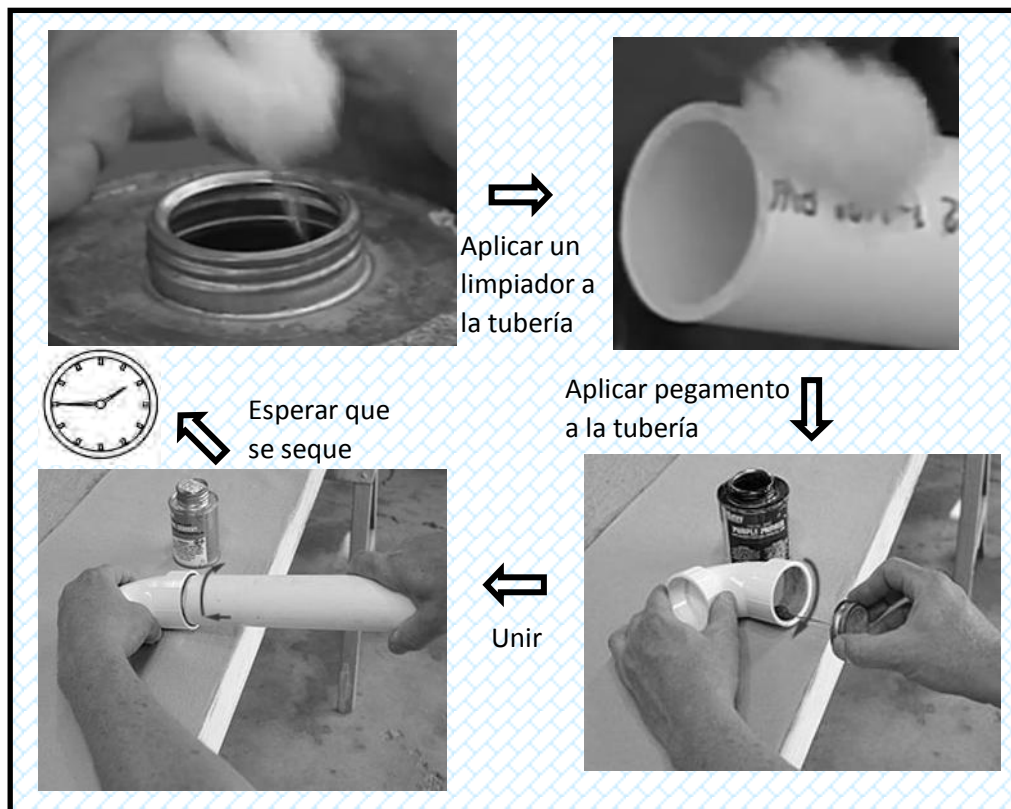
5.4. COMPARACIÓN DE INSTALACIONES

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.

5.4.1. 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.



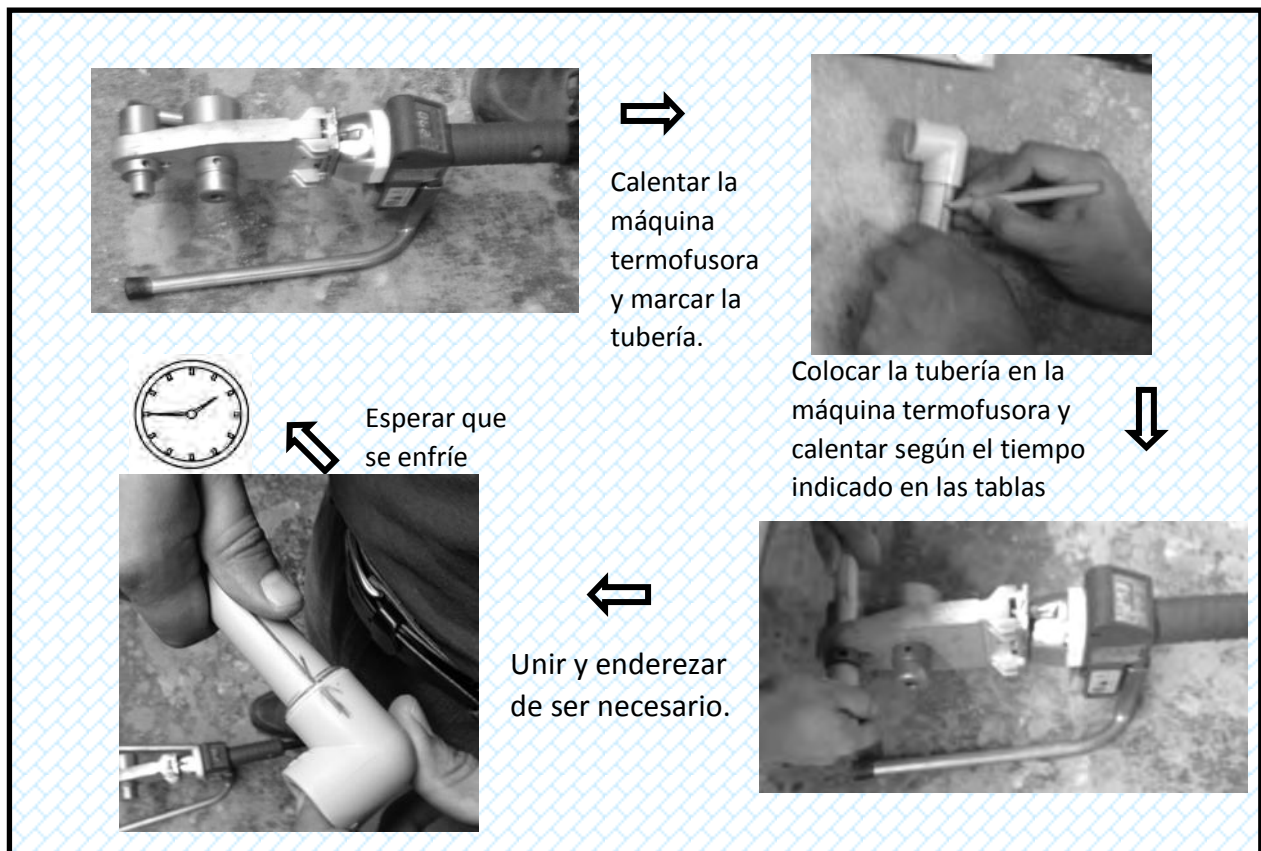
Fotos n° 1: Instalación de Tuberías de PVC.

5.4.2. 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.



Fotos n° 2: Instalación de Tuberías de polipropileno.

5.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL POLIPROPILENO PARA INSTALACIONES SANITARIAS DE AGUA FRÍA Y CALIENTE

5.5.1. TUBERÍAS Y CONEXIONES PARA AGUA FRÍA

Serán de PP-R 100 Tipo 3 Tricapa Serie 5.0 (CLASE 10) DIN 8077- DIN 8078 Capa Interior Antibacteria - Capa Exterior Anti UV, del tipo de empalmes por termofusión, a través de una máquina y dados de termofusión del mismo fabricante. Los accesorios serán de PP-R 100 Serie 2.5 (CLASE 20) DIN 8077, 8078, 16962. Esta termofusión deberá realizarse por temperatura, cuyo rango será 260°C-280°C. Todas las uniones roscadas se sellarán con cinta de teflón y formador de empaquetadura.

5.5.2. TUBERÍAS Y CONEXIONES PARA AGUA CALIENTE

Serán de PP-R 100 Tipo 3 Tricapa Serie 3.2 (CLASE 16) DIN 8077- DIN 8078 Capa Interior Antibacteria - Capa Exterior Anti UV, del tipo de empalmes por termofusión, a través de una máquina y dados de termofusión del mismo fabricante. Los accesorios serán de PP-R 100 Serie 2.5 (CLASE 20) DIN 8077, 8078, 16962. Esta termofusión deberá realizarse por temperatura, cuyo rango será 260°C-280°C. Todas las uniones roscadas se sellarán con cinta de teflón y formador de empaquetadura.

5.5.3. VÁLVULAS DE CONTROL DE AGUA FRÍA Y CALIENTE

Serán del tipo llave de paso, fabricadas con cuerpo de PP-R100 Tipo 3 Serie 2.5, vástago de latón con proceso antideszincificación DZR, manilla cromada o metálica y canopla cromada o plástica respectivamente, para una presión de trabajo de 150 Lbs/pulg² (PN10); llevarán en alto relieve la marca del fabricante y serie del cuerpo de PP-R100 (Serie 2.5) y serán instaladas según las indicaciones de los planos.

Como alternativa puede ser del tipo esférico (llaves de bola Universal DRA), de paso completo, fabricadas íntegramente en aleación de cobre DRA cromado con proceso antideszincificación DZR, para una presión de trabajo PN20; llevarán en alto relieve la marca del fabricante y la presión de trabajo. Contará con extremos de fusión y/o rosca interna (HI) y/o externa (HE) y serán instaladas según las indicaciones de los planos.

5.5.4. MANO DE OBRA

La mano de obra se ejecutará siguiendo las normas de origen y recomendaciones de instalación del fabricante. Asimismo el instalador deberá demostrar que está acreditado y/o capacitado por el fabricante para instalar sistemas polipropileno agua fría y/o caliente.

5.5.5. TAPONADO DE SALIDAS DE AGUA FRÍA Y CALIENTE

Todas las salidas de agua fría y caliente, deben ser taponadas inmediatamente después de terminadas y permanecerán así hasta la colocación de aparatos para evitar se introduzcan materias extrañas a las tuberías que puedan ocasionar un atoro o rotura de los mismos. Todos los tapones de agua serán de PP-R100 Tipo 3 Serie 2.5.

5.5.6. PRUEBA HIDRÁULICA

Las pruebas se harán de la siguiente manera:

a) Prueba de presión con bomba de mano para las tuberías de agua, debiendo soportar una presión de 150 Lbs/pulg². Inclusive pueden presentar variaciones de presión de hasta 3 Lbs/pulg² en una hora de prueba.

b) Las pruebas de las tuberías se podrán efectuar parcialmente a medida que el trabajo vaya avanzando, debiendo realizarse al final una prueba general.

5.6. REPARACIONES

En esta parte de la tesis analizaremos una diferencia importante entre el PVC y el polipropileno, el cual consiste en la forma de reparación que existe, debido al tipo de instalación que tiene el polipropileno, existen varios métodos para reparar las tuberías, nos centraremos en analizarlas.

Las filtraciones en las tuberías de polipropileno unidas por termofusión, se producen por dos causas fundamentalmente:

Por deficiencia en la termofusión

Este tipo de fallas ocurre principalmente por descuidos en la mano de obra y es debido a que no se aplica el procedimiento adecuado para la termofusión como puede ser:

- Temperatura de la máquina de termofusión, fuera del rango de temperatura de trabajo (entre 260 °C y 280°C).
- No respetar el tiempo de calentamiento y la profundidad de inserción, marcado por cada diámetro.
- Presencia de agua, humedad o suciedad adherida al tubo, por ejemplo: pintura, cemento, yeso, igol, impermeabilizante, etc.

Para evitar estas fallas es necesario seguir los procedimientos indicados por el fabricante.

Por perforaciones

Es la principal causa de las reparaciones y normalmente ocurren durante la ejecución de la obra y por las siguientes causas:

- Por perforaciones para fijar las cuñas durante la obra de construcción.
- Por perforaciones en la instalación de topes de puertas.
- Perforaciones por la instalación de aplicaciones eléctricas en el cielo de pasillos o departamentos, etc.

Para evitar este tipo de reparaciones, se debe dejar claramente establecido el trazado de las tuberías.

Cuando ocurra alguna filtración, ya sea por termofusión deficiente o perforación existen tres formas de reparación.

- Tarugo termo-fusión
- Coplas fusión/fusión
- Coplas electro fusión

5.6.1. TARUGOS TERMOFUSIONADOS

Elementos necesarios:



Foto n° 3: Máquina Termofusora

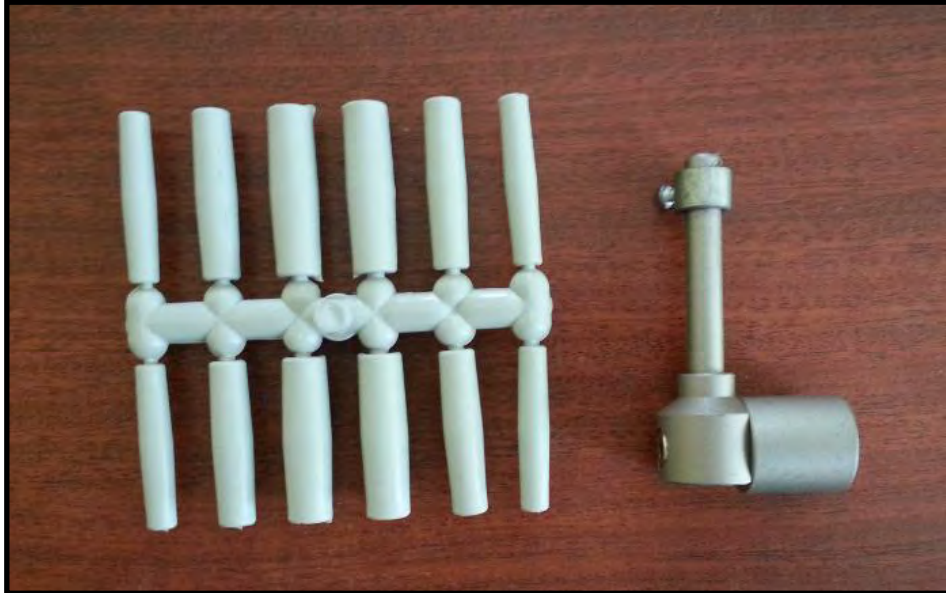


Foto n° 4: Tarugos PP-R (izquierda) y dados de reparación (derecha).

Este sistema de reparación se usa cuando hay un clavo o tornillo que no ha atravesado ambas paredes, que corresponden a las perforaciones típicas en obra.

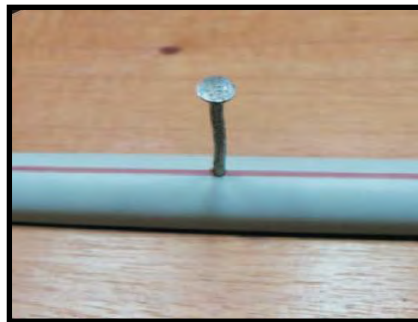


Foto n° 5: Perforación de tubería por un clavo.

El procedimiento consistirá en:

- a) Rectificar la perforación con una broca helicoidal según el diámetro del tarugo a utilizar, la broca debe ser 0.5mm menor al tarugo a emplear.



Foto n° 6: Rectificar la perforación.

- b) Introducir la punta del dado en la perforación del tubo rectificado y simultáneamente calentar el tarugo en el dado hembra, durante el tiempo indicado en la tabla siguiente (5 segundos).



Foto n° 7: Dado en el orificio a reparar.

- c) Introducir el tarugo en la perforación rápidamente y sostenerlo por algunos segundos.

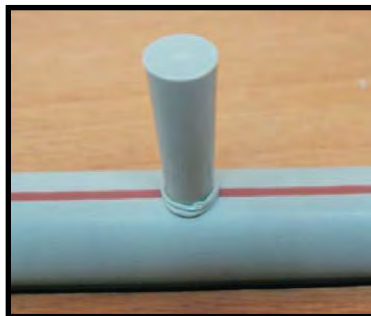


Foto n° 8: Tarugo dentro de la perforación.

d) Dejar enfriar la reparación 2 minutos antes de la prueba de presión.



Foto n° 9: Corte Del Tarugo.



Foto n° 10: Reparación por tarugos.

Diámetro de tarugo	Broca helicoidal	Tiempo de calentamiento
7 mm	6.5 mm	5/segs.
9mm	8.5 mm	5/segs.
11 mm	10.5 mm	5/segs.

Tabla n° 13: Tablas de reparaciones por dados según diámetros.

5.6.2. REPARACIÓN POR COPLAS FUSION

Elementos necesarios

- Máquina de termofusión
- Dados de diámetro apropiado
- Copla fusión/fusión

Este sistema es generalmente usado, consiste en reemplazar el tramo perforado por otro nuevo con coplas fusión, para lo cual inclusive se pueden usar dos maquinas termofusoras al mismo tiempo calentando en una el accesorio y en otra la tubería; también pueden emplearse dados largos especiales, según se requiera.

5.6.3. REPARACIÓN ELECTROFUSIÓN

Elementos necesarios



Foto n° 11: Máquina de electrofusión.



Foto n° 12: Copla Electrofusión.

Este método de reparación se utiliza cuando la perforación atravesó ambas paredes de una tubería, el procedimiento es el siguiente.

- a) Descubrir unos 30 cm de la tubería
- b) Cortar un tramo de la tubería que tenga un largo igual a dos coplas electro fusión.

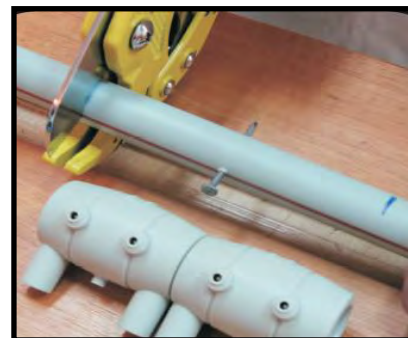
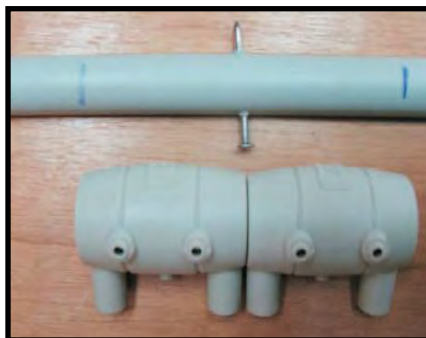


Foto n° 13: Corte de Tubería para colocar coplas electrofusión.

- c) Devastar los extremos de las tuberías con un raspador



Foto n° 14: Desbastar Tubería

- d) Reemplazar dicho tramo con dos coplas electro fusión

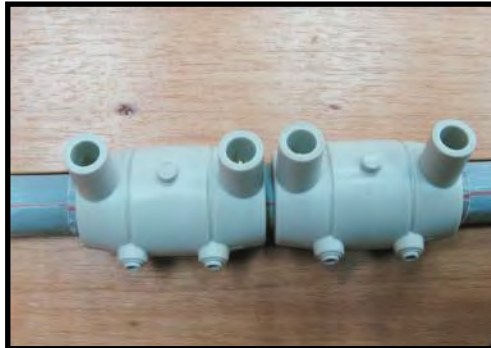


Foto n° 15: Reemplazar los tramos con coplas

- e) Se ubica este nuevo tramo en el lugar donde se retiró la tuberías perforada desplazando las coplas electro fusión hacia los extremos y dejándolas centradas en los cortes.
- f) A continuación se instala los conectores de la máquina en los terminales de las coplas, la que contiene una resistencia eléctrica inferior y que se calienta.

g) Dejar enfriar 30 minutos antes de aplicar presión.



Foto n° 16: Encendiendo la electrofusora

Nota: Es importante señalar que para un buen resultado de cualquiera de estos métodos de reparación, es indispensable que la tubería este 100% seca.

Como se observa existen muchas maneras de realizar reparaciones cuando se usa tuberías y accesorios de polipropileno, por lo cual se concluye que si bien tiene diferencias en cuanto al PVC en cuestión de reparaciones, estas son solucionables en la medida de la experiencia del instalador.

5.6.4 FALLAS OCASIONADAS POR EL EQUIPO TERMOFUSOR

Debido a que la única herramienta indispensable que es requerida para el proceso de termofusión es la máquina termofusora, es necesario observar las principales fallas que presenta cuando estas máquinas se encuentran en obra.

% Ocurrencias de Máquinas

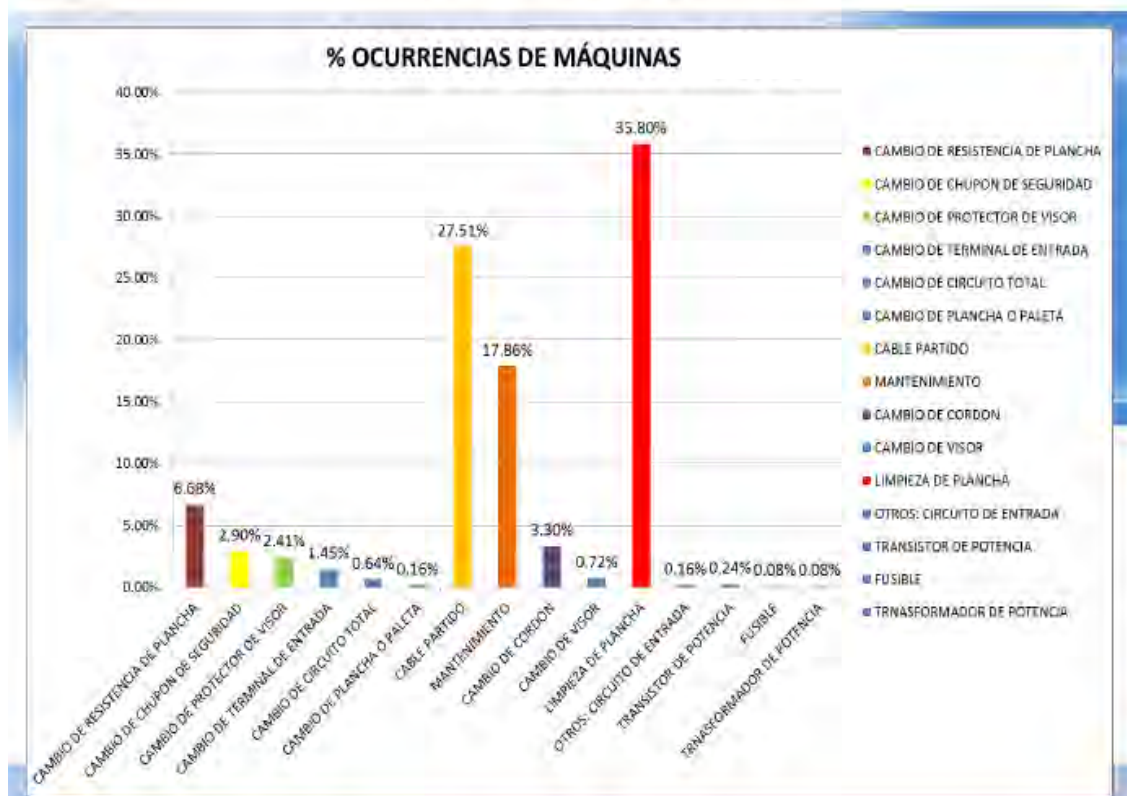


Gráfico n° 11: Ocurrencias de máquinas

Como se observa en los gráficos el mayor problema que se presenta en las máquinas termofusoras son el cambio de cable partido, el cual se desgasta debido a un mal manejo de la máquina a la hora de transportarlo y la limpieza de planchas, ambos problemas son fácilmente solucionables.

CAPITULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO

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 "A" con el precio de la marca "B"; siendo la mas 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 (materia prima), Valores agregados (asesoría técnica y capacitaciones), servicio de mantenimiento preventivo y correctivo de maquinas termofusoras (sin las cuales no se puede realizar los trabajos), 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.

6.1. CONSIDERACIONES PARA COMPARATIVOS ECONÓMICOS

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.

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

Ítem	Descripción Sistema Convencional PVC,CPVC - F°G° - Bronce	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.

Tabla n° 14: Consideraciones para el análisis económico.

- De lo anteriormente descrito se puede observar que con 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.

6.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN EDIFICIO TÍPICO

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 de una edificación multifamiliar típica, ya que como se observó en gráficos anteriores es en estas edificaciones donde es más usado el polipropileno en las instalaciones sanitarias interiores.

Se eligió una edificación de cinco pisos con veinte departamentos en total.

En las siguientes tablas comparativas se observa este tipo de análisis

6.2.1 ANALISIS COMPARATIVO CONSIDERANDO LLAVES MANILLA AZUL.

Para este análisis se consideró usar llaves de manilla azul para las válvulas del edificio, esto debido a que este tipo de válvula no usa nichos.

POLIPROPILENO			
EDIFICIO TÍPICO 5 PISOS 20 DEPARTAMENTOS			
Instalaciones Sanitarias Interiores Agua Fría			
Cantidad	Descripción	V. Unit.	Total
361	TB 25mm R3 PN-10	4.56	1,646.16
168	TB 20mm R3 PN-10	2.94	493.92
326	CODO 25x90 FUSION PP R-3	1.12	365.12
166	CODO 20x90 FUSION PP R-3	0.87	144.42
84	CODO 20x1/2 HI R.MET R-3	5.54	465.36
20	CODO 25x1/2 HI R.MET R-3	7.28	145.60
20	TEE 25x1/2 HI R.MET R-3	7.32	146.40
20	TEE 25x25 FUSION PP R-3	1.41	28.20
20	TEE 20x20 FUSION PP R-3	1.09	21.80
4	TEE RED.25X25X20 FUS.PP R-3	2.61	10.44
40	TEE RED.25x20x25 FUS.PP R-3	1.52	60.80
20	TEE RED.25x20x20 FUS.PP R-3	1.61	32.20
60	LL.PASO 25m/m MET.MANILLA AZUL FUS. R-3	23.64	1,418.40
44	LL.PASO 20m/m MET.MANILLA AZUL FUS. R-3	21.65	952.60
20	UNION FUSION HE 25X3/4 R-3	2.08	41.60
20	UNION FUSION HE 20X1/2 R-3	1.25	25.00
24	COPLA 20 FUSION PP R-3	0.71	17.04
60	COPLA 25 FUSION PP R-3	0.88	52.80
2	MAQ.FUSIOTHERM 800W C/CAJA	412.44	824.88
Total			SI. 6,892.74

Tabla n° 15: Costos de los materiales Polipropileno agua fría.

PVC			
EDIFICIO TÍPICO 5 PISOS 20 DEPARTAMENTOS			
Instalaciones Sanitarias Interiores Agua Fría			
Cantidad	Descripción	V. Unit.	Total
361	TUBO 3/4" PVC C-10	1.27	458.47
168	TUBO 1/2" PVC C-10	0.99	166.32
326	CODO 90X3/4"	0.83	270.58
166	CODO 90X1/2"	0.56	92.96
84	CODO 90X1/2" FG	0.69	57.96
84	ADAPTADOR 1/2"	0.28	23.52
20	CODO F° G° 3/4" X 90°	0.97	19.40
20	ADAPTADOR PVC CL-10 MACHO Ø 3/4"	0.42	8.31
20	TEE PVC CL-10 Ø 3/4" X 3/4" ROSCADO	2.52	50.40
40	ADAPTADOR PVC CL-10 MACHO Ø 3/4"	0.42	16.63
20	TEE 3/4" PVC	1.14	22.80
20	TEE 1/2" PVC	0.72	14.40
4	TEE 3/4" PVC	1.14	4.56
4	REDUCCION 3/4" X 1/2"	0.39	1.56
40	TEE 3/4" PVC	1.14	45.60
40	REDUCCION 3/4" X 1/2"	0.39	15.60
20	TEE 3/4" PVC	1.14	22.80
40	REDUCCION 3/4" X 1/2"	0.39	15.60
60	LLAVE ESFERICA 3/4"	16.44	986.40
120	UNION UNIVERSAL 3/4" FG	3.60	432.00
120	ADAPTADOR 3/4"	0.42	50.40
44	LLAVE ESFERICA 1/2"	10.62	467.28
88	UNION UNIVERSAL 1/2" FG	2.91	256.08
88	ADAPTADOR 1/2"	0.28	24.64
20	ADAPTADOR 3/4"	0.42	8.40
20	ADAPTADOR 1/2"	0.28	5.60
24	UNION 1/2" PVC	0.39	9.36
60	UNION 3/4" PVC	0.57	34.20
60	PEGAMENTO	12.82	769.20
12	LIMPIADOR PVC TUBERIAS	15.93	191.16
60	ADEX	3.80	228.00
450	CINTA TEFLON	0.69	310.50
40	HOJA DE SIERRA	3.11	124.40
Total		S/.	5,205.09

Tabla n° 16: Costos de los materiales PVC agua fría.

SANITARIA / AGUA CALIENTE PP-R			
CONDOMINIO PUENTE PIEDRA			
Instalaciones Sanitarias Interiores Agua Caliente			
Cantidad	Descripción	V. Unit.	Total
319	TB 16mm R3 PN-16	3.70	1,180.30
300	CODO 16x90 FUSION PP R-3	0.62	186.00
100	CODO 16x1/2 HI R.MET R-3	4.91	491.00
20	TEE 16x1/2 HI R.MET R-3	5.79	115.80
60	TEE 16x16 FUSION PP R-3	0.88	52.80
80	LL.PASO 16m/m MET.MANILLA ROJA FUS. R-3	20.29	1,623.20
40	UNION FUSION HE 16X1/2 R-3	1.20	48.00
60	COPLA 16 FUSION PP R-3	0.57	34.20
		Total	S/. 3,731.30

	TOTAL MATERIAL AF		S/.	6,892.74
	TOTAL MATERIAL AC		S/.	3,731.30
	TOTAL PARCIAL		S/.	10,624.04
0	CAJUELAS O NICHOS	30.00		0.00
	TOTAL		S/.	10,624.04

Tabla n° 17: Costos de los materiales Polipropileno agua caliente y total.

SANITARIA / AGUA CALIENTE CPVC			
CONDOMINIO PUENTE PIEDRA			
Instalaciones Sanitarias Interiores Agua Caliente			
Cantidad	Descripción	V. Unit.	Total
319	TUBO 1/2" CPVC	3.69	1,177.11
300	CODO 90X1/2" CPVC	0.37	111.00
100	CODO 90X1/2" FG	2.28	228.00
100	ADAPTADOR 1/2" CPVC	0.39	39.00
20	TEE Ø 1/2" X 1/2" F° G°	1.59	31.80
20	ADAPTADOR CPVC MACHO Ø 1/2"	0.39	7.80
60	TEE CPVC Ø 1/2" X 1/2"	0.57	34.20
80	LLAVE ESFERICA 1/2"	10.62	849.60
160	UNION UNIVERSAL 1/2" CPVC	3.63	580.80
160	ADAPTADOR 1/2" CPVC	0.39	62.40
40	ADAPTADOR 1/2" CPVC	0.39	15.60
60	UNION 1/2" CPVC	0.92	55.20
30	PEGAMENTO	24.16	724.80
10	LIMPIADOR PVC TUBERIAS	15.93	159.30
20	ADEX	3.80	76.00
300	CINTA TEFLON	0.69	207.00
40	HOJA DE SIERRA	3.11	124.40
		Total	S/. 4,484.01
	TOTAL MATERIAL AF		S/. 5,205.09
	TOTAL MATERIAL AC		S/. 4,484.01
	TOTAL PARCIAL		S/. 9,689.10
184	CAJUELAS O NICHOS	30.00	S/. 5,520.00
	TOTAL		S/. 15,209.10

Tabla n° 18: Costos de los materiales CPVC para agua caliente y total.

6.2.2 ANALISIS 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.

POLIPROPILENO			
EDIFICIO TÍPICO 5 PISOS 20 DEPARTAMENTOS			
Instalaciones Sanitarias Interiores Agua Fría			
Cantidad	Descripción	V. Unit.	Total
361	TB 25mm R3 PN-10	4.56	1,646.16
168	TB 20mm R3 PN-10	2.94	493.92
326	CODO 25x90 FUSION PP R-3	1.12	365.12
166	CODO 20x90 FUSION PP R-3	0.87	144.42
84	CODO 20x1/2 HI R.MET R-3	5.54	465.36
20	CODO 25x1/2 HI R.MET R-3	7.28	145.60
20	TEE 25x1/2 HI R.MET R-3	7.32	146.40
20	TEE 25x25 FUSION PP R-3	1.41	28.20
20	TEE 20x20 FUSION PP R-3	1.09	21.80
4	TEE RED.25X25X20 FUS.PP R-3	2.61	10.44
40	TEE RED.25x20x25 FUS.PP R-3	1.52	60.80
20	TEE RED.25x20x20 FUS.PP R-3	1.61	32.20
60	LL.BOLA 25m/m CUERPO MET FUS/FUS	55.58	3,334.80
44	LL.BOLA 20m/m CUERPO MET FUS/FUS	34.34	1,510.96
20	UNION FUSION HE 25X3/4 R-3	2.08	41.60
20	UNION FUSION HE 20X1/2 R-3	1.25	25.00
24	COPLA 20 FUSION PP R-3	0.71	17.04
60	COPLA 25 FUSION PP R-3	0.88	52.80
2	MAQ.FUSIOTHERM 800W C/CAJA	412.44	824.88
Total			S/. 9,367.50

Tabla n° 19: Costos de los materiales Polipropileno agua Fría.

PVC			
EDIFICIO TÍPICO 5 PISOS 20 DEPARTAMENTOS			
Instalaciones Sanitarias Interiores Agua Fría			
Cantidad	Descripción	V. Unit.	Total
361	TUBO 3/4" PVC C-10	1.27	458.47
168	TUBO 1/2" PVC C-10	0.99	166.32
326	CODO 90X3/4"	0.83	270.58
166	CODO 90X1/2"	0.56	92.96
84	CODO 90X1/2" FG	0.69	57.96
84	ADAPTADOR 1/2"	0.28	23.52
20	CODO F° G° 3/4" X 90°	0.97	19.40
20	ADAPTADOR PVC CL-10 MACHO Ø 3/4"	0.42	8.31
20	TEE PVC CL-10 Ø 3/4" X 3/4" ROSCADO	2.52	50.40
40	ADAPTADOR PVC CL-10 MACHO Ø 3/4"	0.42	16.63
20	TEE 3/4" PVC	1.14	22.80
20	TEE 1/2" PVC	0.72	14.40
4	TEE 3/4" PVC	1.14	4.56
4	REDUCCION 3/4" X 1/2"	0.39	1.56
40	TEE 3/4" PVC	1.14	45.60
40	REDUCCION 3/4" X 1/2"	0.39	15.60
20	TEE 3/4" PVC	1.14	22.80
40	REDUCCION 3/4" X 1/2"	0.39	15.60
60	LLAVE ESFERICA 3/4"	16.44	986.40
120	UNION UNIVERSAL 3/4" FG	3.60	432.00
120	ADAPTADOR 3/4"	0.42	50.40
44	LLAVE ESFERICA 1/2"	10.62	467.28
88	UNION UNIVERSAL 1/2" FG	2.91	256.08
88	ADAPTADOR 1/2"	0.28	24.64
20	ADAPTADOR 3/4"	0.42	8.40
20	ADAPTADOR 1/2"	0.28	5.60
24	UNION 1/2" PVC	0.39	9.36
60	UNION 3/4" PVC	0.57	34.20
60	PEGAMENTO	12.82	769.20
12	LIMPIADOR PVC TUBERIAS	15.93	191.16
60	ADEX	3.80	228.00
450	CINTA TEFLON	0.69	310.50
40	HOJA DE SIERRA	3.11	124.40
Total			S/. 5,205.09

Tabla n° 20: Costos de los materiales PVC agua Fría.

EDIFICIO TÍPICO 5 PISOS 20 DEPARTAMENTOS			
Instalaciones Sanitarias Interiores Agua Caliente PP-R			
Cantidad	Descripción	V. Unit.	Total
319	TB 16mm R3 PN-16	3.70	1,180.30
300	CODO 16x90 FUSION PP R-3	0.62	186.00
100	CODO 16x1/2 HI R.MET R-3	4.91	491.00
20	TEE 16x1/2 HI R.MET R-3	5.79	115.80
60	TEE 16x16 FUSION PP R-3	0.88	52.80
80	LL.BOLA 20m/m CUERPO MET FUS/FUS	30.34	2,427.20
40	UNION FUSION HE 16X1/2 R-3	1.20	48.00
60	COPLA 16 FUSION PP R-3	0.57	34.20
160	BUJE RED.20x16 FUS.PP R-3	0.57	91.20
Total			S/. 4,626.50

	TOTAL MATERIAL AF		S/.	9,367.50
	TOTAL MATERIAL AC		S/.	4,626.50
	TOTAL PARCIAL		S/.	13,994.00
184	CAJUELAS O NICHOS	20.00	S/.	3,680.00
TOTAL			S/.	17,674.00

Tabla n° 21: Costos de los materiales Polipropileno agua caliente y total.

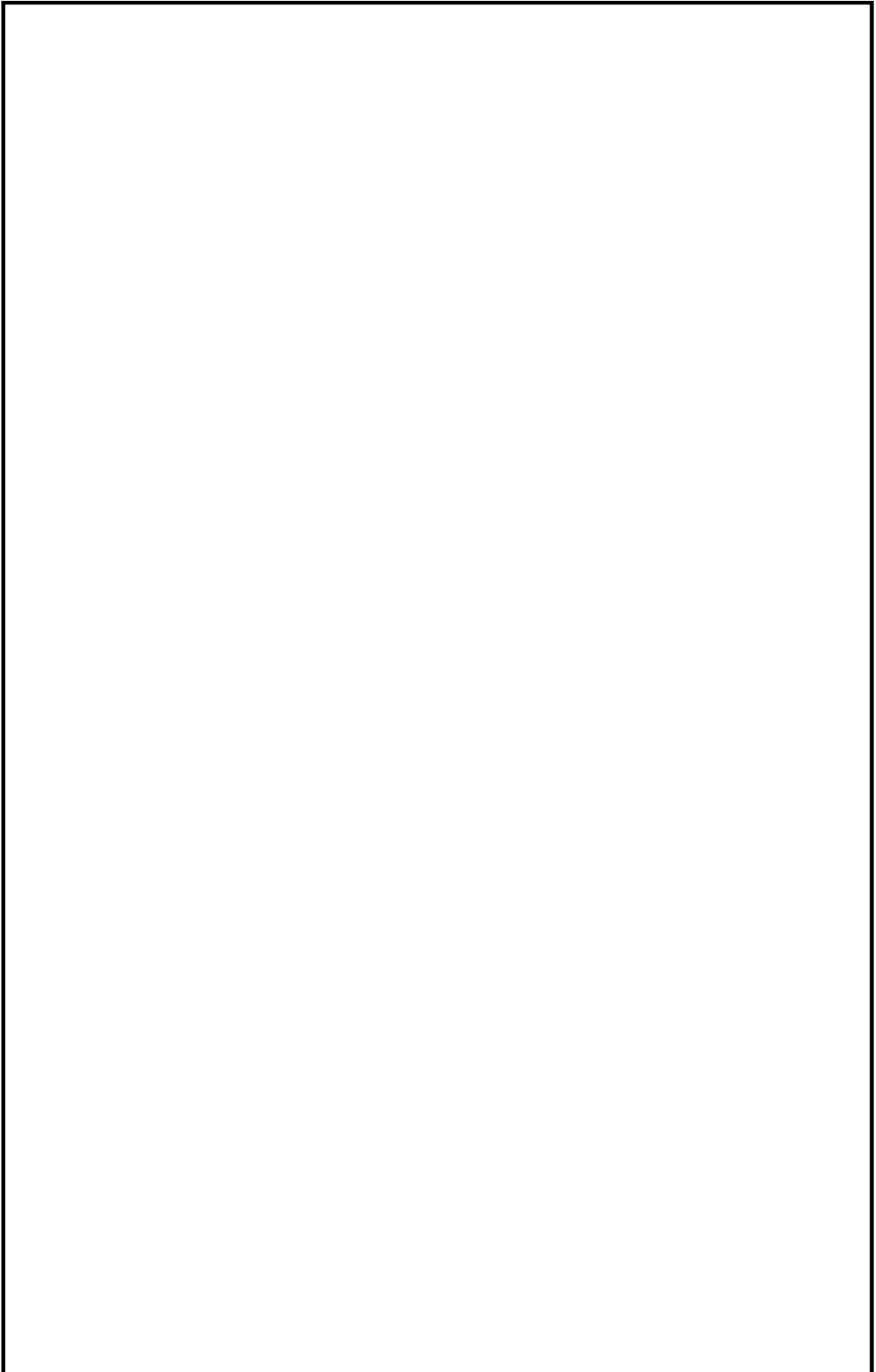
EDIFICIO TÍPICO 5 PISOS 20 DEPARTAMENTOS			
Instalaciones Sanitarias Interiores Agua Caliente CPVC			
Cantidad	Descripción	V. Unit.	Total
319	TUBO 1/2" CPVC	3.69	1,177.11
300	CODO 90X1/2" CPVC	0.37	111.00
100	CODO 90X1/2" FG	2.28	228.00
100	ADAPTADOR 1/2" CPVC	0.39	39.00
20	TEE Ø 1/2" X 1/2" F° G°	1.59	31.80
20	ADAPTADOR CPVC MACHO Ø 1/2"	0.39	7.80
60	TEE CPVC Ø 1/2" X 1/2"	0.57	34.20
80	LLAVE ESFERICA 1/2"	10.62	849.60
160	UNION UNIVERSAL 1/2" CPVC	3.63	580.80
160	ADAPTADOR 1/2" CPVC	0.39	62.40
40	ADAPTADOR 1/2" CPVC	0.39	15.60
60	UNION 1/2" CPVC	0.92	55.20
30	PEGAMENTO	24.16	724.80
10	LIMPIADOR PVC TUBERIAS	15.93	159.30
20	ADEX	3.80	76.00
300	CINTA TEFLON	0.69	207.00
40	HOJA DE SIERRA	3.11	124.40
Total			S/. 4,484.01

	TOTAL MATERIAL AF		S/. 5,205.09
	TOTAL MATERIAL AC		S/. 4,484.01
	TOTAL PARCIAL		S/. 9,689.10
184	CAJUELAS O NICHOS	30.00	S/. 5,520.00
TOTAL			S/. 15,209.10

Tabla n° 22: Costos de los materiales CPVC para agua caliente y total.

En las tablas podemos observar que el uso de las válvulas de bola en lugar de las válvulas de manilla azul encarece el presupuesto, ya que es necesario considerar los nichos o cajuelas; las cuales no son necesarias si se considera las válvulas de manilla azul.

El plano del edificio analizado se adjunta en la página siguiente.



CAPITULO VII

PRUEBAS DE LABORATORIO

7.1. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDA DE CARGA EN ACCESORIOS Y TUBERÍA.

Las pruebas realizadas y detalladas en el presente trabajo; surgen como necesidad para poder cumplir con el desarrollo de lo planteado en la tesis.

Específicamente para poder realizar, de manera satisfactoria, el análisis técnico entre las tuberías de PVC y las tuberías de Polipropileno, cuyas siglas son PP-R; esto es debido a que, no existe mucha información bibliográfica al respecto sobre las tuberías de PP-R; específicamente sobre los coeficientes de Rugosidad absoluta, coeficiente “f” de Darcy; lo cual es totalmente opuesto a las tuberías de PVC, las cuales han sido estudiadas ampliamente y cuentan con abundante información bibliográfica; ya sea en textos y/o manuales de Hidráulica de Tuberías y en diversos Catálogos.

Para poder afrontar la falta de información técnica bibliográfica, con respecto a las tuberías de PP-R, se recurre a la realización de estas pruebas empíricas; cuya finalidad principal consiste en determinar y verificar los valores de rugosidad absoluta, que se encuentran indicados en los catálogos de la empresa que comercializa las tuberías de PP-R.

7.2. OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS

General:

- Determinar los coeficientes hidráulicos para las tuberías y accesorios de PP-R.

Específico:

- Determinar la rugosidad absoluta “Ks” para las tuberías de Polipropileno.

7.3. FUNDAMENTO TEÓRICO

7.3.1 Pérdida de Carga

La pérdida de carga en una tubería o canal, es la pérdida de energía dinámica del fluido debida a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene.

Pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidental o localizada, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.

7.3.2 Pérdida de carga en conducto rectilíneo

Si el flujo es uniforme, es decir que la sección es constante, y por lo tanto la velocidad también es constante, el Principio de Bernoulli, entre dos puntos puede escribirse de la siguiente forma:

$$y_1 + \frac{P_1}{\rho g} = y_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \sum \lambda$$

Donde:

- g = constante gravitatoria;
- y_i = altura geométrica en la dirección de la gravedad en la sección $i = 1$ ó 2 ;
- P = presión a lo largo de la línea de corriente;
- ρ = densidad del fluido;
- $\sum \lambda$ = pérdida de carga; $\sum \lambda = J.L$; siendo L la distancia entre las secciones 1 y 2; y, J el gradiente o pendiente piezométrica, valor que se determina empíricamente para los diversos tipos de material, y es función del radio hidráulico y de la rugosidad de las paredes y de la velocidad media del agua.

7.3.3 Pérdidas de carga localizadas

Las pérdidas de cargas localizadas o accidentales se expresan como una fracción o un múltiplo de la llamada "altura de velocidad" de la forma:

$$h_v = K \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

- h_v = pérdida de carga localizada;
- V = velocidad media del agua, antes o después del punto singular, conforme el vaso;
- K = Coeficiente determinado en forma empírica para cada tipo de punto singular

Cuadro de coeficientes por tipo de singularidad

Tipo de singularidad	K
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de compuerta mitad abierta	5,6
Curva de 90°	1,0
Curva de 45°	0,4
Válvula de pie	2,5
Emboque (entrada en una tubería)	0,5
Salida de una tubería	1,0
Ensanchamiento brusco	$(1-(D1/D2)^2)^2$
Reducción brusca de sección (Contracción)	$0,5(1-(D1/D2)^2)^2$

Tabla n°23: Cuadro de coeficientes por tipo de singularidad.

7.3.4. Pérdidas de cargas en dinámica de fluidos

Pérdida de carga primarias

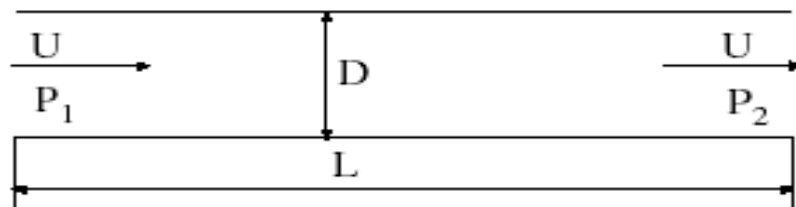


Figura n°25: Flujo en una tubería horizontal.

Consecuencia del movimiento de un fluido viscoso de un fluido viscoso de viscosidad dinámica, μ , densidad, ρ , con una velocidad característica, U , en un conducto de longitud L y diámetro D de rugosidad de pared, ϵ . Las caídas de presión producidas en el conducto horizontal entre los tramos 1 y 2 (1, como consecuencia de los efectos de la viscosidad, se pueden expresar como:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho U_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho U_2^2 + \Delta p_{12} \quad (1)$$

donde

$$\Delta p_{12} = f(L, D, \epsilon, \rho, \mu, U)$$

Son las pérdidas de carga entre los puntos 1 y 2.

Realizando el análisis dimensional del problema se puede expresar de la forma:

$$\frac{\Delta p_{12}}{\frac{1}{2}\rho U^2} = g\left(\frac{\rho U D}{\mu}, L/D, \epsilon/D\right)$$

Experimentalmente se ha visto que la dependencia con L/D es lineal, de modo que tenemos:

$$f = \frac{\Delta p_{12}}{\frac{1}{2}\rho U^2} \frac{D}{L} = f(Re, \epsilon/D) \quad (2)$$

Donde f es el factor de fricción que depende del número de Reynolds, $Re = U \cdot D / \nu$, y de la rugosidad relativa, ϵ/D . Dicho factor de fricción viene representado en el denominado diagrama de Moody de la figura 16.

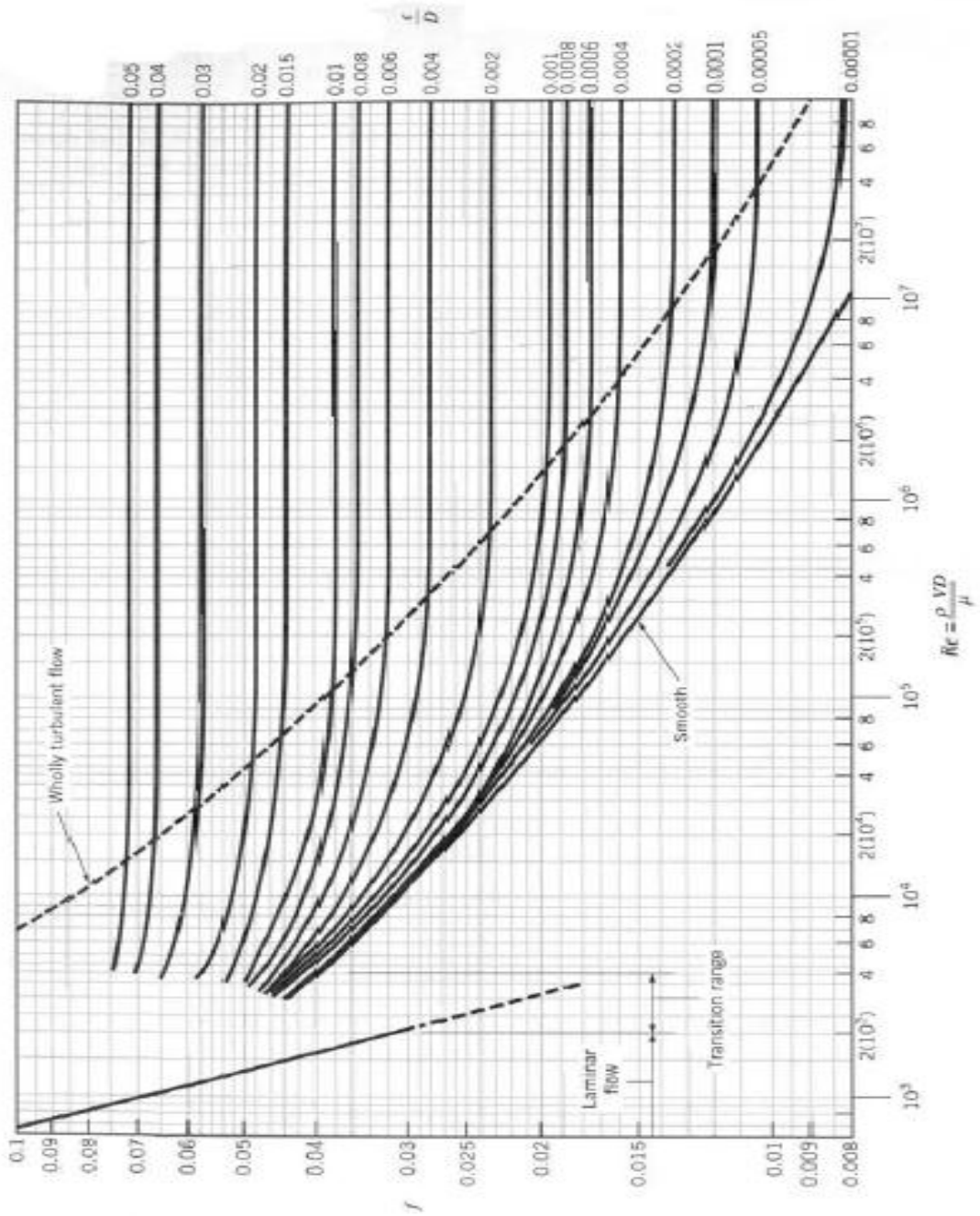


Figura n°26: Diagrama de Moody.

7.3.5. Pérdida de cargas secundarias

Las pérdidas de carga secundarias, producidas en zonas localizadas de los conductos, se expresan en forma adimensional por el denominado coeficiente de pérdidas, K:

$$K = \frac{\Delta p_{12}}{\frac{1}{2}\rho U^2}$$

Donde Δp_{12} son las pérdidas de carga que se producen en el elemento considerado.

Las pérdidas de carga antes señaladas son las correspondientes a los efectos de la viscosidad exclusivamente. Estas pérdidas, no obstante, no pueden ser medidas directamente sino a través de las medidas de diferencia de presión estática entre la entrada y la salida del elemento en cuestión. La presión estática varía debido a:

- Variaciones del área en los conductos.
- Variaciones de la altura.
- Existencia de componentes transversales de la velocidad.

7.3.6. Ecuación de Bernoulli

La denominada ecuación o teorema de Bernoulli representa el principio de conservación de la energía mecánica aplicado al caso de una corriente fluida ideal, es decir, con un fluido sin viscosidad (y sin conductividad térmica). El nombre del teorema es en honor a Daniel Bernoulli, matemático suizo del siglo XVIII (1700-1782), quien, a partir de medidas de presión y velocidad en conductos, consiguió relacionar los cambios habidos entre ambas variables. Sus estudios se plasmaron en el libro "Hidrodinámica", uno de los primeros tratados publicados sobre el flujo de fluidos, que data de 1738.

Para la deducción de la ecuación de Bernoulli en su versión más popular se admitirán las siguientes hipótesis (en realidad se puede obtener una ecuación de Bernoulli más general si se acomodan las dos primeras hipótesis, es decir, si reconsidera flujo incompresible y no estacionario):

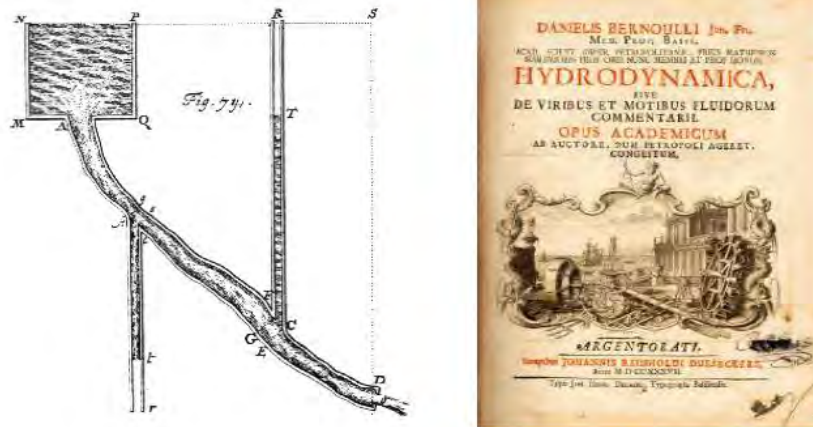


Figura n°27: Portada del libro "Hidrodinámica" y esquema de un ensayo.

- Flujo estacionario (es decir, invariable en el tiempo).
- Flujo incompresible (densidad ρ constante).
- Fluido no viscoso.
- Fuerzas presentes en el movimiento: fuerzas superficiales de presión y fuerzas másicas gravitatorias (= peso del fluido).
- No hay intercambio de trabajo o calor con el exterior del flujo.

Considérese un tubo de corriente como el representado en la Figura 2, con una porción de fluido delimitada por las secciones rectas S_1 y S_2 en un cierto instante, con áreas A_1 y A_2 , y situadas a cotas z_1 y z_2 respecto a una referencia de altitud.

Como la superficie del tubo de corriente está formada por líneas de corriente, es decir, el vector velocidad es tangente a ellas y el fluido no las puede atravesar, y además la densidad es constante, el caudal $Q = v \cdot A$, circulante por el interior del tubo de corriente habrá de ser el

mismo para cualquier sección. Se admitirá que el tubo de corriente es lo bastante estrecho como para que en ambas secciones transversales S_1 y S_2 la velocidad y la presión del flujo se puedan considerar uniformes, con valores v_1 y p_1 , y v_2 y p_2 respectivamente (en caso necesario, el tubo de corriente podría quedar reducido a una sola línea de corriente).

$$dx_1 = v_1 dt, \text{ y } dx_2 = v_2 dt$$

Al cabo de un pequeño intervalo de tiempo, dt , la porción de fluido se habrá desplazado ligeramente hasta quedar delimitada por las nuevas secciones transversales S'_1 y S'_2 . Estas nuevas secciones están separadas respectivamente de S_1 y S_2 por las distancias. Este desplazamiento conlleva un cambio en la energía de la porción de fluido considerada, cambio que, según el Primer Principio de la Termodinámica, deberá ser igual al trabajo de las fuerzas actuantes sobre ese elemento, es decir, al trabajo de las fuerzas de presión y de las fuerzas gravitatorias.

Para estas últimas, que están generadas por un campo conservativo (el campo gravitatorio), su trabajo se puede interpretar como una variación de energía potencial.

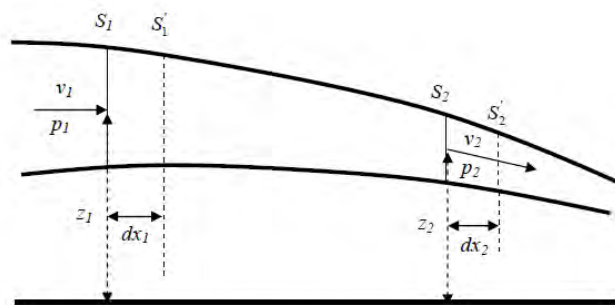


Figura n°28: Elemento De Fluido Considerado.

Así pues, la variación de energía en la porción de fluido considerada, durante el tiempo dt , se puede expresar como:

$$dE = dE_C + dE_{PG} = dW_P \quad (1)$$

Donde dE_C y dE_{PG} son las variaciones de energía cinética y de energía potencial gravitatoria, y dW_P es el trabajo de las fuerzas de presión actuantes sobre el elemento de fluido.

La variación de energía cinética es igual a la ganancia de energía cinética habida en la zona de las secciones $S_2 - S'_2$, menos la correspondiente reducción habida en la zona de las secciones $S_1 - S'_1$:

$$\begin{aligned} dE_C &= dE_{C2} - dE_{C1} = dm_2 \frac{v_2^2}{2} - dm_1 \frac{v_1^2}{2} = \rho A_2 dx_2 \frac{v_2^2}{2} - \rho A_1 dx_1 \frac{v_1^2}{2} = \\ &= \rho A_2 v_2 dt \frac{v_2^2}{2} - \rho A_1 v_1 dt \frac{v_1^2}{2} = \rho Q dt \left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

De modo análogo, la variación de energía potencial gravitatoria es:

$$\begin{aligned} dE_{PG} &= dE_{PG2} - dE_{PG1} = dm_2 g z_2 - dm_1 g z_1 = \rho A_2 dx_2 g z_2 - \rho A_1 dx_1 g z_1 = \\ &= \rho A_2 v_2 dt g z_2 - \rho A_1 v_1 dt g z_1 = \rho Q dt (g z_2 - g z_1) \end{aligned} \quad (3)$$

Por su lado, el trabajo de las fuerzas de presión actuantes sobre el contorno se puede determinar evaluando por separado los trabajos sobre las secciones S_1 y S_2 , como producto de las correspondientes fuerzas de presión por los desplazamientos habidos durante el intervalo de tiempo dt :

$$\left. \begin{aligned} dW_1 &= p_1 A_1 dx_1 = p_1 A_1 v_1 dt = p_1 Q dt \\ dW_2 &= -p_2 A_2 dx_2 = -p_2 A_2 v_2 dt = -p_2 Q dt \end{aligned} \right\} \Rightarrow dW = dW_1 + dW_2 = (p_1 - p_2) Q dt \quad (4)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2), (3) y (4) en (1), y dividiendo por $Q dt$ resulta el teorema o ecuación de Bernoulli:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g z_2 \quad (5)$$

Que puede expresarse en la forma, más habitual en hidráulica:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \quad (6)$$

Donde: $\rho \cdot g = \omega$ es el peso específico del elemento de fluido. En las ecuaciones (5) y (6) cada uno de los términos representa una energía específica. En el caso de la ecuación (5) se trata de energía por unidad de volumen de fluido en circulación, o lo que es lo mismo, potencia por unidad de caudal o, simplemente, presión (las unidades son: $J/m^3 = W/(m^3/s) = Pa$). En el caso de la ecuación (6) las unidades son de energía por unidad de peso de fluido, que es equivalente a una longitud ($J/N = m$). La interpretación de cada término es la siguiente:

- Un cuerpo de masa m situado a una altura z , posee una energía potencial o de posición, referida al plano de referencia situado en cota cero: $pE = mgz$. El término z representa por tanto la energía potencial del fluido por unidad de peso, y se le designa como **altura de posición**.
- El término $p/\rho g$ representa la energía necesaria para elevar la unidad de peso del elemento de fluido hasta la altura $p/\rho g$. Se le denomina **altura de presión**. A la suma de las alturas de potencial y de presión se le conoce como **altura piezométrica**, porque se corresponde con la altura de columna observada con un tubo piezométrica conectado a una conducción con un líquido.
- Finalmente, el término $v^2/2g$ representa la energía cinética por unidad de peso del elemento de fluido y se le llama **altura de velocidad**.

Se denomina **carga o altura de energía**, H , a la suma de la altura de velocidad más la altura piezométrica, es decir, a la suma de los tres términos de cada miembro en la ecuación de Bernoulli:

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

La carga representa la energía mecánica del fluido que fluye en la sección por unidad de peso del mismo. Así pues el teorema de Bernoulli establece que la carga es constante a lo largo de una línea de corriente bajo las hipótesis iniciales consideradas. En la práctica todos los fluidos reales son viscosos, y la aplicación de la ecuación de Bernoulli podrá perder validez en función de la importancia relativa de las fuerzas viscosas en cada caso. En efecto, la presencia de los esfuerzos viscosos en el seno del fluido y, en particular, en las zonas inmediatamente adyacentes a los contornos (zonas de capa límite), hace que el fluido deba emplear parte de su energía mecánica en compensar el trabajo de oposición de las fuerzas viscosas; éste es un trabajo no reversible, por lo que paulatinamente se produce una transformación de energía mecánica en energía interna (es decir, calor).

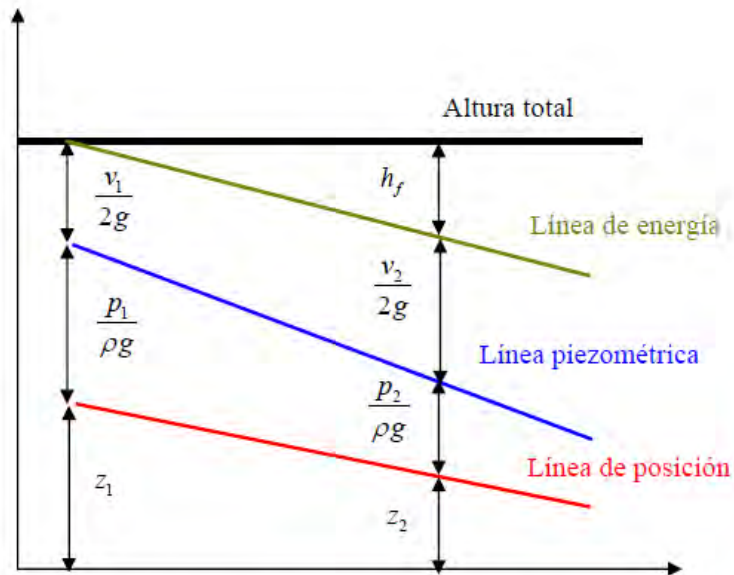


Figura n°29: Representación Gráfica de las líneas de energía, piezométrica y de posición.

Desde el punto de vista de la ecuación de Bernoulli, esta transformación se contabiliza como una disminución progresiva de la altura de energía o pérdida de carga h_f . Si H_1 es la carga del fluido en la sección S_1 y H_2 la carga del fluido en la sección S_2 , se tendrá:

$$h_f = H_1 - H_2 = \left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 \right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \right) \quad (8)$$

La pérdida de carga h_f será tanto mayor cuanto más separadas estén entre sí las posiciones S_1 y S_2 . Ello significa que, a lo largo de una conducción, la línea de energía, que es la representación gráfica de la altura de energía para cada posición, será una línea con pendiente negativa (Figura 4).

En el caso de una tubería de sección constante la altura de velocidad ha de permanecer invariable, y en ese caso las líneas de energía y

piezométrica son paralelas; si además se trata de una tubería horizontal, la pérdida de carga se manifiesta exclusivamente como una pérdida de presión.

7.3.7. Darcy-Weisbach (1875)

Una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos es la de Darcy-Weisbach. Sin embargo por su complejidad en el cálculo del coeficiente "f" de fricción ha caído en desuso. Aun así, se puede utilizar para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de fundición. La fórmula original es:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- h_f = pérdida de carga debida a la fricción.
- f = factor de fricción de Darcy.
- L = longitud de la tubería.
- D = diámetro de la tubería.
- V = velocidad media del fluido.
- g = aceleración de la gravedad $\approx 9,80665 \text{ m/s}^2$.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de rugosidad absoluta para distintos materiales:

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ϵ (mm)	Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Tabla n°24: Rugosidad absoluta de materiales.

Para el cálculo de "f" existen múltiples ecuaciones, la ecuación a emplear por nosotros será la de Colebrook-White (1939) para el cálculo de tuberías:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Donde:

Re ----- es el número de Reynolds,

k/D ----- la rugosidad relativa y

$\lambda=f$ ----- el factor de fricción.

7.3.8. Hazen-Williams (1905)

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C - 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero:

$$h = 10,646 * [Q^{1,85} / (C^{1,85} * D^{4,871})] * L$$

En donde:

- h: pérdida de carga o de energía (m)
- Q: caudal (m³/s)
- C: coeficiente de rugosidad (adimensional)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- L: longitud de la tubería (m)

En la siguiente tabla se muestran los valores del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales:

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES				
Material	C		Material	C
Asbesto cemento	140		Hierro galvanizado	120
Latón	130-140		Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100		Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130		Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113		Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100		Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90		Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83		Acero rolado	110
Concreto	120-140		Lata	130
Cobre	130-140		Madera	120
Hierro dúctil	120		Hormigón	120-140

Tabla n°25: Coeficiente de hazen -williams para algunos materiales.

Esta ecuación es válida para diámetros no inferiores a 50 mm.

7.4. METODOLOGÍA A EMPLEAR

7.4.1. EQUIPO DE PRUEBA

La metodología a seguir básicamente consiste en emplear el principio de Bernoulli, para determinar la pérdida de carga en las tuberías de Polipropileno; al establecer un sistema cerrado de pruebas.

Teniendo como base el principio de Bernoulli debemos establecer las condiciones necesarias para que este principio se cumpla las cuales son:

- Flujo estacionario (es decir, invariable en el tiempo).
- Flujo incompresible (densidad ρ constante).
- Fluido no viscoso.
- Fuerzas presentes en el movimiento: fuerzas superficiales de presión y fuerzas másicas gravitatorias (= peso del fluido).
- No hay intercambio de trabajo o calor con el exterior del flujo.

Para el cumplimiento de las condiciones anteriormente planteadas se elabora un sistema de ensayo empleando una batería de prueba. La batería de prueba se describe a continuación:

BATERÍA DE PRUEBA

Foto n° 17: Conformación de la Batería de prueba.

Cabe mencionar que la conexión de la bomba y componentes de la batería de prueba, fueron realizados íntegramente con accesorios de polipropileno fusión-fusión y fusión-roscado.

COMPONENTES:

1) Tanque de Agua.- Tanque de agua de 250 litros de capacidad, el cual sirve como tanque de almacenamiento para el agua; lo cual permite su recirculación constante, permitiendo un sistema cerrado de pruebas.



Foto n° 18: Tanque de agua 250 L.

2) Equipo de Bombeo.- El equipo de bombeo está conformado por una línea de succión, bomba centrífuga y una línea de impulsión. A su vez cada componente está conformado por:

a) Línea de succión: Está conformado por una tubería PPR de succión de 32mm <> 1", que cuenta con una válvula check de pie de 1", unida a la tubería de succión mediante una cople HE de 32x1 y se conecta mediante una unión americana HE de 32x1 al punto de succión de la bomba.

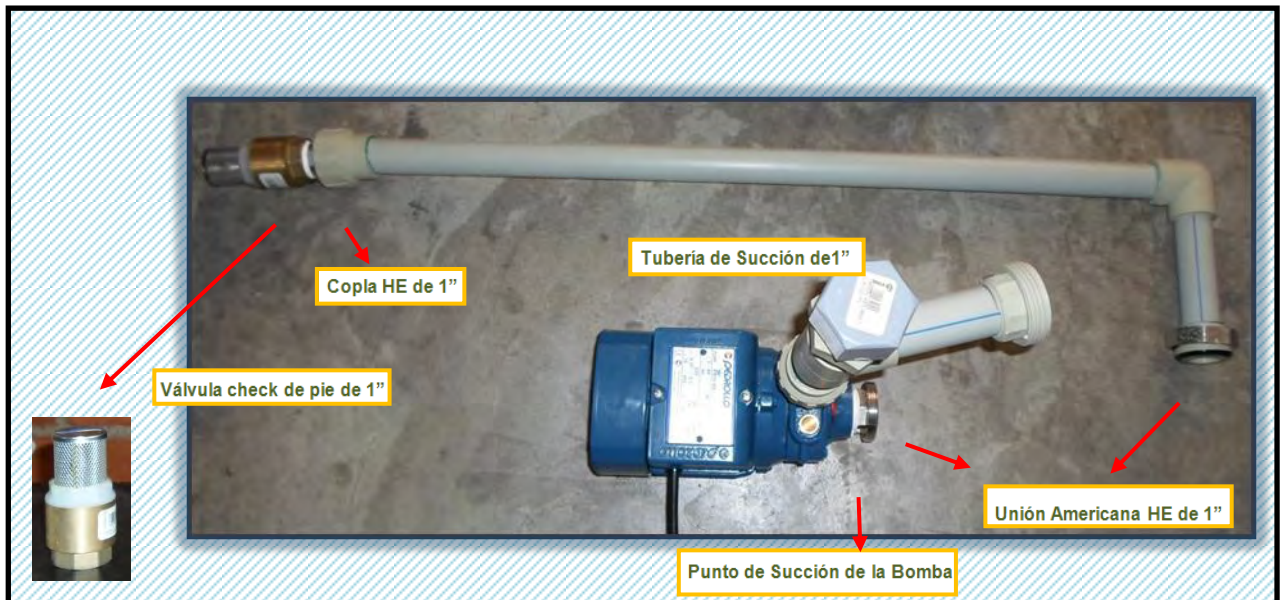


Foto n° 19: Conformación de la línea de succión.

b) Bomba: Esta bomba es un bomba centrífuga de $\frac{1}{2}$ HP de potencia, de conexión monofásica con punto a tierra; la cual emplea una tubería de succión de 32mm, tubería de impulsión de 32mm, una tubería de purga de 32mm y un punto de purga de la bomba. La línea de purga está conformada por una tubería conectada mediante una unión fusión de 32x1HE, además de una tapa hembra de 1\".

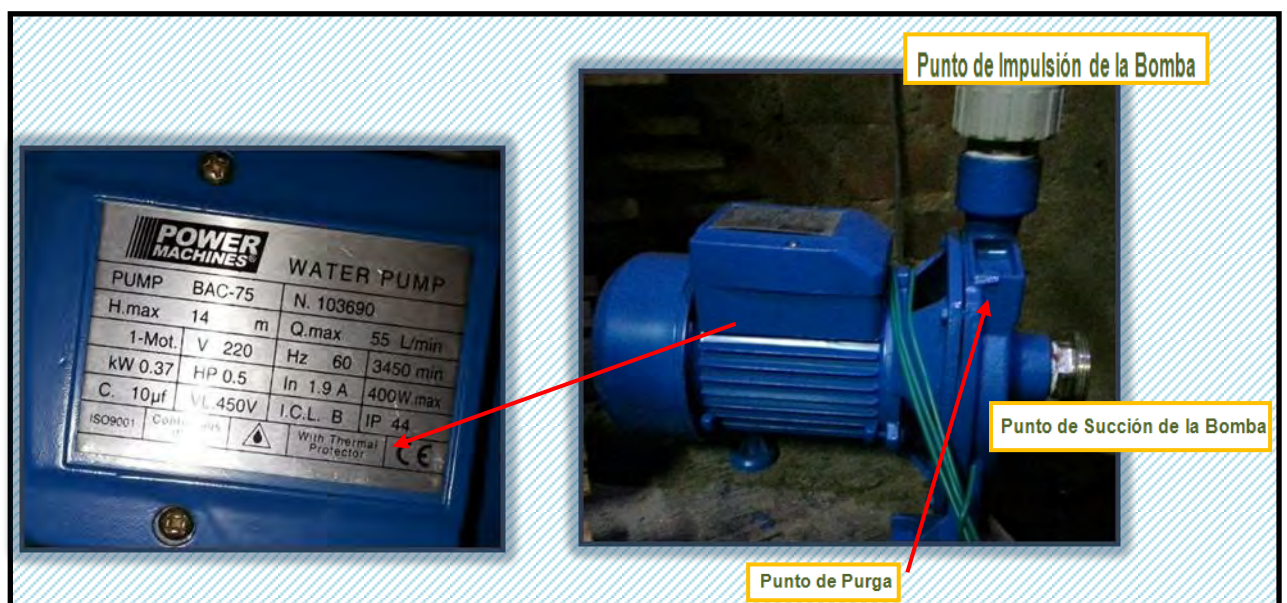


Foto n° 20: Partes y características de la bomba.

c) **Línea de Impulsión:** Está conformada por tubería PP-R de 32mm<> 1 “, la cual se conecta al punto de impulsión de la bomba mediante una copla HE de 32x1” y se desvía hacia la batería de prueba mediante una Tee fusión de 32 mm, además cuenta con los siguientes accesorios: Unión americana de 32x1 fusión – fusión, Copla de 32x1” HE, válvula check vertical de 1”, unión americana de 32mm y una válvula de bola de 20mm cuerpo metálico.

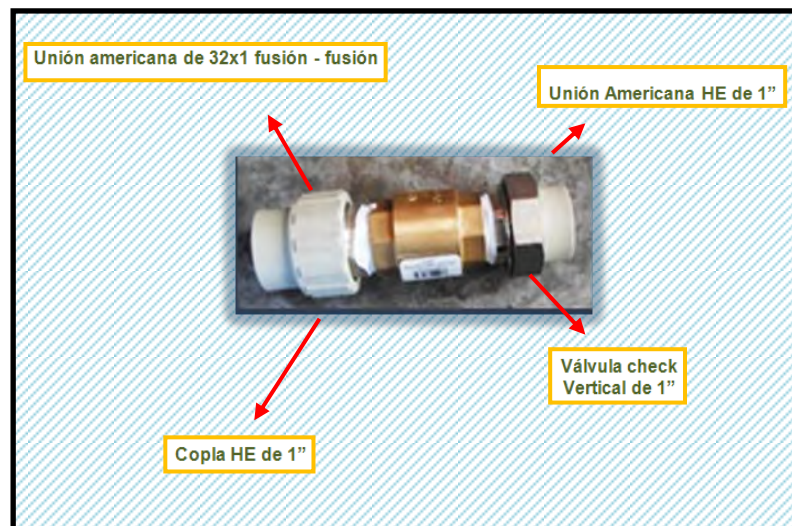


Foto n° 21: Conexión de la válvula check.



Foto n° 22: Línea de impulsión del sistema de bombeo

3) Medidor de Caudal.- El medidor de caudal empleado es un medidor Horizontal domiciliario de ½” con roscado macho, de la marca Elster modelo M170 II, III, XIII; proporcionado por “Corporación Vansa”. El medidor se conectara a la batería de prueba mediante 2 Unión Fusión-HE de 20x ½”.



Foto n° 23: Medidor de Caudal.



Foto n° 24: Vista Detallada del Medidor de caudal domiciliario.

4) Válvulas de Bola.- Las válvulas de bola, dentro del sistema de la batería de prueba, cumplen la función de apertura y cierre de la rama de prueba de las tuberías de PP-R a las cuales se le determinará la hf. Las válvulas de bola son de 20 mm de diámetro, de cuerpo metálico y conexión fusión – fusión. Una de las características especiales de esas válvulas es que ya vienen incorporadas con uniones universales a ambos extremos del cuerpo de llave.

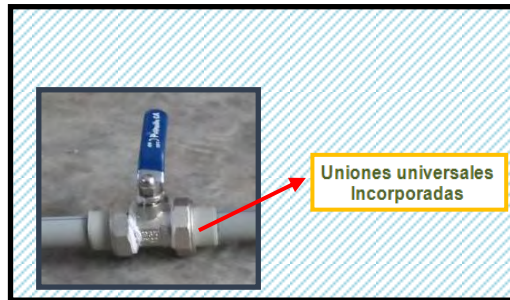


Foto n° 25: Válvula de bola que controlan la apertura y cierre del sistema.

5) Línea de Prueba Tubería PP-R.- Esta línea será reemplazada o bien por accesorios u otras tuberías.



Foto n° 26: Línea de Prueba de las Tuberías

6) Puntos de Medición de Presión.- Manómetros de glicerina, cuyo rango de trabajo se encuentra de 0-30 PSI; instalados empleando un bushing reducción de $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ", acoplándolas a la tubería de prueba mediante tee $16 \times \frac{1}{2}$ ", $20 \times \frac{1}{2}$ " HI fusión – fusión. La función que cumplen los manómetros es la de registrar la diferencia de presión, entre los puntos extremos de la tubería analizada; permitiendo de esta manera determinar la diferencia de presiones, entre un punto y otro de la tubería.



Foto n°27: Manómetros de 0-30 PSI.



Foto n°28: Caja de Manómetros.

Foto n° 29: Tee de \varnothing x $\frac{1}{2}$ " HI.

Foto n° 30: Manómetro Instalado.

7) Línea de Retorno.- La línea de retorno es aquella tubería PP-R de 20mm, que permite la recirculación del agua, para el funcionamiento de la batería de prueba; permitiendo realizar así un sistema continuo e ininterrumpido.



Foto n°31: Línea de Retorno.

Cabe mencionar que para realizar el proceso de construcción de la batería de prueba, es necesario contar con otras herramientas, necesarias para la realización del proceso de termofusión de las tuberías; las cuales son:

- **Maquina Termofusora:** Maquina termofusora de 800 Watts que permite realizar el proceso de termofusión.
- **Dados de termofusión:** Herramientas necesarias para el calentamiento de la tubería y accesorio a termofusionar, mediante el empleo de la máquina de termofusión.
- **Tijera corta Tubo:** Tijera que permite el corte de las tuberías de manera rápida y eficiente.
- **Marcadores:** También llamados gramiles los cuales indican la profundidad de inserción de la tubería en el dado de termofusión.
- **Huinch**

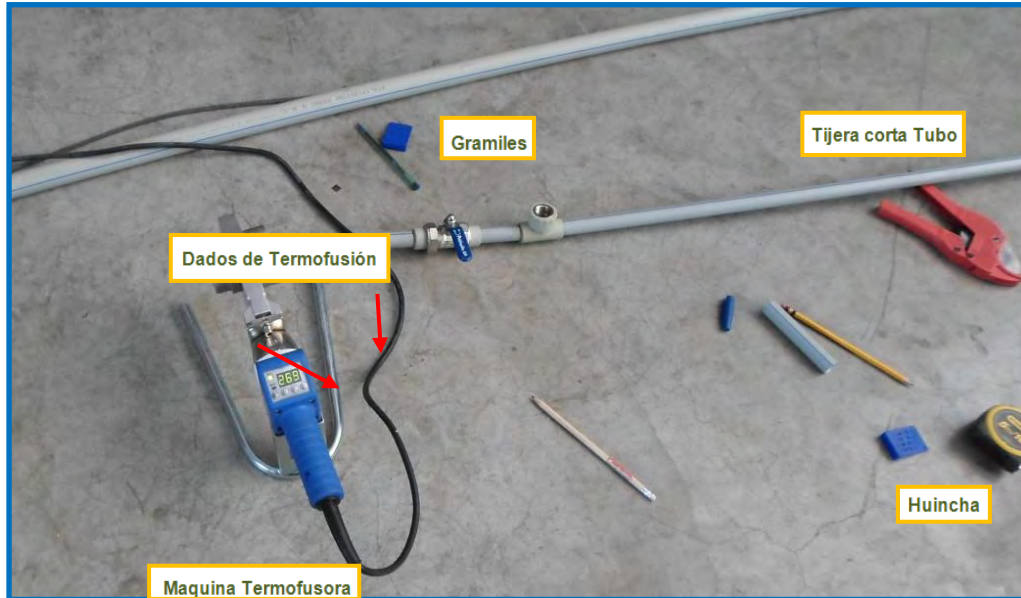


Foto n°32: Herramientas necesarias para el proceso de termo-fusión

Nota: Los instrumentos de medición empleados para la aplicación de la batería de prueba (medidores y manómetros) se encuentran debidamente calibrados y certificados; los certificados correspondientes se adjuntan al final en los anexos.

7.5. CONSIDERACIONES PARA LAS PRUEBAS

7.5.1. CUMPLIMIENTO DE LAS BASES DEL PRINCIPIO DE BERNOULLI

Para poder realizar los ensayos, de manera correcta, es necesario que la batería de prueba, anteriormente descrita; cumpla con los fundamentos del principio de Bernoulli, para demostrar esto realizamos el siguiente cuadro comparativo:

<i>Fundamento de Bernoulli</i>	<i>Cumplimiento en la batería de prueba</i>
Flujo estacionario (es decir, invariable en el tiempo).	El flujo es estacionario debido a que se trata de un sistema de recirculación cerrado, cuyas características no varían.
Flujo incompresible (densidad ρ constante).	El flujo es incompresible ya que el fluido a trabajar es agua a 25° C, cuya densidad es constante.
Fluido no viscoso.	El fluido cumple ambas condiciones, ya que se trata de agua.
Fuerzas presentes en el movimiento: fuerzas superficiales de presión y fuerzas másicas gravitatorias (= peso del fluido).	
No hay intercambio de trabajo o calor con el exterior del flujo	Esta condición no se cumple, ya que no se trata de un sistema ideal sino real; en el cual hay intercambio de energía con el medio ambiente, y este es el valor a determinar; ya que se trata de la perdida de carga de la tubería .

Tabla n°26: Cumplimiento de los valores de bernoulli.

Por lo anteriormente descrito queda demostrado, que la batería de prueba Hidráulica cumple con las condiciones necesarias para la aplicación del principio de Bernoulli.

7.5.2. CONDICIONES ESTABLECIDAS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO, EMPLEANDO EL PRINCIPIO DE BERNOULLI

Por lo señalado en el fundamento teórico del principio de Bernoulli, la ecuación final para la determinación de la pérdida de carga en una tubería; viene dado por la siguiente expresión:

$$h_f = H_1 - H_2 = \left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 \right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \right) \quad (8)$$

Siendo 1 y 2 puntos diferentes de la tubería, distanciados una longitud "L" entre sí. A continuación procedemos a analizar cada término de la ecuación de Bernoulli aplicado a las condiciones de trabajo de la batería de Prueba.

a) Analizamos la Energía cinética:

Analizando el tramo de ensayo de la batería de prueba, la cual tendrá un diámetro constante a lo largo de todo el tramo de trabajo.

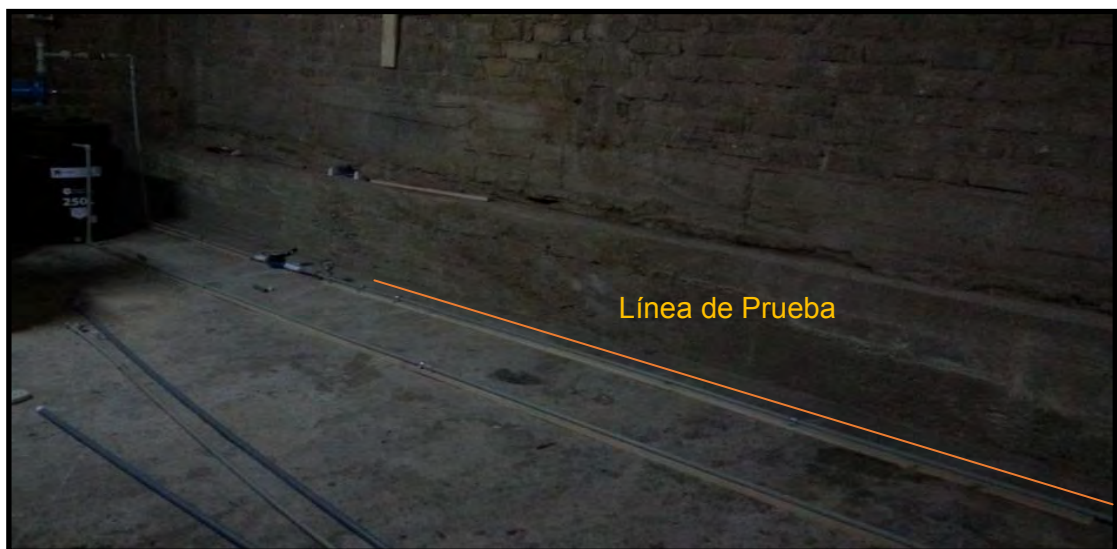


Foto n°33: Línea de prueba con diámetro uniforme

Teniendo presente esta condición de trabajo y valiéndonos del principio de continuidad, donde indica que:

$$\text{Caudal (Q)} = \text{Velocidad (V)} \times \text{Área (A)}$$

Tenemos que:

- Dado que es un sistema cerrado de bombeo constante, **el caudal se mantiene constante.**
- Ya que el diámetro de la tubería se mantiene constante, a lo largo de todo el tramo de trabajo, el área de la sección transversal de la tubería no varía; por consiguiente **el área se mantiene constante.**
- Dado que el área y el caudal se mantiene constante, **la velocidad a lo largo de toda la tubería de prueba se mantiene constante.**

Por las condiciones anteriormente descritas, podemos concluir que: La energía cinética a lo largo de la tubería se mantiene constante; por lo que la expresión de las velocidades, en la ecuación de Bernoulli, **darían cero**, ya que $V_1 = V_2$.

$$h_f = H_1 - H_2 = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 \right) - \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \right) \quad (8)$$

b) Analizamos la Energía Potencial Gravitatoria:

La energía potencial gravitatoria está representada por la diferencia de alturas ($z_1 - z_2$), entre un punto y otro, tomando un mismo plano de referencia; para poder despreciar este factor, de la ecuación de Bernoulli, se procedió a colocar las tuberías al mismo nivel de

referencia; es decir a la misma altura, como se evidencia a continuación:



Foto n°34: Nivel donde se asienta la tubería.

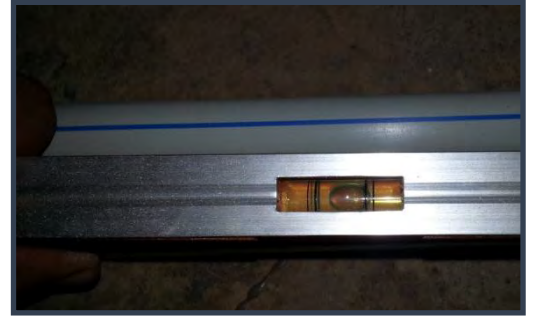


Foto n°35: Tubería a un mismo nivel de referencia.

Ya que los puntos a medir, es decir donde se realizaran las mediciones, se encuentran todos al mismo nivel tendremos que:

$$Z_1 = Z_2 \text{ entonces } Z_1 - Z_2 = 0$$

Podemos concluir que la energía potencial gravitatoria, no influye en los resultados de las pruebas o que cuyo valor es muy pequeño por lo que se puede despreciar; por lo que la expresión quedaría así:

$$h_f = H_1 - H_2 = \left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 \right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \right) \quad (8)$$

c) Analizamos la Altura de Presión:

Según lo explicado anteriormente, en la batería de prueba realizada; solo interviene la altura de presión para la aplicación del principio de Bernoulli, ya que la energía cinética y la energía potencial gravitatoria quedan descartadas.

Por lo tanto podemos concluir que la pérdida de carga en la tubería, solo viene dado por la diferencia de presiones entre un punto y otro de la tubería; por lo que la ecuación de Bernoulli viene dado de la siguiente manera:

$$h_{f_{1-2}} = H_1 - H_2 = (p_1 - p_2)/\gamma$$

Donde:

- $h_{f_{1-2}}$: Pérdida de carga entre el punto inicial y final de toma de muestra.
- p_1 : Presión inicial del punto de muestra.
- p_2 : Presión final del punto de muestra.
- γ : Peso específico del agua a la temperatura de trabajo.

Nosotros para la toma de muestras de la batería de prueba, solo trabajaremos con la presión manométrica y no con la presión absoluta; ya que como se observa de la expresión anterior, lo que importa para el cálculo de la pérdida de carga, es la **diferencia de presiones** y ya sea se trabaje con la presión manométrica o la presión absoluta; la diferencia de presiones no se altera, ya que:

$$P_{absoluta} = P_{manométrica} + P_{atmosférica}$$

Por lo que al momento de realizar la diferencia de presiones la $P_{atmosférica}$ se anularía; ya que el punto inicial y final de la toma de muestra se encuentran a la misma presión atmosférica.

7.6. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO A SEGUIR

Para la realización de las pruebas el procedimiento a seguir será el siguiente:

1. Previo al funcionamiento de la batería de prueba se identificarán los puntos de toma de muestras identificándolos Punto inicial y final. Además se medirá la distancia de punto a punto de toma de muestra.
2. Se procederá a la toma de temperatura del agua a la cual se está trabajando, se medirá el diámetro interno y externo de las tuberías a trabajar.



Foto n°36: Diámetro externo de la tubería PP-R.



Foto n°37: Diámetro interno de la tubería PP-R.

3. Se iniciara el funcionamiento de la batería de prueba junto a un cronómetro el cual contabilizara el tiempo que trabaja el sistema.



Foto n°38: Encendido del equipo de bombeo.



Foto n°39: Encendido del cronómetro en el mismo instante que empieza a registrar el medidor.

4. Una vez puesto en funcionamiento la batería de prueba se procederá a tomar la lectura de los valores de los manómetros de cada punto de muestro identificado anteriormente.

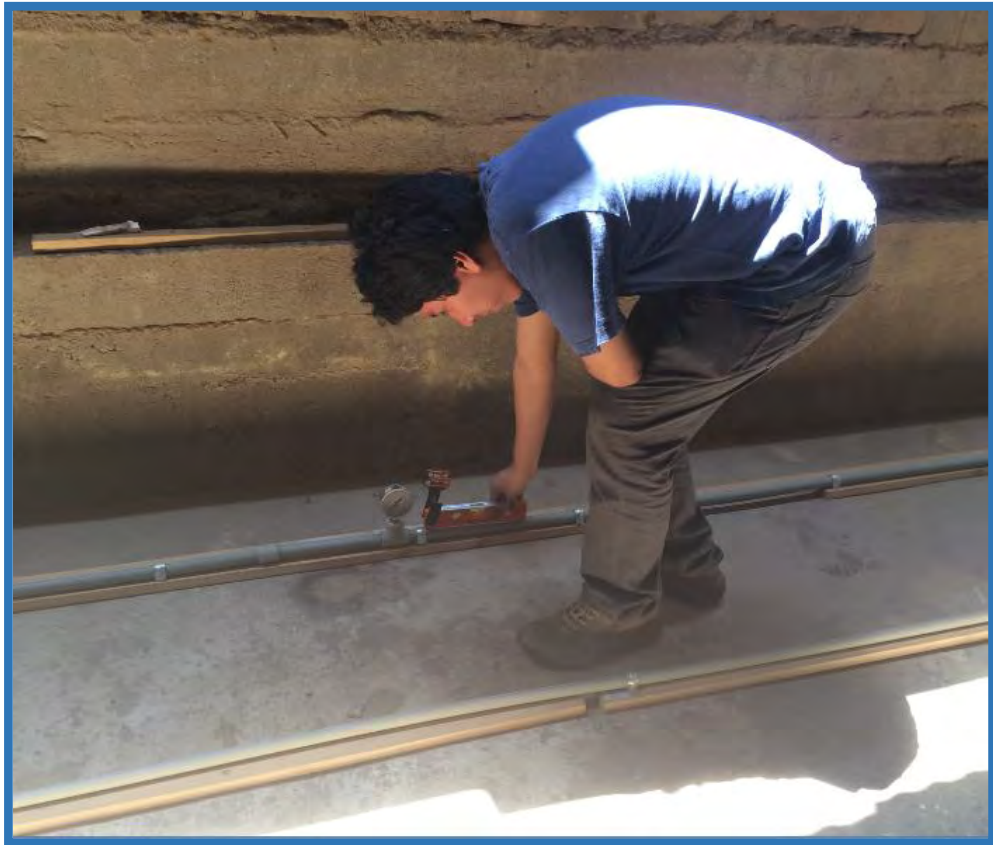


Foto n°40: Manómetro Punto Inicial.



Foto n°41: Manómetro Punto Final

5. Se realizara la medición del caudal de trabajo para cada tramo de tubería a analizar; para lo cual se empleara el medidor de Caudal instalado en la batería de prueba.
6. Se determinara la perdida de carga empleando la expresión de la ecuación de Bernoulli descrita anteriormente.
7. Una vez determinada la perdida de carga, para cada tramo de la tubería, se procederá a emplear las ecuaciones de Darcy para la determinación de los coeficientes “f” de Darcy; empleando las formulas y expresiones matemáticas propias para resolución de cada ecuación.

Nota: No se puede aplicar la ecuación de Hazen& William para nuestros casos de pruebas; ya que los diámetros a trabajar se encuentran fuera del rango permisible, que abarca la fórmula.



Foto n°42: Batería de prueba junto a los tesisas.

7.7. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA DE 16 mm.

La línea de prueba está conformada por una tubería de PP-R de 16 mm, la cual cuenta con una longitud de 6m; en cada extremo de la tubería cuenta con tees roscadas con inserto metálicos donde se colocaran los manómetros. Siguiendo el procedimiento establecido se tomara lectura al volumen inicial para luego iniciar la bomba, tomar las lecturas de los manómetros para luego detener el sistema y medir el volumen final todo esto siendo medido con un cronómetro.



Fotos n°43: Medición del Diámetro exterior 16 mm



Fotos n°44: Medición diámetro interior 11.1 mm



Foto n°45: Línea de Impulsión y Succión



Fotos n° 46. Línea de Impulsión



Foto n°47: Línea Prueba de 16 mm.



Foto n°48: Medidor, Manómetro Inicial y tubería de 16 mm



Foto n° 49: Tubería de Prueba de 16 mm de diámetro y longitud 6 metros.



Foto n°50: Manómetro Punto Final, válvula de bola.



Foto n°51: Tubería De Retorno.

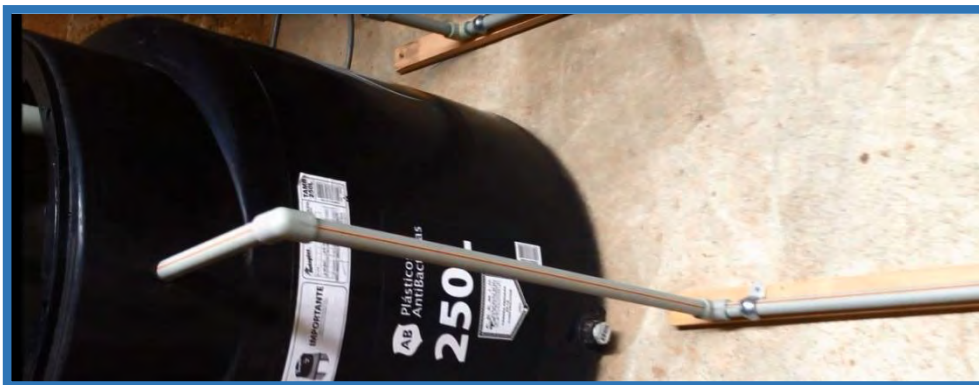


Foto n°52: Tubería De Retorno.

7.8. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA DE 20 mm.

La línea de prueba está conformada por una tubería de PP-R de 20 mm, la cual cuenta con una longitud de 6m; del mismo modo que la tubería de 16 mm en cada extremo de la tubería cuenta con tees roscadas con inserto metálico donde se colocaran los manómetros. Se tomará la lectura del termómetro, volumen inicial, presión punto inicial, presión punto final, volumen final y tiempo transcurrido.



Foto n°53: Diámetro Exterior 20 mm.



Foto n°54: Diámetro Interior 14.8 mm.



Foto n°55: Medidor de Caudal y Manómetro Punto Inicial tubería de 20 mm



Fotos n°56: Manómetro Punto Final.

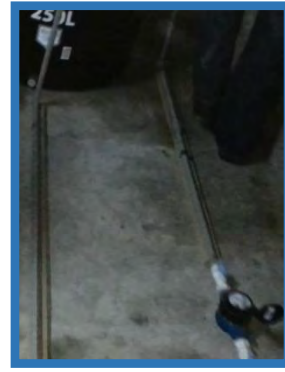


Foto n°57: Tubería De Retorno

7.9. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA DE 25 mm.

La línea de prueba está conformada por una tubería de PP-R de 25 mm, la cual cuenta con una longitud de 6m; del mismo modo que la tubería de 16 mm en cada extremo de la tubería cuenta con tees roscadas con inserto metálico donde se colocaran los manómetros. Se tomará la lectura del termómetro, volumen inicial, presión punto inicial, presión punto final, volumen final y tiempo transcurrido.



Foto n°58: Diámetro Interior tubería de 25 mm.



Foto n°59: Línea de impulsión 32 mm.



Foto n°60: Se cambió toda la línea de impulsión por 32 mm.



Foto n°61: Se cambió la posición del medidor

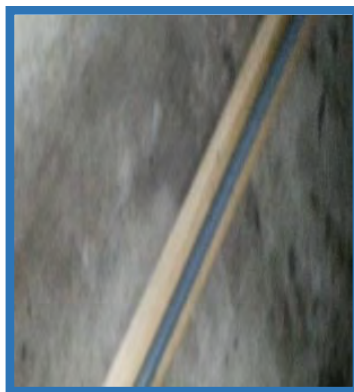


Foto n°62: Tubería de 25 mm.

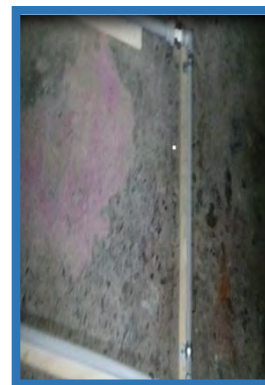


Foto n°63: Tubería de retorno

7.10. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA DE 32 mm.

La línea de prueba está conformada por una tubería de PP-R de 32 mm, la cual cuenta con una longitud de 5 m; del mismo modo que las otras pruebas de las tuberías cada extremo de la tubería cuenta con tees roscadas con inserto metálico donde se colocaran los manómetros con la salvedad que la línea de impulsión es de 32 mm totalmente. Se tomará la lectura del termómetro, volumen inicial, presión punto inicial, presión punto final, volumen final y tiempo transcurrido.



Foto n°64: Diámetro Externo 32 mm.



Foto n°65: Diámetro Interno 26.4 mm.



Foto n°66: Línea de impulsión 32 mm, manómetro inicial, tubería de 32 mm, tubería de retorno de 20 mm y medidor volumétrico.



Foto n°67: Tubería de prueba de 32 mm.

7.11. PRUEBA DE LABORATORIO CON CODOS DE 20 mm.

El tramo de prueba será reemplazado por cuatro codos de PP-R de diámetro 20 mm, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.

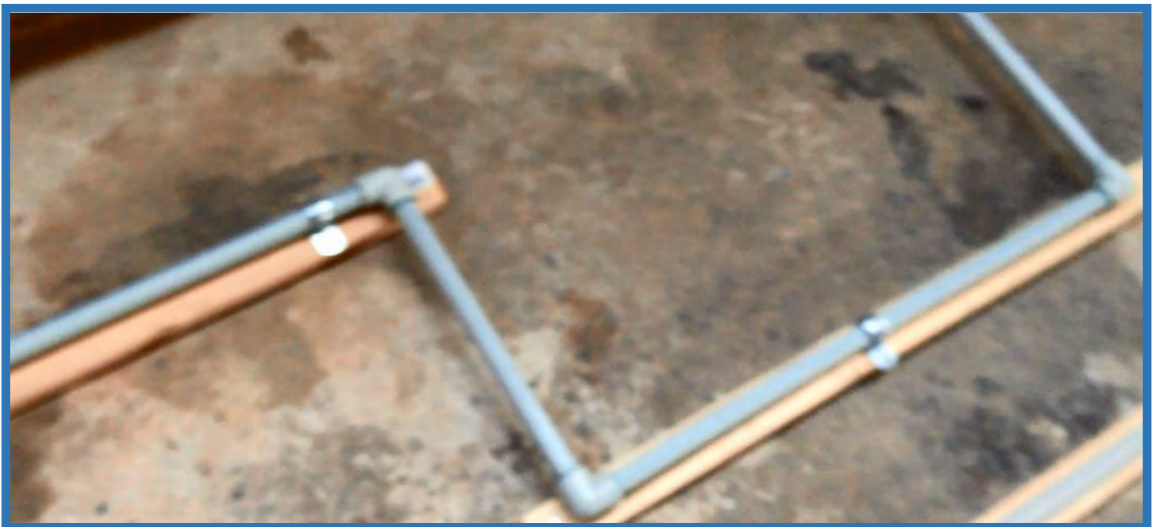


Foto n°68: Prueba de laboratorio con codos de 20 mm PP-R.



Foto n°69: Codos de 20 mm PP-R y Manómetro punto final.

7.12. PRUEBA DE LABORATORIO CON TEE DE 20 MM.

El tramo de prueba será reemplazado por dos tee de 20 mm, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.



Foto n°70: Volumen y Manómetro punto inicial.



Foto n°71: Tee de 20 mm PP-R



Foto n°72: Dos Tee de 20 mm PP-R.



Foto n°73: Detalle de Tee de 20 mm PP-R.

7.13. PRUEBA DE LABORATORIO CON TEE DE 20 mm CON REDUCCIÓN 25 X 20 mm.

El tramo de prueba será reemplazado por dos tee de 20 mm, a las cuales una de ellas se colocara una reducción de 25 x 20 mm antes del accesorio, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.

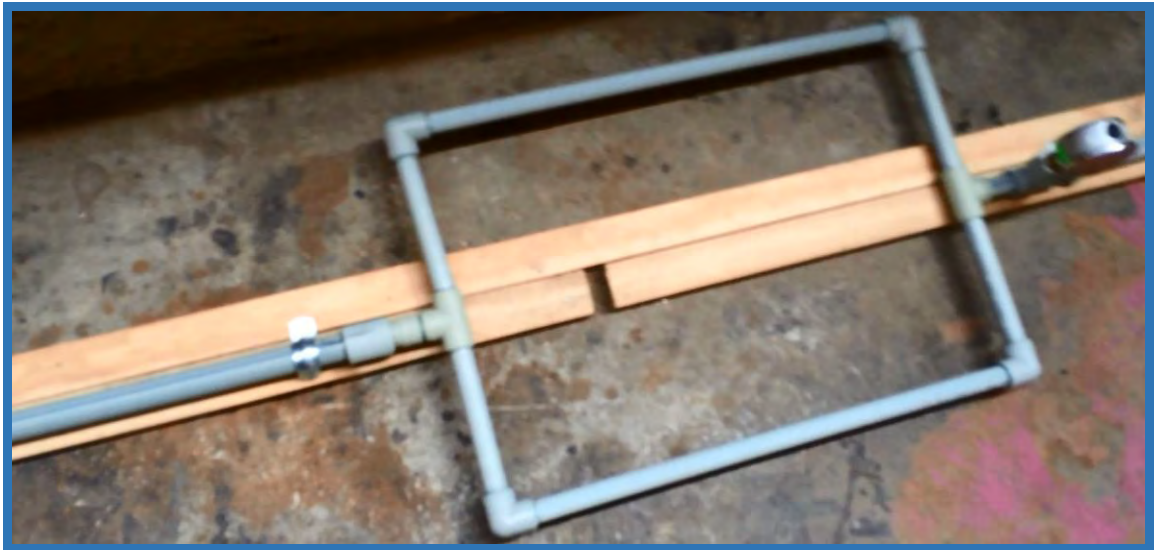


Foto n°74: Tubería de 25 mm, Red 25 x 20, Tee de 20 mm y manómetro.



Foto n°75: Tubería de 25 mm, Red 25 x 20 y Tee de 20 mm.

7.14. PRUEBA DE LABORATORIO CON TEE DE 25 mm CON REDUCCIONES DE 25 X 20 mm.

El tramo de prueba será reemplazado por una tee de 25 mm, a la cual se colocara dos reducciones de 25 x 20 mm después del accesorio, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.

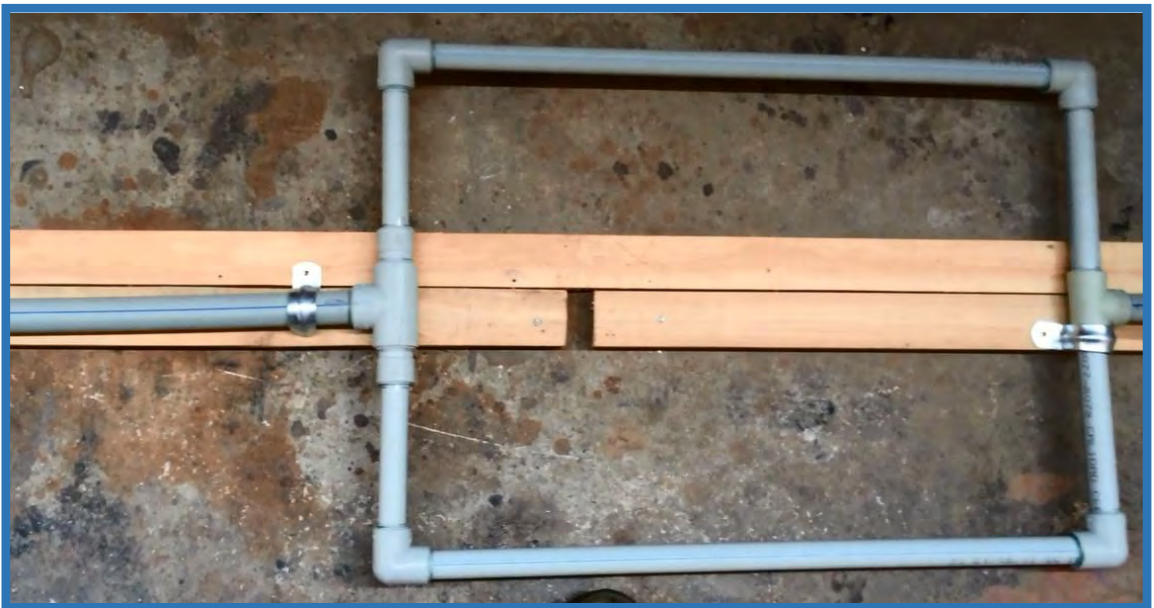


Foto n°76: Tubería de 25 mm, Tee de 25 mm, Dos Red 25 x 20, Tubería de 20 mm, tee de 20



Foto n°77: Tubería de 25 mm, Tee de 25 mm, Dos Red 25 x 20, Tubería de 20 mm.

7.15. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE 16 mm PP-R

El tramo de prueba será reemplazado una válvula de 16 mm PP-R o comercialmente conocida como llave de manilla azul 16 mm PP-R, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.

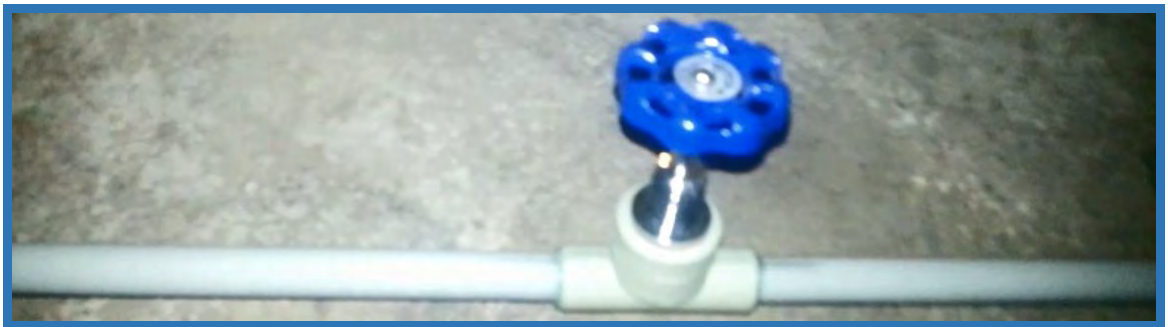


Foto n°78: Tubería de 16 mm, válvula de 16 mm manilla azul.

7.16. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE 20 mm PP-R

El tramo de prueba será reemplazado una válvula de 20 mm PP-R o comercialmente conocida como llave de manilla azul 20 mm PP-R, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.



Foto n°79: Tubería de 16 mm, válvula de 20 mm manilla azul.

7.17. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE 25 mm PP-R.

El tramo de prueba será reemplazado una válvula de 25 mm PP-R o comercialmente conocida como llave de manilla azul 20 mm PP-R, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.



Foto n°80: Válvula de 25 mm PP-R.

7.18. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE 32 mm PP-R.

El tramo de prueba será reemplazado una válvula de 32 mm PP-R o comercialmente conocida como llave de manilla azul 32 mm PP-R, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.



Foto n°81: Válvula de 32 mm PP-R.

7.19. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA DE BOLA DE 20 mm

El tramo de prueba será reemplazado una válvula de 32 mm PP-R o comercialmente conocida como llave de manilla azul 32 mm PP-R, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y todo esto controlándose el tiempo mediante un cronómetro.



Foto n°82: Válvula de bola de 20 mm PP-R.

7.20. PRUEBA DE LABORATORIO CON VÁLVULA ESFÉRICA PVC.

El tramo de prueba será reemplazado por una válvula esférica de PVC, la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y controlándose el tiempo mediante un cronómetro.



Foto n°83: Válvula esférica PVC.

7.21. PRUEBA DE LABORATORIO CON TUBERÍA PVC PESADA DE ½ PULGADA.

El tramo de prueba será reemplazado por una tubería de PVC pesado de ½", la batería de prueba tiene el mismo sistema, los manómetros al extremo los cuales medirán la presión, el medidor registrando el volumen y controlándose el tiempo mediante un cronómetro.



Foto n°84: Diámetro exterior PVC 1/2" 21 mm.

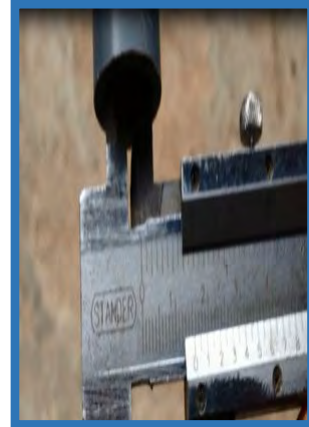


Foto n°85: Diámetro exterior 15.3 mm.



Foto n°86: Tubería de PVC

7.22. PRUEBA DE LABORATORIO TUBERÍA A PRESIÓN DE AIRE.

Esta prueba no se realizó con fines de cálculo hidráulico, sino se realizó con el fin de probar la tubería a altas presiones de aire.



Foto n°87: Presión de aire en la tubería de polipropileno.



Foto n°88: Máquina Compresora de Aire

CAPITULO VIII
MEMORIA DE CÁLCULO

8.1. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA 16mm PP-R

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	16.2	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9795.84	N/m ³
Viscosidad Cinemática	0.0000011064	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Diámetro externo	0.016	m
Diámetro interno	0.0111	m
Longitud	6	m

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	0.9809	1.01175	113	0.0003
	2	1.01175	1.0415	109	0.0003
	3	1.11095	1.18305	265.73	0.0003
	4	1.18305	1.25	246.93	0.0003
Promedio					0.0003

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$$\text{Velocidad} = \text{Caudal} / \text{Área tubería}$$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0111	2.821

Perdida de Carga Practico:

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Rugosidad Absoluta Ks

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli					Velocidad del Fluido		Tuberia	Darcy	Reynolds	Calculo Rugosidad Absoluta			
	$P_{inicial}$	P_{final}	$P_i - P_f$	$P_i - P_f$	$H_{f_{total}}$	$\varnothing_{interno}$	Velocidad	Longitud	f	Re	\sqrt{f}	$2,51/Re\sqrt{f}$	$10^{-4}(-2x\sqrt{f})$	ks
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m						mm
Valores	15.2	7.4	7.8	53779.128	5.4900	0.0111	2.821	6	0.0250	28301.4223	0.1582	0.00056044	0.0006925	0.0054

Perdida de Carga Teórica:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 2.821 m/s

L. Tubería: 6 m

Viscosidad

Cinemática: 0.0000011064 m²/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	\varnothing interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0111	2.821	6	28301.42225

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	\sqrt{f}	$1/\sqrt{f}$	$\left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.026	0.1612	6.201736729	0.000720461	-6.28477893	-0.083042201
0.025	0.1581	6.32455532	0.000731354	-6.271745137	0.052810183
0.0251	0.1584	6.311944031	0.000730235	-6.273074502	0.038869529
0.0253	0.1591	6.286946135	0.000728018	-6.275715576	0.011230559
0.02538	0.1593	6.27702981	0.000727139	-6.276765483	0.000264327

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos
que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f (Teórico) = 5.564 metros	K_s (Teórico) = 0.007000 mm
h_f (Practico) = 5.490 metros	K_s (Practico) = 0.005423 mm
%Error = 1.329 %	%Error = 22.523 %

8.2. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA 20mm PP-R

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	16	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
Parámetro	Valor	Unidades
Peso específico	9796.2	N/m ³
Viscosidad Cinemática	0.0000011118	m ² /s

Características de la Tubería		
Parámetro	Valor	Unidades
Diámetro externo	0.02	m
Diámetro interno	0.0148	m
Longitud	6	m

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	0.71705	0.7911	196	0.00038
	2	0.7946	0.8279	88.22	0.00038
	3	0.8556	0.91065	146	0.00038
	4	0.91065	0.9627	137	0.00038
Promedio					0.00038

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0148	2.195

Perdida de Carga Practico:**Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Rugosidad Absoluta Ks**

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli					Velocidad del Fluido		Tubería	Darcy	Reynolds	Calculo Rugosidad Absoluta			
Parametros	$P_{inicial}$	P_{final}	$P_i - P_f$	$P_i - P_f$	$H_{f_{total}}$	$\varnothing_{interno}$	Velocidad	Longitud	f	Re	\sqrt{f}	$2.51/Re\sqrt{f}$	$10^{(-2x\sqrt{f})}$	ks
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m						mm
Valores	13.5	10	3.5	24131.66	2.4634	0.0148	2.195	6	0.0247	29220.9175	0.1573	0.0005461	0.0006626	0.0064

Perdida de Carga Teórica:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad:	2.195 m/s
L. Tubería:	6 m
Viscosidad Cinemática:	0.0000011118 m ² /s
Ks (teórico):	0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

<i>Tipo Calculo</i>	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
<i>Parámetros</i>	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
<i>Unidades</i>	m	m/s	m	
<i>Valores</i>	0.0148	2.195	6	29220.91749

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.025	0.1581	6.32455532	0.000671093	-6.34643431	-0.02187899
0.024	0.1549	6.454972244	0.000682296	-6.332054756	0.122917488
0.0249	0.1578	6.337242505	0.000672183	-6.345024943	-0.007782438
0.02484	0.1576	6.344891564	0.00067284	-6.344176344	0.000715219

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos
que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f (Teórico) = 2.473 metros	K_s (Teórico) = 0.007000 mm
h_f (Practico) = 2.463 metros	h_f (Practico) = 0.006378 mm
%Error = 0.398 %	%Error = 8.888 %

8.3. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA 25 mm PP-R

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	17.9	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
Parámetro	Valor	Unidades
Peso específico	9792.78	N/m ³
Viscosidad Cinemática	0.0000010601	m ² /s

Características de la Tubería		
Parámetro	Valor	Unidades
Diámetro externo	0.025	m
Diámetro interno	0.0202	m
Longitud	5	m

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	<i>Tiempo</i>	<i>Caudal</i>
Unidades		m^3	m^3	<i>segundos</i>	m^3/s
Muestras	1	3.40058	3.49085	197.2	0.00046
	2	3.49305	3.54644	116.49	0.00046
	3	3.54945	3.64275	203.58	0.00046
Promedio					0.00046

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

Velocidad = Caudal/ Área tubería

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0202	1.435

Perdida de Carga Practico:**Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Rugosidad Absoluta Ks**

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli					Velocidad del Fluido		Tubería	Darcy	Reynolds	Calculo Rugosidad Absoluta			
Parametros	$P_{inicial}$	P_{final}	$P_i - P_f$	$P_i - P_f$	$H_{f_{total}}$	$\varnothing_{interno}$	Velocidad	Longitud	f	Re	\sqrt{f}	$2,51/Re\sqrt{f}$	$10^{(-2x\sqrt{f})}$	ks
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m						mm
Valores	19.5	18.5	1	6894.76	0.7041	0.0202	1.435	5	0.0271	27350.2019	0.1646	0.00055761	0.0009162	0.0268

Perdida de Carga Teórica:

Valores de Parámetros Considerados

Velocidad:	1.435 m/s
L. Tubería:	5 m
Viscosidad Cinemática:	0.0000010601 m ² /s
Ks (teórico):	0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

<i>Tipo Calculo</i>	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
<i>Parámetros</i>	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
<i>Unidades</i>	m	m/s	m	
<i>Valores</i>	0.0202	1.435	5	27350.20195

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.0247	0.1572	6.36284763	0.000677593	-6.338061814	0.024785816
0.0246	0.1568	6.375767131	0.000678779	-6.33654328	0.03922385
0.0245	0.1565	6.38876565	0.000679972	-6.335018134	0.053747516
0.02455	0.1567	6.382256463	0.000679374	-6.335781537	0.046474926
0.02487	0.1577	6.341063574	0.000675594	-6.340628298	0.000435276

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos
que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f (Teórico) = 0.646 metros	K_s (Teórico) = 0.007000 mm
h_f (Practico) = 0.704 metros	K_s (Practico) = 0.026803 mm
%Error = 8.915 %	%Error = 282.899 %

8.4. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA 32 mm PP-R**Parámetros de Análisis:**

Características Ambientales		
Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	18.8	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
Parámetro	Valor	Unidades
Peso específico	9791.16	N/m ³
Viscosidad Cinemática	0.0000010356	m ² /s

Características de la Tubería		
Parámetro	Valor	Unidades
Diámetro externo	0.032	m
Diámetro interno	0.0262	m
Longitud	5	m

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	<i>Tiempo</i>	<i>Caudal</i>
Unidades		m^3	m^3	<i>segundos</i>	m^3/s
Muestras	1	3.72608	3.8164	193.62	0.00047
	2	3.8207	3.89535	160.44	0.00047
	3	3.8975	3.981	177.88	0.00047
Promedio					0.00047

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

Velocidad = Caudal/ Área tubería

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0262	0.872

Perdida de Carga Practico:**Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Rugosidad Absoluta Ks**

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli					Velocidad del Fluido		Tuberia	Darcy	Reynolds	Calculo Rugosidad Absoluta			
Parametros	$P_{inicial}$	P_{final}	$P_i - P_f$	$P_i - P_f$	$H_{f_{total}}$	$\varnothing_{interno}$	Velocidad	Longitud	f	Re	\sqrt{f}	$2,51/Re\sqrt{f}$	$10^{(-2x\sqrt{f})}$	ks
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m						mm
Valores	18.9	18.6	0.3	2068.428	0.2113	0.0262	0.872	5	0.0286	22054.4816	0.1690	0.00067323	0.0011023	0.0416

Perdida de Carga Teórica:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad:	0.872 m/s
L. Tubería:	5 m
Viscosidad Cinemática:	0.0000010356 m ² /s
Ks (teórico):	0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0262	0.872	5	22054.48158

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.026	0.1612	6.201736729	0.000778023	-6.218014578	-0.016277849
0.0258	0.1606	6.225728064	0.000780754	-6.214971648	0.010756415
0.0259	0.1609	6.21369766	0.000779385	-6.216496186	-0.002798526
0.02591	0.1610	6.212498452	0.000779248	-6.216648301	-0.00414985
0.02588	0.1609	6.216098161	0.000779658	-6.216191772	-9.36106E-05

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos que:
$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f (Teórico) = 0.191 metros	K_s (Teórico) = 0.007000 mm
h_f (Practico) = 0.211 metros	K_s (Practico) = 0.041591 mm
%Error = 10.424 %	%Error = 494.155 %

8.5. CALCULO COEFICIENTE DE PERDIDA DE CARGA PARA CODOS 90° DE 20mm.

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	18.5	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9791.7	N/m ³
Viscosidad Cinemática	0.0000010438	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Diámetro externo	0.02	m
Diámetro interno	0.0148	m
Longitud	6.55	m

Características de los Accesorios		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Tipo de Accesorios	Codo 90°	
Cantidad	4	unidades

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	2.5431	2.64195	275.49	0.00036
	2	2.645	2.6977	147.94	0.00036
	3	2.7022	2.75415	145.12	0.00036
Promedio					0.00036

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0148	2.093

Pérdida de Carga en tuberías:

Valores de Parámetros Considerados

Velocidad: 2.093 m/s

L. Tubería: 6.55 m

Viscosidad
cinemática: 0.0000010438 m^2/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0148	2.093	6.55	29671.02817

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.025	0.1581	6.32455532	0.000662852	-6.357166998	-0.032611677
0.024	0.1549	6.454972244	0.000673884	-6.342829165	0.112143078
0.0248	0.1575	6.35000635	0.000665005	-6.354350302	-0.004343952
0.0247	0.1572	6.36284763	0.000666091	-6.352932602	0.009915028
0.02477	0.1574	6.353850568	0.00066533	-6.353925651	-7.50829E-05

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos
que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f (\text{Tubería}) = 2.447 \text{ metros}$$

$$K_s (\text{Teórico}) = 0.007000 \text{ mm}$$

Pérdida de Carga en Accesorios:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 2.093 m/s

L. Tubería 6.55 m

Viscosidad cinemática: 0.0000010438 m²/s**Calculo Perdida de Carga total**

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli				Velocidad del Fluido		Tubería	
Parámetros	P _{inicial}	P _{final}	Pi-Pf	Pi-Pf	Hf _{total}	Ø _{interno}	Velocidad	Longitud
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m
Valores	13	8.8	4.2	28957.992	2.9574	0.0148	2.093	6.55

Determinamos K codos 20mm:

Parámetros	Valores Obtenidos
hf Total (m)	2.9574
hf Tubería (m)	2.4467
hf llave de Paso (m)	0.5107

Perdida de Carga en Accesorios**4Codos**

$$4xhf(\text{codos}) = K.V^2/2.g$$

$$K(\text{codos } 20\text{mm}) = 0.57$$

8.6. CALCULO COEFICIENTE DE PERDIDA DE CARGA PARA TEE DE 20mm

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	18.5	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9791.52	N/m ³
Viscosidad cinemática	0.0000010411	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Diámetro externo	0.02	m
Diámetro interno	0.0148	m
Longitud tubería	5.35	m
Longitud Lira N° 1 y N° 2	0.90	m

Características de los Accesorios		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Tipo de Accesorios	tee	
Cantidad	2	unidades

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	2.794	2.85135	154.73	0.00037
	2	2.853	2.91307	161.09	0.00037
	3	2.91685	3.00545	239.51	0.00037
Promedio Vol. Tub.					0.00037
Promedio Vol. Lira					0.000185

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Nota: Para determinar la proporcionalidad en la distribución del caudal en cada tramo de las liras consideramos la teoría de distribución en tuberías paralelas.

Análisis de Velocidad:

$$\text{Velocidad} = \text{Caudal} / \text{Área tubería}$$

\varnothing interno	Velocidad
m	m/s
0.0148	2.151
Tubería	

\varnothing interno	Velocidad
m	m/s
0.0148	1.075
Lira	

Pérdida de Carga en tuberías:

Valores de Parámetros Considerados

Velocidad: 2.151 m/s

L. Tubería: 5.35 m

Viscosidad
cinemática: 0.0000010411 m^2/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	\varnothing interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0148	2.151	5.35	30574.8974

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	\sqrt{f}	$1/\sqrt{f}$	$\left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.024	0.1549	6.454972244	0.000657742	-6.363889214	0.09108303
0.025	0.1581	6.32455532	0.000647035	-6.37814399	-0.053588669
0.0248	0.1575	6.35000635	0.000649125	-6.375343718	-0.025337368
0.0246	0.1568	6.375767131	0.00065124	-6.37251853	0.003248601
0.02462	0.1569	6.373176935	0.000651027	-6.372802182	0.000374753

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos que:
$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$h_f (\text{Tubería}) = 2.098 \text{ metros}$

$K_s (\text{Teórico}) = 0.007000 \text{ mm}$

Pérdida de Carga en LIRA:**Valores de Parámetros Considerados para la Lira**

Velocidad: 1.075 m/s

L. Tubería: 0.90 m

Viscosidad
cinemática: 0.0000010411 m²/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

<i>Tipo Calculo</i>	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
<i>Parametros</i>	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
<i>Unidades</i>	m	m/s	m	
<i>Valores</i>	0.0148	1.075	0.9	15287.4487

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.025	0.1581	6.32455532	0.00116624	-5.866424017	0.458131303
0.026	0.1612	6.201736729	0.001146075	-5.881573964	0.320162765
0.027	0.1643	6.085806195	0.001127041	-5.896120832	0.189685363
0.028	0.1673	5.976143047	0.001109035	-5.910109183	0.066033864
0.02855	0.1690	5.918299562	0.001099538	-5.917579315	0.000720247

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos que:
$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f (Tubería x Lira) = 0.1023 metros

K_s (Teórico) = 0.007000 mm

Pérdida de Carga en Accesorios:Valores de Parámetros Considerados

Velocidad: 2.151 m/s

L. Tubería 5.35 m

L. de Lira N°1 y 2 0.9 m

Viscosidad cinemática 0.0000010411 m²/s

Calculo Perdida de Carga total

Calculo Perdida de Carga total											
						TUBERIA			LIRA		
Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli					Velocidad del Fluido		Tuberia	Velocidad del Fluido		Tuberia
Parametros	P _{inicial}	P _{final}	Pi-Pf	Pi-Pf	Hf _{total}	Ø _{interno}	Velocidad	Longitud	Ø _{interno}	Velocidad	Longitud
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m	m	m/s	m
Valores	13.1	9.6	3.5	24131.66	2.4645	0.0148	2.151	5.35	0.0148	1.075	0.90

Determinamos K Tee 20mm:

<i>Parámetros</i>	<i>Valores Obtenidos</i>
<i>hf Total (m)</i>	2.4645
<i>hf Tubería (m)</i>	2.0982
<i>hf Lira Nº 1 (m)</i>	0.1023
<i>hf Lira Nº 2 (m)</i>	0.1023
<i>hf Accesorio (m)</i>	0.1616

Perdida de Carga en Accesorios

4Codos

$$4xhf (\text{codos}) = K.V^2/2.g$$

$$K \text{ codos} = 0.57$$

$$hf(4 \text{ codos}) = 0.134385$$

Perdida de Carga en Accesorios

2 Tees

$$2xhf (\text{Tees}) = K.V^2/2.g$$

$$2xhf (\text{Tees}) = 0.0273$$

$$K (\text{Tees } 20\text{mm}) = 0.23$$

8.7. CALCULO COEFICIENTE DE PERDIDA DE CARGA LLAVE DE PASO METÁLICA 16mm.

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	17.6	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9793.32	N/m ³
Viscosidad cinemática	0.0000010683	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Diámetro externo	0.016	m
Diámetro interno	0.0111	m
Longitud	6	m

Características de los Accesorios		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Tipo de Accesorios	Llave de paso	
Cantidad	1	unidad

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	1.69916	1.75330	236.45	0.00023
	2	1.7552	1.79055	154.46	0.00023
	3	1.80065	1.8254	108.02	0.00023
Promedio					0.00023

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$$

\varnothing interno	Velocidad
m	m/s
0.0111	2.377

Pérdida de Carga en tuberías:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 2.377 m/s

L. Tubería: 6 m

Viscosidad
cinemática: 0.0000010683 m^2/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Cálculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0111	2.377	6	24696.12772

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.0258	0.1606	6.225728064	0.000803195	-6.190358152	0.035369912
0.0259	0.1609	6.21369766	0.000801972	-6.191681424	0.022016236
0.026	0.1612	6.201736729	0.000800756	-6.192999056	0.008737673
0.02608	0.1615	6.192217558	0.000799789	-6.194049132	-0.001831574
0.02606	0.1614	6.194593241	0.00080003	-6.193786947	0.000806294

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos que:
$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f (Tubería) = 4.056 metros

K_s (Teórico) = 0.007000 mm

Pérdida de Carga en Accesorios:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 2.377 m/s

L. Tubería 6 m

Viscosidad cinemática 0.0000010683 m²/s**Calculo Perdida de Carga total**

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli				Velocidad del Fluido		Tubería	
Parámetros	P _{inicial}	P _{final}	Pi-Pf	Pi-Pf	Hf _{total}	Ø _{interno}	Velocidad	Longitud
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m
Valores	16.6	5.6	11	75842.36	7.7443	0.0111	2.377	6

Determinamos K Llave de paso metálica 16mm:

Parámetros	Valores Obtenidos
hf Total (m)	7.7443
hf Tubería (m)	4.0559
hf llave de Paso (m)	3.6884

Perdida de Carga en Accesorios

$$hf(\text{accesorio}) = K \cdot V^2 / 2 \cdot g$$

$$K(\text{llpm } 16\text{mm}) = 12.8$$

8.8. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE DE PASO METÁLICA 20mm.

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	17.8	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9792.96	N/m ³
Viscosidad cinemática	0.0000010628	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Diámetro externo	0.02	m
Diámetro interno	0.0148	m
Longitud	5.975	m

Características de los Accesorios		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Tipo de Accesorios	Llave de paso	
Cantidad	1	unidad

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	2.2907	2.38728	288.09	0.00034
	2	2.39	2.42314	98.73	0.00034
	3	2.4264	2.496	206.58	0.00034
Promedio					0.00034

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0148	1.976

Pérdida de Carga en tuberías:

Valores de Parámetros Considerados

Velocidad: 1.976 m/s

L. Tubería: 5.975 m

Viscosidad

Cinemática: 0.0000010628 m^2/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Cálculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0148	1.976	5.975	27520.63269

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.026	0.1612	6.201736729	0.000693456	-6.317962704	-0.116225975
0.025	0.1581	6.32455532	0.000704657	-6.304044256	0.020511065
0.0252	0.1587	6.299407883	0.000702364	-6.306875995	-0.007468111
0.0251	0.1584	6.311944031	0.000703507	-6.305463202	0.006480829
0.02514	0.1586	6.306920597	0.000703049	-6.306029055	0.000891542

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos que:
$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

hf (Tubería) = 2.021 metros

Ks (Teórico) = 0.007000 mm

Pérdida de Carga en Accesorios:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 1.976 m/s
 L. Tubería 5.975 m
 Viscosidad Cinemática 0.0000010628 m²/s

Calculo Perdida de Carga total

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli				Velocidad del Fluido		Tubería	
Parámetros	P _{inicial}	P _{final}	Pi-Pf	Pi-Pf	Hf _{total}	Ø interno	Velocidad	Longitud
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m
Valores	14	7.8	6.2	42747.512	4.3651	0.0148	1.976	5.975

Determinamos K Llave de paso metálica 20mm:

Parámetros	Valores Obtenidos
hf Total (m)	4.3651
hf Tubería (m)	2.0206
hf llave de Paso (m)	2.3446

Perdida de Carga en Accesorios

$$hf(\text{accesorio}) = K \cdot V^2 / 2 \cdot g$$

$$K(\text{LLPM } 20\text{mm}) = 11.8$$

8.9. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE DE PASO METÁLICA 25mm.

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	19.5	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9789.9	N/m ³
Viscosidad cinemática	0.0000010166	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Diámetro externo	0.025	m
Diámetro interno	0.0202	m
Longitud	5	m

Características de los Accesorios		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Tipo de Accesorios	Llave de paso	
Cantidad	1	unidad

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	<i>Tiempo</i>	<i>Caudal</i>
Unidades		m^3	m^3	<i>segundos</i>	m^3/s
Muestras	1	4.79185	4.88195	212.33	0.00042
	2	4.88515	4.9429	136.02	0.00042
	3	4.94595	5.0404	223.81	0.00042
Promedio					0.00042

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0202	1.311

Pérdida de Carga en tuberías:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 1.311 m/s

L. Tubería: 5 m

Viscosidad
cinemática: 0.0000010166 m²/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0202	1.311	5	26040.95569

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.026	0.1612	6.201736729	0.000691423	-6.32051295	-0.11877622
0.025	0.1581	6.32455532	0.000703261	-6.305767429	0.018787891
0.0251	0.1584	6.311944031	0.000702045	-6.307270052	0.004673979
0.02512	0.1585	6.309430814	0.000701803	-6.30756981	0.001861004
0.02513	0.1585	6.308175331	0.000701682	-6.307719594	0.000455737

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos que:
$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$h_f(\text{Tubería}) = 0.545 \text{ metros}$

$K_s(\text{Teórico}) = 0.007000 \text{ mm}$

Pérdida de Carga en Accesorios:Valores de Parámetros Considerados

Velocidad: 1.311 m/s

L. Tubería 5 m

viscosidad cinemática 0.0000010166 m²/s

Calculo Perdida de Carga total

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli				Velocidad del Fluido		Tubería	
	P inicial	P final	Pi-Pf	Pi-Pf	Hf total	∅ interno	Velocidad	Longitud
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m
Valores	18,5	16,5	2	13789,52	1,4085	0,0202	1,311	5

Determinamos K Llave de paso metálica 25mm:

Parámetros	Valores Obtenidos
hf Total (m)	1,4085
hf Tubería teórico(m)	0,5445
hf llave de Paso T.(m)	0,8640

Perdida de Carga en Accesorios

$$h_f(\text{accesorio}) = K \cdot V^2 / 2 \cdot g$$

$$K (\text{lpm } 25\text{mm}) = 9.9$$

8.10. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE DE PASO METÁLICA 32mm.**Parámetros de Análisis:**

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	19.1	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9790.62	N/m ³
viscosidad cinemática	0.0000010275	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Diámetro externo	0.032	m
Diámetro interno	0.0262	m
Longitud	5	m

Características de los Accesorios		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Tipo de Accesorios	Llave de paso	
Cantidad	1	unidad

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	4.12144	4.21344	203.39	0.00045
	2	4.2155	4.29365	172.64	0.00045
	3	4.296	4.3838	194.38	0.00045
Promedio					0.00045

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0262	0.835

Pérdida de Carga en tuberías:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 0.835 m/s

L. Tubería: 5 m

viscosidad
cinemática: 0.0000010275 m^2/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Cálculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0262	0.835	5	21283.69116

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.026	0.1612	6.201736729	0.000803585	-6.189936796	0.011799933
0.0261	0.1616	6.189844606	0.000802182	-6.191454015	-0.001609409
0.02612	0.1616	6.18747438	0.000801903	-6.191756729	-0.004282349
0.026125	0.1616	6.186882249	0.000801833	-6.19183237	-0.004950121
0.02609	0.1615	6.191030741	0.000802322	-6.191302566	-0.000271826

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f (Tubería) = 0.177 metros

K_s (Teórico) = 0.007000 mm

Pérdida de Carga en Accesorios:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 0.835 m/s

L. Tubería 5 m

viscosidad cinemática 0.0000010275 m²/s**Calculo Perdida de Carga total**

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli				Velocidad del Fluido		Tubería	
Parámetros	P inicial	P final	Pi-Pf	Pi-Pf	Hf total	Ø interno	Velocidad	Longitud
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m
Valores	19	18.3	0.7	4826.332	0.4930	0.0262	0.835	5

Determinamos K Llave de paso metálica 32mm:

Parámetros	Valores Obtenidos
hf Total (m)	0.4930
hf Tubería teórico(m)	0.1768
hf llave de Paso T.(m)	0.3162

Perdida de Carga en Accesorios

$$hf(\text{accesorio}) = K \cdot V^2 / 2 \cdot g$$

$$K(\text{llpm } 32\text{mm}) = 8.9$$

8.11. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE DE BOLA 20mm.

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	18	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9792.6	N/m ³
Viscosidad Cinemática	0.0000010574	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Diámetro externo	0.02	m
Diámetro interno	0.0148	m
Longitud	6	m

Características de los Accesorios		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Tipo de Accesorios	Llave de BOLA	
Cantidad	1	unidad

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	1.9106	1.99215	219.83	0.00037
	2	1.99215	2.02785	95.66	0.00037
	3	2.03437	2.09105	153.19	0.00037
Promedio					0.00037

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0148	2.151

Pérdida de Carga en tuberías:

Valores de Parámetros Considerados

Velocidad: 2.151 m/s

L. Tubería: 6 m

Viscosidad

Cinemática: 0.0000010574 m^2/s

Ks (teórico): 0.000007 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	Ø interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0148	2.151	6	30103.00188

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.025	0.1581	6.32455532	0.000655174	-6.367286141	-0.042730821
0.0249	0.1578	6.337242505	0.000656232	-6.365884825	-0.02864232
0.0247	0.1572	6.36284763	0.000658367	-6.363063572	-0.000215942
0.0246	0.1568	6.375767131	0.000659444	-6.361643532	0.014123599
0.024698	0.1572	6.363105251	0.000658389	-6.363035233	7.00176E-05

Determinación de la perdida de carga teórica

Tenemos que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f (\text{Tubería}) = 2.361 \text{ metros}$$

$$K_s (\text{Teórico}) = 0.007000 \text{ mm}$$

Pérdida de Carga en Accesorios:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 2.151 m/s
 L. Tubería 6 m
 Viscosidad Cinemática 0.0000010574 m²/s

Calculo Perdida de Carga total

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli				Velocidad del Fluido		Tubería	
Parámetros	P inicial	P final	Pi-Pf	Pi-Pf	Hf total	Ø interno	Velocidad	Longitud
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m
Valores	13.1	9.7	3.4	23442.184	2.3939	0.0148	2.151	6

Determinamos K bola 20mm:

Parámetros	Valores Obtenidos
hf Total (m)	2.3939
hf Tubería (m)	2.3606
hf llave de Paso (m)	0.0332

Perdida de Carga en Accesorios

$$h_f(\text{accesorio}) = K \cdot V^2 / 2 \cdot g$$

$$K(\text{llBola 20mm}) = 0.141$$

8.12. CALCULO COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA LLAVE ESFÉRICA 1/2"

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	18	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9792.6	N/m ³
Viscosidad Cinemática	0.0000010574	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
diámetro externo	0.021	m
diámetro interno	0.0153	m
Longitud	6	m

Características de los Accesorios		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Tipo de Accesorios	Válvula Esférica	
Cantidad	1	unidad

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	2.11285	2.18315	185.43	0.00038
	2	2.18863	2.2165	73.49	0.00038
	3	2.21855	2.27085	137.94	0.00038
Promedio					0.00038

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0153	2.067

Pérdida de Carga en tuberías:

Valores de Parámetros Considerados

Velocidad: 2.067 m/s

L. Tubería: 6 m

Viscosidad

Cinemática: 0.0000010574 m^2/s

Ks (teórico): 0.0000015 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0153	2.067	6	29906.25023

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.024	0.1549	6.454972244	0.000568256	-6.490911804	-0.03593956
0.023	0.1517	6.593804734	0.000579908	-6.47328157	0.120523164
0.0236	0.1536	6.509445549	0.000572828	-6.48395156	0.025493989
0.0238	0.1543	6.482037236	0.000570528	-6.487446644	-0.005409408
0.02376	0.1541	6.487491201	0.000570985	-6.486750037	0.000741164

Determinación de la perdida de carga teórica

Tenemos que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

hf (Tubería) = 2.029 metros

Ks (Teórico) = 0.007000 mm

Pérdida de Carga en Accesorios:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad:	2.067 m/s
L. Tubería	6 m
Viscosidad Cinemática	0.0000010574 m ² /s

Calculo Perdida de Carga total

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli				Velocidad del Fluido		Tubería	
Parámetros	P _{inicial}	P _{final}	Pi-Pf	Pi-Pf	Hf _{total}	Ø _{interno}	Velocidad	Longitud
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m
Valores	12.8	9.6	3.2	22063.232	2.2531	0.0153	2.067	6

Determinamos K bola 20mm:

Parámetros	Valores Obtenidos
hf Total (m)	2.2531
hf Tubería (m)	2.0287
hf llave de Paso (m)	0.2243

Perdida de Carga en Accesorios

$$h_f(\text{accesorio}) = K \cdot V^2 / 2 \cdot g$$

$$K (\text{ll. Esf. } 1/2'') = 1.030$$

8.13. CALCULO RUGOSIDAD ABSOLUTA TUBERÍA PVC 1/2"

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	16.5	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Características del Agua		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Peso específico	9795.3	N/m ³
Viscosidad Cinemática	0.0000010982	m ² /s

Características de la Tubería		
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
diámetro externo	0.021	m
diámetro interno	0.0153	m
Longitud	6	m

Análisis de Caudal:

Sabemos que : Caudal= Volumen/tiempo

Parámetros		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Caudal
Unidades		m^3	m^3	segundos	m^3/s
Muestras	1	1.4374	1.50363	171.00	0.00039
	2	1.50363	1.60213	256.67	0.00039
Promedio					0.00039

Dónde:

$V_{inicial}$:Volumen inicial

V_{final} :Volumen final

Análisis de Velocidad:

$Velocidad = Caudal / \text{Área tubería}$

$\varnothing_{interno}$	Velocidad
m	m/s
0.0153	2.097

Perdida de Carga Practico:**Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Rugosidad Absoluta Ks**

Tipo Calculo	Perdida de Carga Total por Bernoulli					Velocidad del Fluido		Tubería	Darcy	Reynolds	Calculo Rugosidad Absoluta			
Parametros	$P_{inicial}$	P_{final}	Pi-Pf	Pi-Pf	$H_{f_{total}}$	$\varnothing_{interno}$	Velocidad	Longitud	f	Re	\sqrt{f}	$2.51/Re\sqrt{f}$	$10^{-2}\sqrt{f}$	ks
Unidades	PSI	PSI	PSI	Pascal (N/m ²)	m	m	m/s	m						mm
Valores	12.5	9.5	3	20684.28	2.1117	0.0153	2.097	6	0.0240	29214.6518	0.1550	0.00055428	0.0005946	0.0023

Perdida de Carga Teórica:**Valores de Parámetros Considerados**

Velocidad: 2.097 m/s

L. Tubería: 6 m

Viscosidad

Cinemática: 0.0000010982 m²/s

Ks (teórico): 0.0000015 m

Calculo del coeficiente "f" de Darcy y la Perdida de Carga Teórica

Tipo Calculo	Velocidad del Fluido		Tubería	Reynolds
Parámetros	∅ interno	Velocidad	Longitud	Re
Unidades	m	m/s	m	
Valores	0.0153	2.097	6	29214.65181

Determinación del Coeficiente "f" de Darcy

Tenemos que:

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Valores de f	√f	1/√f	$\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	$-2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Δ Precisión
0.0241	0.1552	6.441566264	0.000579929	-6.473249801	-0.031683537
0.024	0.1549	6.454972244	0.000581081	-6.471526426	-0.016554182
0.0239	0.1546	6.468462274	0.00058224	-6.469795691	-0.001333417
0.0238	0.1543	6.482037236	0.000583406	-6.468057533	0.013979702
0.02389	0.1546	6.469815933	0.000582356	-6.46962221	0.000193723

Determinación de la pérdida de carga teórica

Tenemos
que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_f (Teórico) = 2.100 metros	K_s (Teórico) = 0.001500 mm
h_f (Practico) = 2.112 metros	K_s (Practico) = 0.002285 mm
%Error = 0.569 %	%Error = 52.315 %

8.14. COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA AL AIRE EN LAS TUBERÍAS DE PP-R 20mm.**Parámetros de Análisis:**

Características de la Tubería		
Parámetro	Valor	Unidades
Diámetro externo	0.02	m
Diámetro interno	0.0148	m
Longitud	6	m

Resultados:

Nº PRUEBA	DIFERENCIA DE PRESIONES		DURACION DE LA PRUEBA
	Presión Inicial (PSI)	Presión Final (PSI)	Horas
1	100	97	4

**8.15. ANÁLISIS DE REDUCCIONES - REDUCCIÓN ANTES DEL ACCESORIO:
TEE 20mm + 01 REDUCCIÓN DE 25X20mm.**

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	20.3	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Análisis de Caudal y Presiones:

Parámetros		Análisis de caudal			Análisis de Presiones	
		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Presión Inicial	Presión Final
Unidades		m^3	m^3	segundos	PSI	PSI
Muestras	1	5.0681	5.15885	209.73	18	15.7
	2	5.1675	5.20775	107.12	18	15.7
	3	5.21025	5.35095	327.41	18	15.7

En esta prueba se evidencia la formación de cavitación debido a la vibración registrada en la aguja del manómetro que registra la presión, por lo que este procedimiento de reducción no es el adecuado.

8.16. ANÁLISIS DE REDUCCIONES - REDUCCIÓN DESPUÉS DEL ACCESORIO: TEE 25mm + 02 REDUCCIONES DE 25X20mm.

Parámetros de Análisis:

Características Ambientales		
Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	21.1	°C
Gravedad	9.81	m/s ²

Análisis de Caudal y Presiones:

Parámetros		Análisis de caudal			Análisis de Presiones	
		$V_{inicial}$	V_{final}	Tiempo	Presión Inicial	Presión Final
Unidades		m^3	m^3	segundos	PSI	PSI
Muestras	1	5.4921	5.55985	154.55	18	16.5
	2	5.56195	5.60785	105.52	18	16.5
	3	5.61045	5.7566	335.2	18	16.5

En esta prueba se registra una menor perdida de presión que en la prueba anterior, cabe mencionar que en las pruebas concernientes a la correcta ubicación de las reducciones se realizaron con tramos de tuberías de la misma medida; variando solamente la ubicación de las reducciones, por lo que podemos concluir que aplicar la reducción después del accesorio es el procedimiento correcto para una adecuada instalación.

CAPITULO IX

RESULTADOS

9.1. ANALISIS HIDRAULICO TUBERIAS

Según los resultados obtenidos mediante las pruebas de laboratorio realizado y analizando la bibliografía tenemos que:

Material Tubería	Rugosidad Absoluta (Ks) Practico	Rugosidad Absoluta (Ks) Teórico
PVC	0.0023 mm	0.0015 mm
PP-R100	0.0064 mm	0.0070 mm

Por lo que determinamos que el valor de la rugosidad absoluta (Ks) para las tuberías de Polipropileno es 0.007mm.

9.2. ANALISIS HIDRAULICO VALVULAS DE PASO

Los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas tenemos que, para un sistema equivalente al sistema convencional, los siguientes valores:

Material Tubería	Coefficiente de Válvula 1/2" (K_{accesorio})
PVC	1.186
PP-R100	0.141
LAS VÁLVULAS ANALIZADAS SON TIPO ESFÉRICAS	

Se debe tener presente que el análisis realizado es para el conjunto de la válvula de paso instalado con las uniones universales y los nipples correspondientes. Se

debe tener presente que este tipo de válvulas requieren un nicho o cajuela en la cual alojarse para poder registrarse.

Analizando los valores obtenidos podemos concluir que la válvula de bola armada con adaptadores de polipropileno, presenta un menor coeficiente de rugosidad en conjunto; que la válvula esférica convencional con las uniones universales y niples metálicos.

Analizando las llaves de paso de polipropileno, las cuales no requieren de nichos ni cajuelas para alojarse; ya que para cualquier tipo de registro que se realice en la llave de paso, solo se retira el vástago correspondiente.

Llave de paso PPR	K_{accesorio} Teórico	K_{accesorio} Practico
16mm	-	12.8
20mm	9.5	11.8
25mm	8.5	9.9
32mm	7.6	8.9
LAS VÁLVULAS ANALIZADAS SON TIPO GLOBO		

Como se aprecia en los resultados obtenidos los coeficientes de rugosidad de las llaves de paso de polipropileno son elevados, lo cual es inherente a las válvulas tipo globo.

9.3. ANALISIS HIDRAULICO ACCESORIOS

Los resultados obtenidos para los accesorios analizados (codos de 90° y Tee) son los siguientes:

Tipo de Accesorios	K_{accesorio} Teórico	K_{accesorio} Practico
Tee	1.2	0.47
Codos 90°	1.2	0.57
Los diámetros de accesorios analizados son 20mm		

Los coeficientes de los accesorios dependen de la forma y no del material, por lo que los coeficientes determinados dan valores muy similares a los conocidos para los accesorios de PVC.

9.4. ANALISIS CON AIRE COMPRIMIDO:

La prueba realizada con aire comprimido, no tiene fines de cálculo hidráulico; ya que solo se realizó para poder determinar la resistencia de las tuberías ante el aire, El resultado obtenido fue:

La tubería sometida a 100 PSI, no presenta daño alguno en su estructura

9.5. ANALISIS REDUCCIONES EN ACCESORIOS:

Para las pruebas de las reducciones realizadas en los accesorios se presentaron dos casos:

- Reducción antes del Accesorio.
- Reducción después del Accesorio.

Para lo cual se realizaron las pruebas para cada caso, pero no confines de cálculo hidráulico; sino para verificar el procedimiento adecuado de instalación, ya que durante la realización de las pruebas se evidencio que: al colocar la reducción antes del accesorios se genera mayor pérdida de carga; así como se evidencia la formación de aire en la tubería producto de la cavitación, lo cual se reflejo en la vibración de la aguja marcación que se encuentra en el manómetro de control de presión.

Por lo cual podemos concluir que el procedimiento adecuado, al realizar una reducción de diámetro en las instalaciones sanitarias, es realizar esta después del accesorio de mayor diámetro y no antes del accesorio de diámetro menor; además recomendamos realizar las reducciones en los accesorios (codos y tees) y no en el tramo medio de las tuberías de ser posible; ya que una reducción de diámetro brusca en medio de la tubería generara cavitación en esta.

CAPITULO X

CONCLUSIONES

Análisis Hidráulico

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 si 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 de con adaptadores de PP-R; tal y como lo demuestras los resultados obtenidos, no existe diferencias considerables en el incremento de pérdida de carga entre uno u otro sistema, ofreciéndonos mejores ventajas las válvula 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 (el cálculo hidráulico se adjunta en los anexos).

Conclusión final:

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 la cantidad 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 implementando 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 mas real.

Si consideramos la 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.

Análisis Económico

Según los análisis realizados podemos concluir 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 alojaran las válvulas de control.

Conclusión final:

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.

CAPITULO XI

RECOMENDACIONES

Para la obtención de resultados más representativos y exactos las recomendaciones a seguir serian:

1. 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.
2. 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:
 - Determinación de las capacidades hidráulicas de las tuberías (Velocidad, Caudal, etc.)
 - Determinación de las Pérdida de carga en accesorios y tubería.

Otras investigaciones que se pueden realizar referentes a las tuberías de Polipropileno son:

- Calculo de Liras de Dilatación para las Tuberías de Polipropileno
- Tuberías de polipropileno para sistemas de desagüe graso y descargas a temperatura.
- Empleo de las tuberías de polipropileno en climas extremos.
- Empleo de las tuberías de Polipropileno en sistemas de aire acondicionado.
- Análisis comparativo entre las tuberías de Polipropileno serie 3.2 PN-16 y las tuberías de Cobre.

CAPITULO XII

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Normas Nacionales

INDECOPI – NORMAS TECNICAS PERUANAS.

- NTP 399.162-2 DEL 2005: TUBOS Y CONEXIONES TERMOPLÁSTICAS CON SUPERFICIE EXTERIOR PERFILADA E INTERIOR LISA PARTE 2. CONDICIONES TÉCNICAS DE ENTREGA.
- NTP ISO 1167 DEL 2004: TUBOS TERMOPLÁSTICOS PARA EL TRANSPORTE DE FLUIDOS .RESISTENCIA A LA PRESIÓN INTERNA, METODO DE ENSAYO.
- NTP ISO 2507-1 DE 1999: TUBOS Y CONEXIONES TERMOPLÁSTICAS, TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO VICAT PARTE 1: METODO GENERAL DE ENSAYO.
- NTP ISO 3127 DE 1997: TUBOS TERMOPLÁSTICO.DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO EXTERNO. MÉTODO DEL GIRO DEL RELOJ.

2. Normas internacionales

DIN- Deustcher Industrie Normen

- NORMAS DIN-8077, Estándar Alemán, Tuberías de polipropileno, Dimensiones.
- NORMA DIN-8078, Estándar Alemán, Polipropileno, Calidad del material
- NORMA DIN-16962, Estándar Alemán, Polipropileno, Accesorios y sus dimensiones.

3. Libros de hidráulica de tuberías.

- Juan G. Saldarriaga V 2001. Hidráulica de Tuberías. Santa Fe Bogotá. McGraw-Hill , 564 p

- Arturo Rocha. 1975. Hidráulica de Tuberías y Canales Lima Perú-515p.

4. Tesis

José Pedro Arturo Forno Martinic 2010, "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.

5. Catálogos De Tuberías De Polipropileno 2010-2012

6. Artículo de revista

Perez H. Celorrio. Febrero 2010, Montajes e Instalaciones, El polipropileno, la alternativa eficiente en las instalaciones. Barcelona España n°445.

7. Referencias de documentos electrónicos

- Packsys, El Polipropileno, México, Setiembre 2012, Formato html, disponible en internet:
<http://www.packsys.com/blog/el-polipropileno/>
- Diario Gestión, El sector construcción crecerá 14% este año. Lima, Formato html, disponible en internet:
<http://gestion.pe/inmobiliaria/sector-construccion-crecera-14-este-ano-y-tendra-participacion-65-pbi-2077902>

CAPITULO XIII

ANEXOS

- Los videos de las pruebas hidráulicas realizadas.
- Se realizó la prueba de gases contaminantes ocasionados por el proceso de termofusión, se adjunta el informe.
- Cálculo hidráulico de los departamentos típicos analizados, considerando llaves esféricas en el sistema PVC y llave de paso metálicas en el sistema PP-R.
- Ficha técnica de las llaves de paso metálicas y válvulas de bola con adaptadores PP-R.
- Guía sobre las consecuencias de los malos procedimientos de termofusión.
- Los protocolos de prueba hidráulica realizados durante las pruebas de laboratorio.
- Certificados de calibración de equipos de medición.

**INFORME SOBRE MUESTREO DE
GASES CONTAMINANTES
OCASIONADOS POR EL PROCESO
DE TERMOFUSIÓN**

**CÁLCULO HIDRÁULICO DE LOS
DEPARTAMENTOS TÍPICOS
ANALIZADOS, CONSIDERANDO
LLAVES ESFÉRICAS EN EL SISTEMA
PVC Y LLAVE DE PASO METÁLICAS
EN EL SISTEMA PP-R**

**FICHA TÉCNICA DE LAS LLAVES DE
PASO METÁLICAS Y VÁLVULAS DE
BOLA CON ADAPTADORES PP-R.**

**GUÍA SOBRE LAS CONSECUENCIAS
DE LOS MALOS PROCEDIMIENTOS
DE TERMOFUSIÓN**

PROTOSCOLOS DE PRUEBA HIDRÁULICA

**CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN
DE EQUIPOS DE MEDICIÓN**